

TOSCOGEO

geothermal energy

Società del gruppo



GRAZIELLA
green power

magma ENERGY ITALIA

RETE GEOTERMICA TOSCANA

C/O TOSCOGEO S.R.L.

VIA ERNESTO ROSSI N° 9 - 52100, AREZZO

TEL. 0575 32641 - FAX. 0575 326464

Impianto Geotermico Pilota Castelnuovo

PROGETTO DEFINITIVO



00	19/11/2015	Emissione	Sintecnica S.r.l.	Magma Energy Italia S.r.l.	Rete Geotermica Toscana
REV.	DATA	OGGETTO	PREPARATO	RICONTROLLATO	APPROVATO

PROGETTISTA:



Ing. Luca MENINI
 STUDIO INGEGNERI PROV. LIVORNO
 S.P.A. Ing. Civile - Ambientale
 Ing. Industriale
 Ing. dell'Informazione
 N° 1517

TITOLO:

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA

NOTE:

TOSCOGEO SRL
 VIA E. ROSSI N.9 - AREZZO 52100
 TEL. 0575 32641 - FAX. 0575 326464
 C.F. e P.IVA 06142590485
 Capitale sociale sottoscritto e versato € 12.000,00
 Società soggetta a direzione e coordinamento di
 Graziella Green Power spa - via E. Rossi, 9 - Arezzo 52100
 C.F. e P.IVA 02033840519

IDENTIFICAZIONE ELABORATO

C	A	S	0	2	D	E	C	I	R	0	1	7
ARGOMENTO	PROGETTO	LIVELLO	AREA	TIPO	PROGRESSIVO							

Questo documento contiene informazioni di proprietà della RETE GEOTERMICA TOSCANA e può essere utilizzato esclusivamente dal destinatario in relazione alle finalità per le quali è stato ricevuto. È vietata qualunque forma di riproduzione o divulgazione senza l'esplicito consenso della RETE GEOTERMICA TOSCANA.

FOGLIO:

1 di 25

FORMATO:

A4

Sommario

1. INTRODUZIONE	3
2. STUDIO IDROLOGICO	3
2.1 PREMESSA	3
2.2 METODOLOGIA	3
2.3 DATI DISPONIBILI	6
3. CALCOLO DELLE PORTATE DI PIENA	12
3.1 CALCOLO DELLE ALTEZZE DI PIOGGIA	12
3.2 INDIVIDUAZIONE DEL BACINO IDROGRAFICO SOTTESO ALLA SEZIONE DI CHIUSURA DI PROGETTO	12
3.3 CALCOLO DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE DEL BACINO	13
3.4 CALCOLO DELLE PORTATE DI PIENA	14
3.5 VERIFICHE IDRAULICHE	18
4. STUDIO DI FATTIBILITA'	23
4.1 VALUTAZIONE DEL FABBISOGNO DELL'IMPIANTO	23
4.2 VALUTAZIONE DELLA CAPACITA' DI RICARICA DELLA VASCA DI ACCUMULO E DELLA VASCA ACQUA DI PERFORAZIONE	23

1. INTRODUZIONE

Il presente documento ha lo scopo di descrivere i principali aspetti idrologici ed idraulici nell'ambito dell'Istanza per l'avvio della procedura di valutazione di impatto ambientale ai sensi dell'art.23 del D.Lgs.152/2006 e s.m.i. relativa al progetto "*Impianto Geotermico Pilota Castelnuovo*".

L'impianto *Geotermico Pilota Castelnuovo* è costituito da:

- **Campo pozzi**, costituito da due pozzi per la produzione dei fluidi geotermici (uno subverticale e l'altro direzionale) sino a profondità di circa 3.500 m, e di un pozzo per la reimmissione dei fluidi estratti, inclusi i gas incondensabili, all'interno delle stesse formazioni geologiche di provenienza, profondo anch'esso circa 3500 m. I tre pozzi saranno perforati da un'unica postazione.
- **Impianto geotermoelettrico**, costituito dalla rete di trasporto dei fluidi geotermici, da una centrale a ciclo binario, con potenza netta di 5MWe (come stabilito dal D.Lgs 03/03/2011 n. 28 e s.m.i.) e da una cabina elettrica di trasformazione.

2. STUDIO IDROLOGICO

2.1 PREMESSA

I parametri idrologici utilizzati per il calcolo delle portate sono stati desunti dagli studi scientifici effettuati disponibili sul sito <http://www.sir.toscana.it/>.

Nell'ambito dell'accordo di collaborazione tra Regione Toscana e Università di Firenze di cui alla DGRT 1133/2012, è stato prodotto un quadro conoscitivo idrologico aggiornato del territorio toscano. Tale studio è stato sviluppato sulla base di un'analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme fino all'anno 2012 compreso.

La determinazione delle Linee Segnatrici di Probabilità Pluviometrica è stata effettuata mediante l'analisi dei dati pluviometrici registrati nelle stazioni di misura (pluviometri) distribuite sull'intero territorio regionale. Mediamente la lunghezza delle serie storiche considerate varia tra 30 e 50 anni; i dati raccolti in ciascuna stazioni arrivano fino all'anno 1997. Successivamente tali serie storiche sono state integrate con i dati aggiornati al 2002.

2.2 METODOLOGIA

Il problema della stima di eventi estremi di precipitazione, come l'altezza massima di pioggia caratterizzata da un assegnato tempo di ritorno, in bacini idrografici non strumentati o non provvisti di una serie temporale affidabile di dati, può essere affrontato con metodologie diverse, tra cui la più robusta e più utilizzata a livello scientifico e tecnico è l'analisi di frequenza regionale.

Tale approccio consente di utilizzare contemporaneamente l'intera informazione pluviometrica disponibile per le diverse stazioni pluviometriche presenti sul territorio di una regione, riducendo così l'incertezza associata alla disomogeneità delle serie storiche osservate nei diversi siti di misura. Il primo passo in una procedura di regionalizzazione è l'individuazione di regioni omogenee, all'interno delle quali le grandezze, o meglio le loro distribuzioni di frequenza, hanno alcune caratteristiche comuni.

In questo studio per la stima della variabile casuale ht , massimo annuale dell'altezza di pioggia di durata t , è stato utilizzato un metodo basato sulla legge di distribuzione probabilistica TCEV Two-Component Extreme Value secondo un approccio gerarchico a tre livelli. Al primo livello di regionalizzazione si individuano una o più zone omogenee all'interno delle quali si può ammettere costante il coefficiente di asimmetria teorico; al secondo livello di regionalizzazione si individuano delle sottozone omogenee nelle quali si può ritenere costante, oltre al coefficiente di asimmetria teorico, anche il coefficiente di variazione teorico e al terzo livello di regionalizzazione si individuano infine delle aree omogenee all'interno delle quali si ricercano delle relazioni tra la pioggia indice μ e le caratteristiche geografiche del sito.

L'area di studio indagata comprende i bacini idrografici dei corsi d'acqua principali della Regione Toscana, come l'Arno, il Serchio e l'Ombrone Grossetano, bacini più piccoli di fiumi della costa tirrenica e i bacini attigui dei Fiumi Magra e Fiora. Una volta validato il set dei dati (aggiornati all'anno 2012) è stata ottenuta la consistenza definitiva delle serie temporali di valori annui di pioggia massima. Tra le varie ipotesi di suddivisione in regioni omogenee del territorio di studio è stata scelta, dopo opportune verifiche, quella in 4 regioni: NORD-TIRRENICA, NORD-OVEST, APPENNINO-AMIATA, CENTRO-SUD coincidenti con le 4 subregioni.

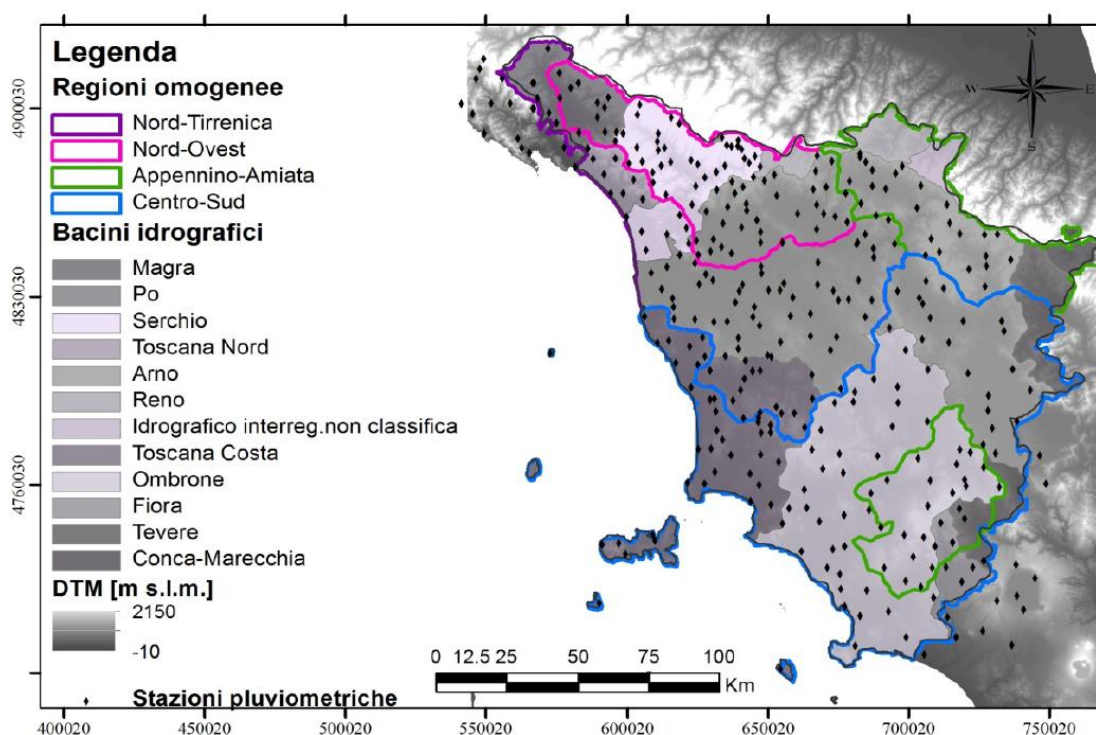


Figura 1: Suddivisione in regioni idrologiche omogenee

Per ogni regione è stata determinata una curva di crescita per le precipitazioni giornaliere e, quando questa non sia risultata indicativa dell'andamento della distribuzione di frequenza cumulata sperimentale delle piogge a livello orario, si è proceduto ad una stima diretta della curva di crescita per ciascun valore di durata.

Tr	2	5	10	20	30	50	100	150	200	500
Nord-Tirrenica	0.89	1.25	1.54	1.88	2.08	2.35	2.71	2.93	3.08	3.57
Nord-Ovest	0.93	1.26	1.50	1.74	1.89	2.09	2.39	2.57	2.71	3.18
Appennino-Amiata	0.93	1.23	1.44	1.67	1.81	2.02	2.32	2.52	2.67	3.16
Centro-Sud	0.89	1.22	1.51	1.88	2.14	2.50	3.01	3.31	3.53	4.21

Tabella 1: Coefficiente di crescita K_T delle LSPP al variare del periodo di ritorno T_R

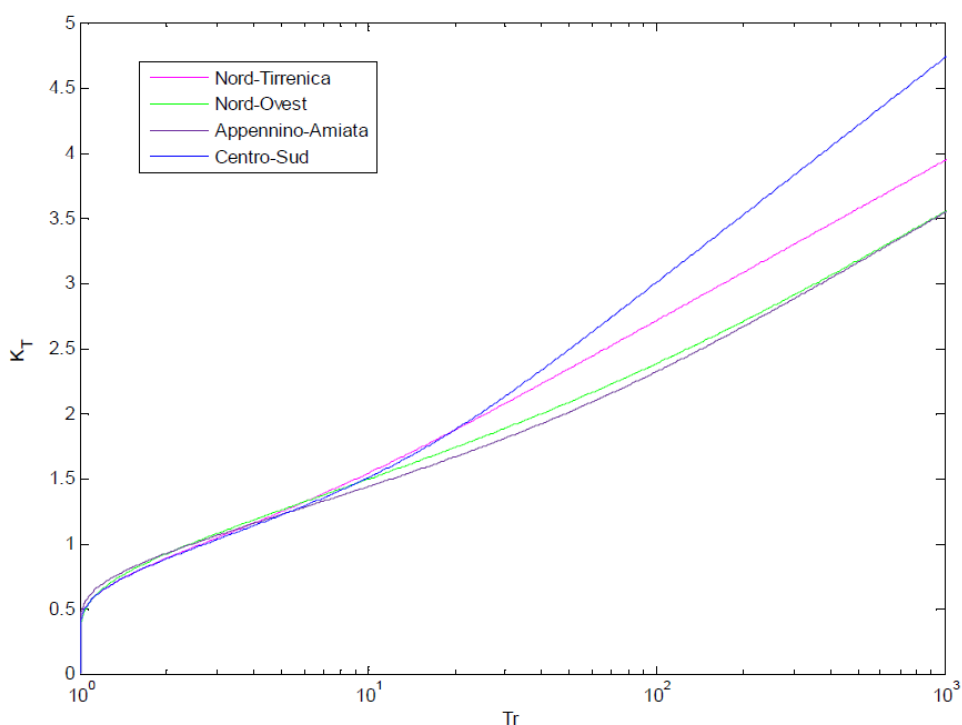


Figura 2: Curve di variabilità del coefficiente di crescita

Per la determinazione della pioggia indice per ogni regione omogenea e per ogni durata di pioggia è stato utilizzato un modello multivariato, funzione di caratteristiche climatiche e geo-morfologiche.

Regioni	θ^*	Λ^*	Λ_1	η	K_T	Note
Nord-Tirrenica	1.533	0.075	10.840	3.061	$-0.5217+0.501 \cdot \ln T$	Valida per $d=1$ ora
	2.634	0.438	31.195	4.937	$0.2558+0.533 \cdot \ln T$	Valida per $d \geq 3$ ore ed 1 g
Nord-Ovest	2.347	0.077	15.956	3.503	$-0.9315+0.670 \cdot \ln T$	Valida per $d=1$ ora
	2.600	0.176	22.755	4.091	$-0.3397+0.636 \cdot \ln T$	Valida per $3 \text{ ore} \leq d \leq 24 \text{ ore}$
	2.129	0.129	19.232	3.769	$-0.3705+0.565 \cdot \ln T$	Valida per 1 giorno
Appennino-Amiata	1.010	0.027	22.078	3.698	$-0.1529+0.273 \cdot \ln T$	Valida per $1 \text{ ora} \leq d \leq 12 \text{ ore}$
	2.456	0.127	33.292	4.350	$-0.3605+0.565 \cdot \ln T$	Valida per $d=24$ ore ed 1 g
Centro-Sud	1.844	0.100	13.686	3.342	$-0.4901+0.552 \cdot \ln T$	Valida per $d=1$ ora
	2.481	0.718	24.020	5.086	$0.4634+0.488 \cdot \ln T$	Valida per $d=3$ ore
	3.381	0.206	28.325	4.516	$-0.4421+0.749 \cdot \ln T$	Valida per $d \geq 6$ ore ed 1 g

Tabella 2: Parametri della distribuzione probabilistica secondo metodo TCEV

2.3 DATI DISPONIBILI

Con altezza di precipitazione in un punto, comunemente misurata in mm, si intende l'altezza d'acqua che si formerebbe al suolo su una superficie orizzontale e impermeabile, in un certo intervallo di tempo (durata della precipitazione) trascurando le perdite.

Le stime delle altezze di pioggia per le diverse durate caratteristiche (1, 3, 6, 12 e 24 ore) e i diversi tempi di ritorno fissati (2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200 e 500 anni), sono stati ottenuti come prodotto tra i valori della pioggia indice μ per le diverse durate e il fattore di crescita adimensionale K_T per i diversi tempi di ritorno validi per ognuna delle 4 regioni individuate. La previsione quantitativa dei valori estremi di pioggia in un determinato punto è stata effettuata anche attraverso la determinazione della curva o linea segnalatrice di probabilità pluviometrica (LSPP), cioè della relazione che lega l'altezza di precipitazione alla sua durata, per un assegnato tempo di ritorno.

La LSPP è comunemente descritta da una legge esponenziale del tipo:

$$h(t) = a t^n$$

con: h = altezza di pioggia [mm], t = durata [ore], a e n parametri caratteristici per i tempi di ritorno considerati.

Note le altezze di pioggia per durate e tempi di ritorno fissati, attraverso una regressione logaritmica, è possibile determinare le griglie di 1 km su tutta la regione dei parametri a e n . Una volta noti i parametri a e n della LSPP per i tempi di ritorno fissati è possibile calcolare l'altezza di pioggia di durata desiderata in ogni punto della Regione Toscana, secondo una semplice procedura. Per il sito in esame sono state individuate 5 stazioni pluviometriche di riferimento nelle strette prossimità del sito per la determinazione dei parametri idrologici ai vari tempi di ritorno.

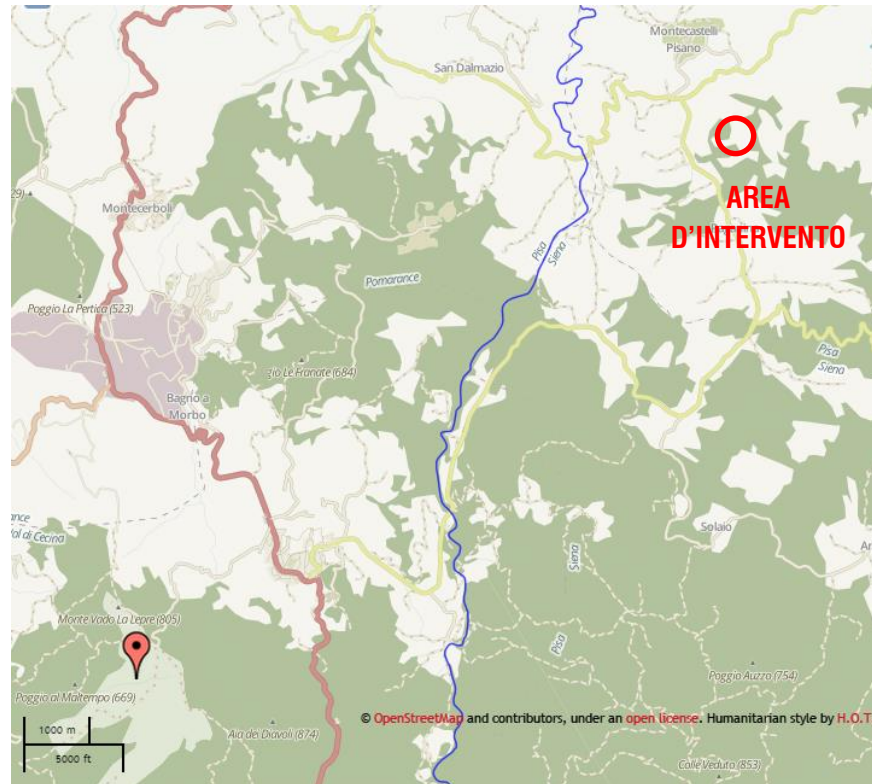


Figura 3: Stazione 1 - Castelnuovo V. C. - Castelnuovo V.C. (PI)

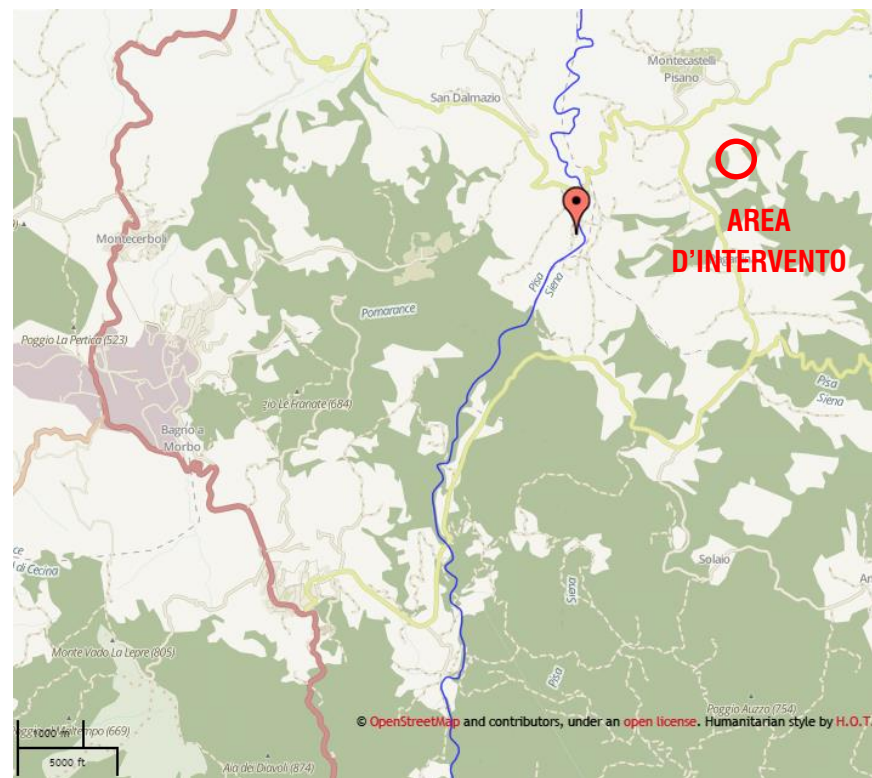


Figura 4: Stazione 2 - S. Dalmazio - Castelnuovo V.C. (PI)

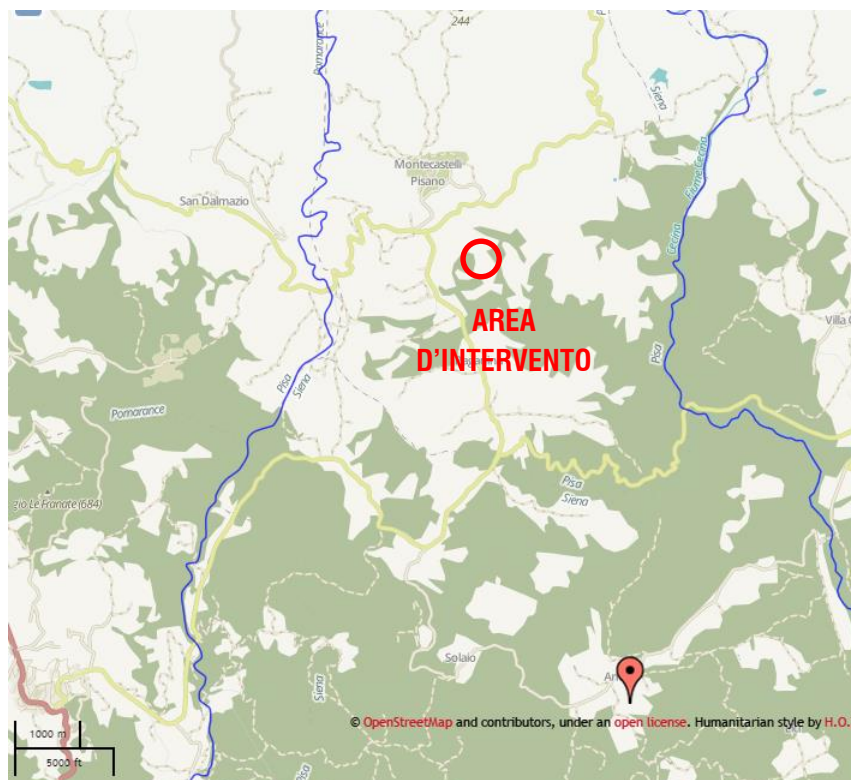


Figura 5: Anqua - Radicondoli (SI)

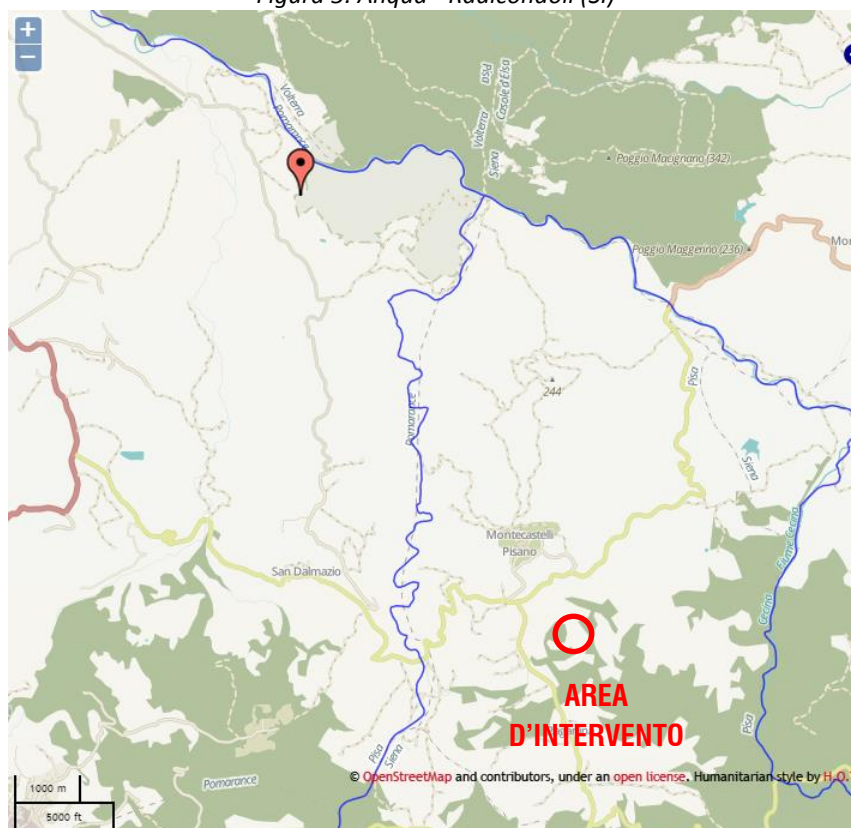


Figura 6: Puretta - Pomarance (PI)

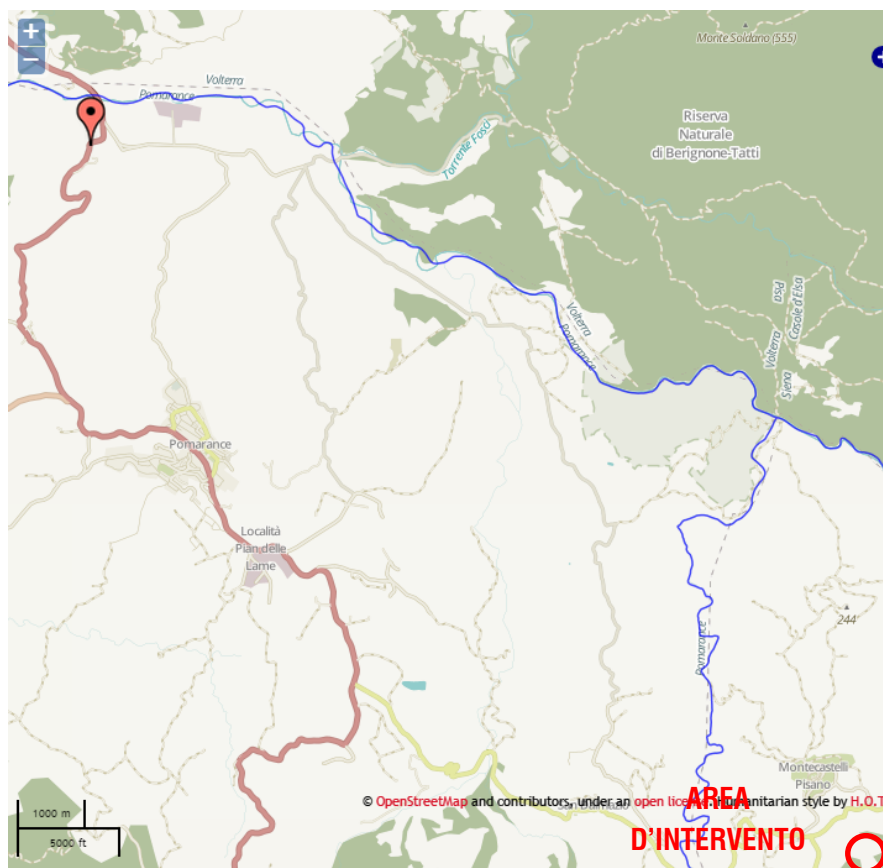


Figura 7: Ponte SR439 - Pomarance (PI)

Castelnuovo V. C. - Castelnuovo V.C. (PI)				
Codice	TOS11000056 - 505601 - 56			
UTM [m]	E	652776	N	4785212
GB [m]	E	1652723	N	4785032
WGS84 [°]	LAT	43,2	LON	10,88
Elev. slm [m]	770			

Tabella 3: Caratteristiche geografiche stazione Castelnuovo V.C.

T(anni)	20	50	100	200
a	55,127	65,938	74,457	83,239
n	0,26097	0,30092	0,32428	0,32242
$h_{p,1h}$ (mm)	55,13	65,94	74,46	83,24
$h_{p,3h}$ (mm)	73,43	91,77	106,39	121,26
$h_{p,6h}$ (mm)	87,99	113,06	133,25	153,74
$h_{p,12h}$ (mm)	105,44	139,28	166,90	194,92
$h_{p,24h}$ (mm)	126,35	171,58	209,04	247,14

Tabella 4: Dati idrologici stazione Castelnuovo V.C.

S. Dalmazio - Castelnuovo V.C. (PI)				
Codice	TOS01005377 - 743757 - 2102			
UTM [m]	E	657766	N	4790799
GB [m]	E	1657713	N	4790619
WGS84 [°]	LAT	43.25	LON	10.94
Elev. slm [m]	247			

Tabella 5: Caratteristiche geografiche stazione S. Dalmazio - Castelnuovo V.C.

T(anni)	20	50	100	200
a	49,661	59,753	67,451	75,268
n	0,28359	0,29958	0,30928	0,31687
h _{p,1h} (mm)	49,66	59,85	67,45	75,27
h _{p,3h} (mm)	66,81	83,04	94,74	106,61
h _{p,6h} (mm)	82,55	102,21	117,40	132,80
h _{p,12h} (mm)	100,48	125,79	145,46	165,41
h _{p,24h} (mm)	122,30	154,83	180,24	206,04

Tabella 6: Dati idrologici stazione S. Dalmazio - Castelnuovo V.C.

Anqua - Radicondoli (SI)				
Codice	TOS01002085 - 743507 - 2081			
UTM [m]	E	661418	N	4786635
GB [m]	E	1661365	N	4786455
WGS84 [°]	LAT	43.22	LON	10.99
Elev. slm [m]	440			

Tabella 7: Caratteristiche geografiche stazione Anqua - Radicondoli (SI)

T(anni)	20	50	100	200
a	50,321	60,548	68,348	76,270
n	0,31130	0,32728	0,33700	0,34456
h _{p,1h} (mm)	50,32	60,55	68,35	76,27
h _{p,3h} (mm)	70,84	86,75	98,97	111,37
h _{p,6h} (mm)	87,90	108,84	125,02	141,41
h _{p,12h} (mm)	109,07	136,55	157,91	179,55
h _{p,24h} (mm)	135,33	171,32	199,46	227,99

Tabella 8: Dati idrologici stazione Anqua - Radicondoli (SI)

Puretta - Pomarance (PI)				
Codice	TOS01005373 - 743707 - 2105			
UTM [m]	E	656287	N	4796684
GB [m]	E	1656234	N	4796504
WGS84 [°]	LAT	43.31	LON	10.93
Elev. slm [m]	118			

Tabella 9: Caratteristiche geografiche stazione Puretta - Pomarance (PI)

T(anni)	20	50	100	200
a	48,195	57,989	65,458	73,045
n	0,26281	0,27880	0,28852	0,29609
h _{p,1h} (mm)	48,19	57,99	65,46	73,04
h _{p,3h} (mm)	64,33	78,77	89,87	101,13
h _{p,6h} (mm)	78,18	95,56	109,77	124,16
h _{p,12h} (mm)	92,60	115,94	134,07	152,45
h _{p,24h} (mm)	111,11	140,65	163,65	187,18

Tabella 10: Dati idrologici stazione Puretta - Pomarance (PI)

Ponte SR439 - Pomarance (PI)				
Codice	TOS01005386 - 743807 - 2118			
UTM [m]	E	650626	N	4799602
GB [m]	E	1650573	N	4799422
WGS84 [°]	LAT	43.33	LON	10.86
Elev. slm [m]	85			

Tabella 11: Caratteristiche geografiche stazione Ponte SR439 - Pomarance (PI)

T(anni)	20	50	100	200
a	48,360	58,189	68,684	73,297
n	0,24377	0,25975	0,26947	0,27704
h _{p,1h} (mm)	48,36	58,19	65,68	73,30
h _{p,3h} (mm)	63,21	77,41	88,31	99,37
h _{p,6h} (mm)	74,85	92,68	106,45	120,41
h _{p,12h} (mm)	88,63	110,96	128,31	145,90
h _{p,24h} (mm)	104,94	132,85	154,66	176,79

Tabella 12: Dati idrologici stazione Ponte SR439 - Pomarance (PI)

I valori ottenuti rispetto a ciascuna stazione pluviometrica individuata sono stati mediati rispetto ai bacini idrografici di pertinenza dei due corsi d'acqua di studio.

T(anni)	20	50	100	200
a	50,333	60,483	68,880	76,224
n	0,27249	0,29327	0,30571	0,31140
$h_{p,1h}$ (mm)	50,33	60,50	68,28	76,22
$h_{p,3h}$ (mm)	67,72	83,55	95,66	107,95
$h_{p,6h}$ (mm)	82,29	102,47	118,38	134,50
$h_{p,12h}$ (mm)	99,24	125,70	146,53	167,65
$h_{p,24h}$ (mm)	120,01	154,25	181,41	209,03

Tabella 13: Dati idrologici mediati

3. CALCOLO DELLE PORTATE DI PIENA

3.1 CALCOLO DELLE ALTEZZE DI PIOGGIA

Per calcolare l'altezza di pioggia su un bacino idrografico è necessario individuare lo spartiacque del bacino imbrifero e, una volta scelto il tempo di ritorno, è possibile metodologie per la valutazione delle altezze di pioggia.

Noti i parametri a e n della LSPP per assegnato T_r , viene definita la durata t dell'evento. Per un bacino idrografico si usa $t=t_{cr}$ (tempo critico), solitamente assunto pari al tempo di corrivazione t_c . È possibile quindi trovare l'altezza di pioggia in ogni cella tramite la relazione:

$$h(t) = a t_c^n$$

con: h = altezza di pioggia [mm]; t_c = tempo di corrivazione [ore], a e n parametri caratteristici.

3.2 INDIVIDUAZIONE DEL BACINO IDROGRAFICO SOTTESO ALLA SEZIONE DI CHIUSURA DI PROGETTO

Il tracciamento dei bacini idrografici sottesi dai corsi d'acqua oggetto di studio alla sezione di chiusura degli interventi di progetto è stato determinato sulla base della cartografia ufficiale IGM 1:25000 tenendo conto delle effettive linee di spartiacque e del reticolo principale e secondario del corso d'acqua.

Nella figura seguente viene messa in evidenza la zona in cui verranno realizzate la centrale e la postazione di perforazione.

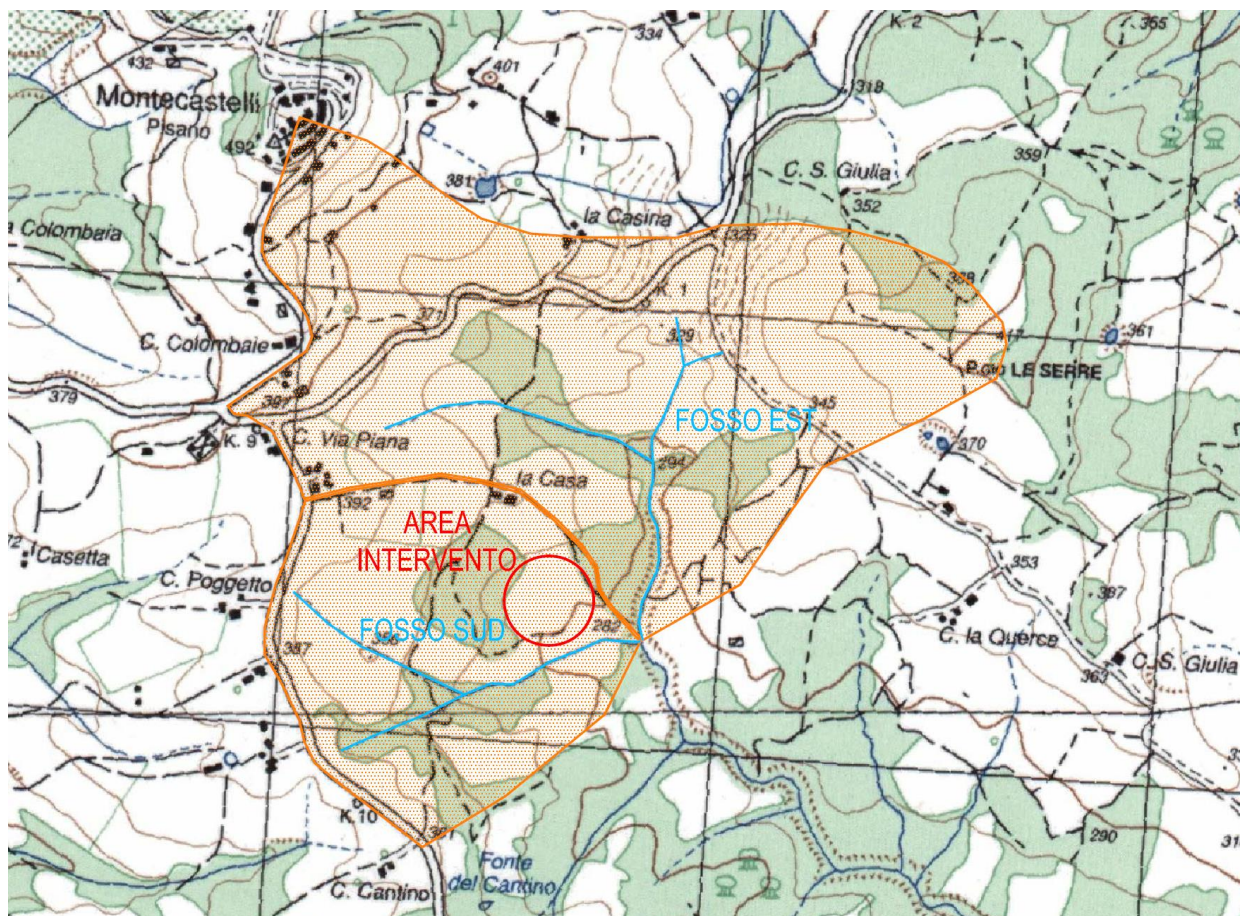


Figura 8: Bacini idrografici Fosso Sud E Fosso Est (fuori scala)

3.3 CALCOLO DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE DEL BACINO

Il tempo di corrivazione T_c è quello necessario alla goccia che cade nel punto idraulicamente più lontano per raggiungere la sezione di chiusura del bacino.

La letteratura scientifica propone una vasta gamma di metodologie ed espressioni analitiche valide alla determinazione di tale grandezza fisica, ciascuna ricavata a partire da diverse ipotesi di base e quindi più o meno adatte al contesto di analisi.

L'espressione analitica più frequentemente utilizzata in Italia per la determinazione di tale grandezza è quella proposta da Giandotti. Essa fornisce risultati piuttosto affidabili per bacini di dimensioni medio-piccoli.

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5 \cdot L}{0.8\sqrt{H - h}}$$

dove:

S= superficie del bacino (km²)

L= lunghezza dell'asta (km²)

H= altitudine media del bacino (m)

h= altitudine media della sezione di chiusura (m)

Geometria bacino

A	=	0,48	kmq	superficie bacino idrografico
L	=	0,85	km	lunghezza asta principale del corso d'acqua
H _{max}	=	387,0	m	altitudine massima bacino
H _{min}	=	282,0	m	altitudine minima bacino
H _{med}	=	334,5	m	altitudine media del bacino
H _{sc}	=	282,0	m	altitudine sezione di chiusura
h _m	=	52,5	m	altitudine media bacino riferita alla sezione di chiusura

Tempo di corrivazione (Metodo Giandotti)

t _c	=	0,70	ore	tempo di corrivazione bacino
----------------	---	------	-----	------------------------------

Tabella 14: Bacino idrografico e calcolo del tempo di corrivazione – Fosso Sud

Geometria bacino

A	=	1,05	kmq	superficie bacino idrografico
L	=	1,10	km	lunghezza asta principale del corso d'acqua
H _{max}	=	492,0	m	altitudine massima bacino
H _{min}	=	282,0	m	altitudine minima bacino
H _{med}	=	387,0	m	altitudine media del bacino
H _{sc}	=	282,0	m	altitudine sezione di chiusura
h _m	=	105,0	m	altitudine media bacino riferita alla sezione di chiusura

Tempo di corrivazione (Metodo Giandotti)

t _c	=	0,70	ore	tempo di corrivazione bacino
----------------	---	------	-----	------------------------------

Tabella 15: Bacino idrografico e calcolo del tempo di corrivazione – Fosso Est

3.4 CALCOLO DELLE PORTATE DI PIENA

L'approccio adottato per la stima delle portate di piena è stato di tipo analitico. In generale i metodi analitici sono fondati sull'ipotesi di uno schematico bilancio idrologico in regime di piena, in cui figura la precipitazione di assegnato T_r che determina l'evento di piena, la portata di assegnata frequenza probabile. In particolare il metodo adottato è stato quello relativo alla Formula di Giandotti che trova frequente applicazione nei piccoli bacini e che in tale ipotesi fornisce risultati piuttosto affidabili. Lo ietogramma di piena corrispondente alla Formula di Giandotti è di tipo pseudo-triangolare.

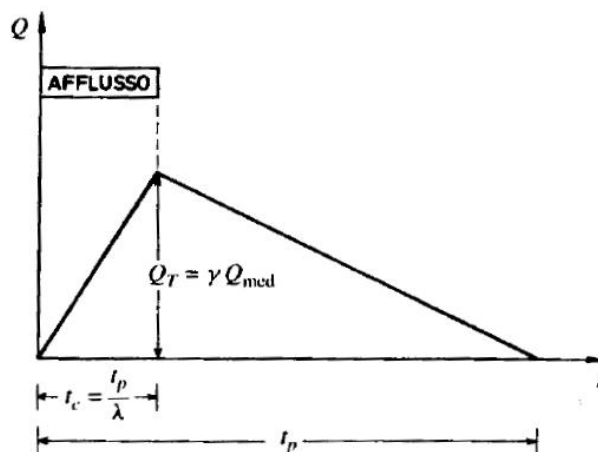


Figura 9: Ietogramma pseudo-triangolare di piena

L'espressione della Formula Razionale associata all'approccio del Giandotti, che consente la valutazione della portata di piena per assegnato periodo di ritorno, è la seguente:

$$Q = 278 \cdot \frac{\gamma \cdot \psi \cdot S \cdot p}{\lambda \cdot T_c}$$

dove:

γ = rapporto tra la portata massima e quella media;

ψ = coefficiente di deflusso;

S = superficie del bacino (km²);

p = pioggia ragguagliata relativa a T_c (m);

$\lambda \cdot T_c$ = durata della piena (λ volte T_c) (ore).

I parametri empirici da implementare nella suddetta formula sono stati ricavati dalle tabelle proposte da Visentini, ricavate da esperienze condotte su bacini di svariate dimensioni.

A (km ²)	ϕ	κ
0 ÷ 500	0,5	4,0
500 ÷ 1.000	0,4	4,5
1.000 ÷ 8.000	0,3	5,0
8.000 ÷ 20.000	0,3	5,5
20.000 ÷ 70.000	0,2	6,0
	λ	
0 ÷ 300	10	
300 ÷ 1.000	8	
> 1.000	6	

Tabella 15: Parametri caratteristici del Metodo Giandotti

Secondo le caratteristiche dei bacini di appartenenza dei corsi d'acqua oggetto di studio, si sono ottenuti i seguenti parametri caratteristici, comuni ad entrambi i Fossi:

Parametri caratteristici bacino (Visentini)

φ	= 0,5	coefficiente di deflusso
γ	= 4,0	coefficiente di punta
λ	= 10	rapporto tra tempo di picco e tempo corrivazione

Tabella 16: Parametri caratteristici bacini

Vista la grandezza del bacino in esame, per tenere conto quindi della variabilità spaziale della precipitazione la letteratura di riferimento introduce un coefficiente di riduzione (ragguaglio dell'area), denominato ARF (Areal Reduction Factor), definito come:

$$ARF = \frac{h_r(\tau, A)}{h(\tau)} < 1$$

dove:

$h(\tau)$ = altezza di precipitazione (puntuale) nel centro di scroscio, in genere dedotta dalle curve di possibilità pluviometrica

$h_r(\tau, A)$ = altezza di precipitazione ragguagliata (mediata) su un'area A che contiene il centro di scroscio ($h_r(\tau, A) < h(\tau)$).

L'ipotesi assunta in tale trattazione è che il centro di scroscio sia localizzato in prossimità del pluviometro quando questo ha misurato i massimi annui di precipitazioni.

Si è osservato che tale parametro diminuisce all'aumentare dell'area A e aumenta all'aumentare della durata τ dell'evento di pioggia. Risulta invece trascurabile la sua variazione in funzione del periodo di ritorno T_r , come si riporta nel grafico seguente:

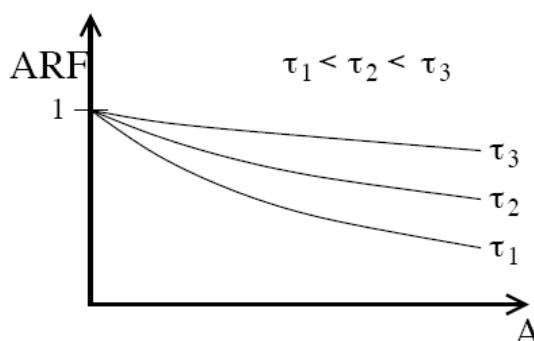


Figura 10: Diagramma del coefficiente di ragguaglio delle aree colanti

Il NERC di Wallington (UK) propone una semplice espressione analitica per la stima di tale parametro:

$$ARF = 1 - f_1 \tau^{-f_2}$$

$$f_1 = 0.0394 A^{0.354}$$

$$f_2 = 0.4 - 0.0208 \ln(4.6 - \ln A) \quad A < 20 \text{ km}^2$$

$$f_2 = 0.4 - 0.003832(4.6 - \ln A)^2 \quad 20 \text{ km}^2 < A < 100 \text{ km}^2$$

Attraverso tali espressione si è valutato il parametro ARF per i bacini in esame:

Pioggia ragguagliata

f1	=	0,030	
f2	=	0,365	
ARF	=	1,000	coefficiente ragguaglio dell'area

Tabella 17: Coefficienti di ragguaglio Fosso Sud

Pioggia ragguagliata

f1	=	0,040	
f2	=	0,368	
ARF	=	0,954	coefficiente ragguaglio dell'area

Tabella 18: Coefficienti di ragguaglio Fosso Est

Infine, al variare del periodo di ritorno, grazie all'espressione della portata secondo Giandotti e ai valori di altezza di pioggia ricavati precedentemente attraverso i modelli idrologici regionali disponibili si sono ricavati i valori di portata attesi alla sezione di chiusura oggetto di studio:

Portata di piena (formula razionale)

T_R	=	20	50	100	200	anni	tempi ritorno
h_c	=	44,3	53,0	62,3	66,3	mm	altezze di pioggia critica
h_{cr}	=	44,30	53,00	62,34	66,35	mm	altezze pioggia ragguagliate
Q	=	1,69	2,02	2,38	2,53	mc/s	portate di piena

Tabella 19: Calcolo delle portate Fosso Sud

Portata di piena (formula razionale)

T_R	=	20	50	100	200	anni	tempi ritorno
h_c	=	44,4	53,1	62,4	66,4	mm	altezze di pioggia critica
h_{cr}	=	42,33	50,64	59,57	63,40	mm	altezze pioggia ragguagliate
Q	=	3,52	4,21	4,96	5,27	mc/s	portate di piena

Tabella 20: Calcolo delle portate Fosso Est

I risultati ottenuti consentono di osservare portate variabili tra 1.69 e 2.53 m³/s per il Fosso a Sud dell'impianto, e tra 3.52 e 5.27 m³/s al variare del periodo di ritorno T_r da 20 a 200 anni. Alla luce delle caratteristiche dell'alveo del fosso e del bacino analizzato tali valori risultano assolutamente verosimili in termini di ordine di grandezza.

3.5 VERIFICHE IDRAULICHE

I tratti di studio dei due Fossi sono stati schematizzati ai fini delle verifiche idrauliche con una sezione idraulica di forma trapezia con geometrie valutate in via approssimativa, ancorché cautelativa, rispetto al rilievo topografico ad oggi disponibile. Tali ipotesi, dovranno essere quindi specificatamente verificate nelle successive fasi progettuali, rispetto a specifici rilievi dedicati agli alvei dei Fossi. Le grandezze relative a lunghezze e quote dei tratti di studio sono state invece mutuata dalla cartografia IGM scala 1:25000.

Una volta ottenuta la portata di progetto, è stata eseguita un'analisi in moto permanente del deflusso idraulico dei corsi d'acqua nei rispettivi tratti di studio.

Per il calcolo dell'altezza idrica all'interno del fosso, con deflusso a gravità, si è utilizzata la formula di Chezy per il moto uniforme:

$$V = k_{st} \cdot R^{2/3} \cdot i^{1/2}$$

dove:

V = velocità di attraversamento = Q/σ (m/s);

k_{st} = coefficiente di Gaukler-Strikler (m^{1/3}/s);

R = raggio idraulico della sezione = σ/χ (m);

i = pendenza geometrica del fondo (m/m);

h = altezza tirante idrico (m);

χ = contorno bagnato della sezione (m);

σ = area della sezione liquida (m²).

Al fine di determinare l'opportuno coefficiente di scabrezza di Gaukler-Strikler si è utilizzata la seguente tabella che identifica i valori dei parametri di scabrezza consigliati in letteratura per le differenti tipologie di superficie di rivestimento delle sponde e dell'alveo del canale.

Natura della superficie	Scabrezza assoluta e _s (10 ⁻⁴ m)	Coefficiente K _s (m ^{1/3} /s)	Indice di Bazin γ _B	Indice di Kutter m _K
Rivestiti con:				
conglomerati bituminosi	5-90	75-57	0.15-0.53	0.33-0.76
mattoni	10-90	72-57	0.21-0.53	0.39-0.76
prefabbricato	3-30	95-70	0.11-0.25	0.17-0.36
pietrame ad opera incerta		50-20	0.74-3.35	1.00-4.00
pietre		30-15	1.9-4.8	2.33-5.67
Scavati o dragati:				
in terra con manutenzione		60-30	0.45-1.9	0.17-0.36
in roccia o terra senza manutenzione		50-20	0.74-3.35	1.00-4.00

Tabella 21: Coefficienti di scabrezza secondo varie formule di resistenza

A vantaggio di sicurezza è stato assunto un k_{st} pari a $35 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, relativo a rivestimenti naturali in condizioni di scarsa manutenzione.

Si procede, quindi, al calcolo dei tiranti idrici all'interno del canale in corrispondenza della portata di colmo a per i vari periodi di ritorno.

	prog. iniziale	prog. finale	quota iniziale	quota finale	lunghezza	pendenza canale	
ASSE	Pi [m]	Pf [m]	Qi [m]	Qf [m]	L [m]	i	
$T_R=20$	Fosso Sud	0,0	480,0	387,00	282,00	480,0	0,219
$T_R=50$	Fosso Sud	0,0	480,0	387,00	282,00	480,0	0,219
$T_R=100$	Fosso Sud	0,0	480,0	387,00	282,00	480,0	0,219
$T_R=200$	Fosso Sud	0,0	480,0	387,00	282,00	480,0	0,219

Tabella 22: Geometria del tratto di studio – Fosso Sud

	larghezza canale	altezza canale	pendenza scarpata destra	pendenza scarpata sinistra	larghezza sommitale canale	coeff. scabrezza	portata max	
ASSE	B [m]	H [m]	p_{dx}	p_{sx}	Bs [m]	K_{ST} [$\text{m}^{1/3}/\text{s}$]	Q [mc/s]	
$T_R=20$	Fosso Sud	1,00	1,00	1,00	1,00	3,0	35	1,69
$T_R=50$	Fosso Sud	1,00	1,00	1,00	1,00	3,0	35	2,02
$T_R=100$	Fosso Sud	1,00	1,00	1,00	1,00	3,0	35	2,38
$T_R=200$	Fosso Sud	1,00	1,00	1,00	1,00	3,0	35	2,53

Tabella 23: Geometria della sezione trasversale – Fosso Sud

	portata max	tirante idrico	area bagnata	perimetro bagnato	raggio idraulico	velocità corrente	
ASSE	Q [mc/s]	h [m]	σ [m^2]	χ [m]	R [m]	V [m/s]	
$T_R=20$	Fosso Sud	1,69	0,25	0,32	1,7	0,19	5,32
$T_R=50$	Fosso Sud	2,02	0,28	0,36	1,8	0,20	5,61
$T_R=100$	Fosso Sud	2,38	0,31	0,40	1,9	0,22	5,89
$T_R=200$	Fosso Sud	2,53	0,32	0,42	1,9	0,22	6,00

Tabella 24: Parametri della scala di deflusso – Fosso Sud

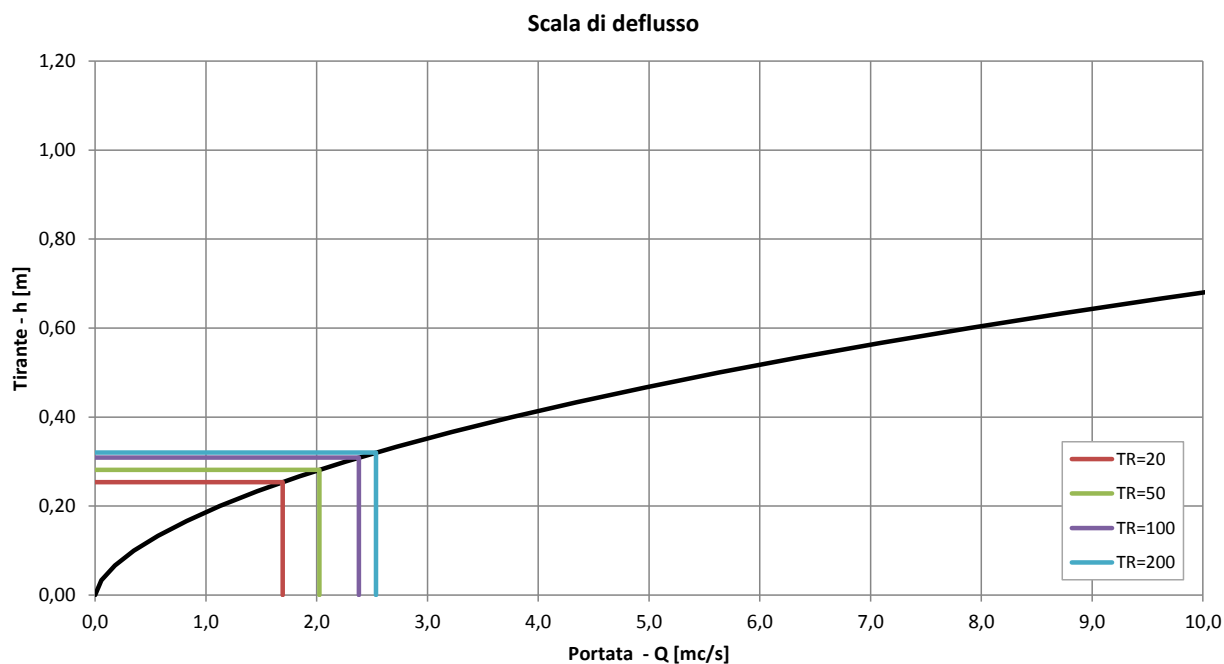


Figura 11: Scala di deflusso – Fosso Sud

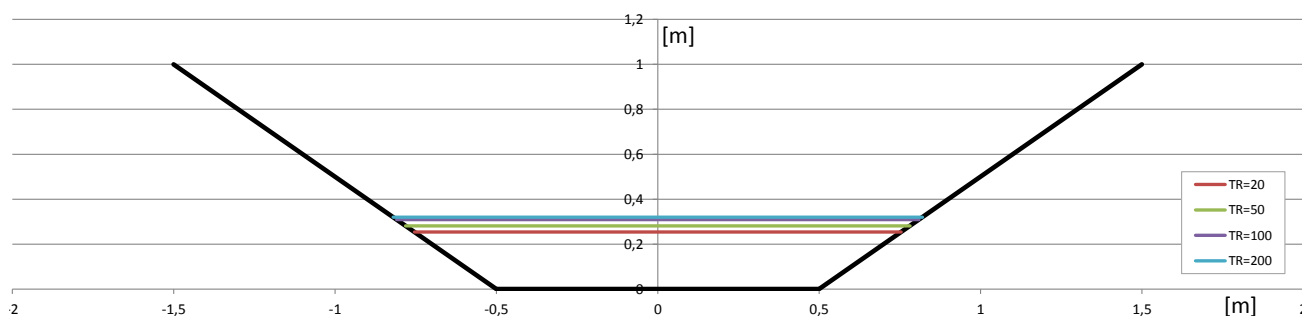


Figura 12: Livelli di piena – Fosso Sud

I livelli idrici determinati in forma semplificata tramite scala di deflusso in moto uniforme si riscontrano variabili tra 0.25m e 0.32m al variare del periodo di ritorno. Tali livelli rispetto alle quote minime valutate sponde ($H_{min}=1.0m$), escludono fenomeni di potenziale esondazione, garantendo adeguati franchi idraulici per tutti i periodi di ritorno analizzati.

Una possibile criticità può essere rappresentata dalle elevate velocità in alveo, tipiche per tale tipologia di corsi d'acqua, caratterizzati da forti acclività longitudinali, pertanto non possono escludersi possibili fenomeni di erosione locale e dissesto delle sponde. Le opere di progetto quindi, sono state posizionate con adeguati franchi di sicurezza rispetto a tali eventualità.

		prog. iniziale	prog. finale	quota iniziale	quota finale	lunghezza	pendenza canale
	ASSE	Pi [m]	Pf [m]	Qi [m]	Qf [m]	L [m]	i
T _R =20	Fosso Est	0,0	1100,0	392,00	282,00	1100,0	0,100
T _R =50	Fosso Est	0,0	1100,0	392,00	282,00	1100,0	0,100
T _R =100	Fosso Est	0,0	1100,0	392,00	282,00	1100,0	0,100
T _R =200	Fosso Est	0,0	1100,0	392,00	282,00	1100,0	0,100

Tabella 25: Geometria del tratto di studio – Fosso Est

		larghezza canale	altezza canale	pendenza scarpata destra	pendenza scarpata sinistra	larghezza sommitale canale	coeff. scabrezza	portata max
	ASSE	B [m]	H [m]	p_{dx}	p_{sx}	Bs [m]	K_{ST} [m ^{1/3} /s]	Q [mc/s]
T _R =20	Fosso Est	2,00	1,00	1,00	1,00	4,0	35	3,52
T _R =50	Fosso Est	2,00	1,00	1,00	1,00	4,0	35	4,21
T _R =100	Fosso Est	2,00	1,00	1,00	1,00	4,0	35	4,96
T _R =200	Fosso Est	2,00	1,00	1,00	1,00	4,0	35	5,27

Tabella 26: Geometria della sezione trasversale – Fosso Est

		portata max	tirante idrico	area bagnata	perimetro bagnato	raggio idraulico	velocità corrente
	ASSE	Q [mc/s]	h [m]	σ [m ²]	X [m]	R [m]	V [m/s]
T _R =20	Fosso Est	3,52	0,33	0,77	2,9	0,26	4,55
T _R =50	Fosso Est	4,21	0,37	0,87	3,0	0,29	4,82
T _R =100	Fosso Est	4,96	0,41	0,98	3,1	0,31	5,07
T _R =200	Fosso Est	5,27	0,42	1,02	3,2	0,32	5,17

Tabella 27: Parametri della scala di deflusso – Fosso Est

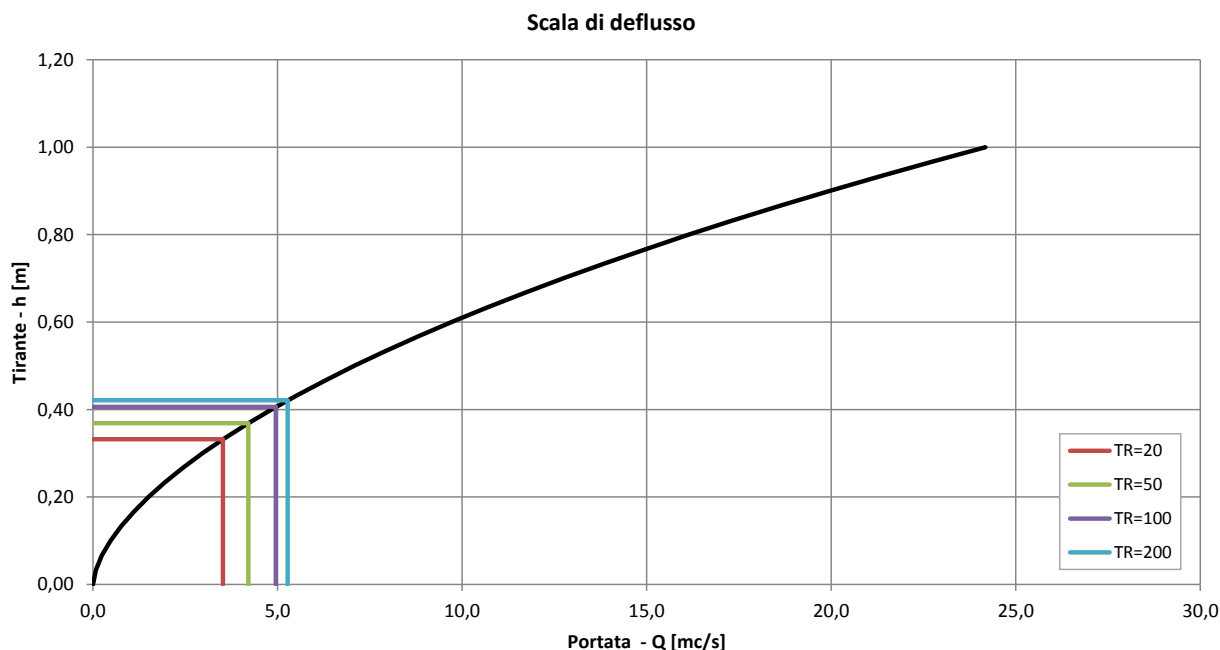


Figura 13: Scala di deflusso – Fosso Est

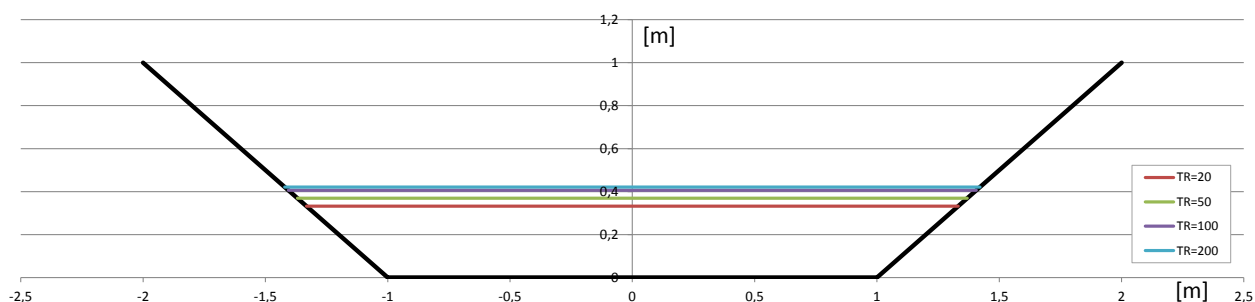


Figura 14: Livelli di piena – Fosso Est

I livelli idrici determinati in forma semplificata tramite scala di deflusso in moto uniforme si riscontrano variabili tra 0.33m e 0.42m al variare del periodo di ritorno. Tali livelli rispetto alle quote minime valutate sponde ($H_{min}=1.0m$), escludono fenomeni di potenziale esondazione, garantendo adeguati franchi idraulici per tutti i periodi di ritorno analizzati.

Una possibile criticità può essere rappresentata dalle elevate velocità in alveo, tipiche per tale tipologia di corsi d'acqua, caratterizzati da forti acclività longitudinali, pertanto non possono escludersi possibili fenomeni di erosione locale e dissesto delle sponde. Le opere di progetto quindi, sono state posizionate con adeguati franchi di sicurezza rispetto a tali eventualità.

4. STUDIO DI FATTIBILITA'

4.1 VALUTAZIONE DEL FABBISOGNO DELL'IMPIANTO

Il fabbisogno dell'impianto di perforazione, che costituisce di fatto la quasi totalità del fabbisogno idrico dell'impianto, è stato valutato in circa 30.000mc per ciascun pozzo geotermico da realizzare. Ciascun pozzo sarà realizzato orientativamente in un periodo stimato di circa 3-4 mesi.

4.2 VALUTAZIONE DELLA CAPACITA' DI RICARICA DELLA VASCA DI ACCUMULO E DELLA VASCA ACQUA DI PERFORAZIONE

La capacità di ricarica della vasca di accumulo e della vasca acqua di perforazione è stata valutata rispetto all'acqua direttamente insistente sulle loro superfici e a quella insistente sull'area da cui affluisce nelle vasche stesse, per una superficie totale di circa 10600mq.

Rispetto ai Report idrologici del SIR Toscana, di seguito riportati, può valutarsi cautelativamente per l'area di progetto un apporto pluviometrico annuo di circa 700 mm/anno.

BACINI	ARNO	ARNO_INF	ARNO_MED	ARNO_SUP	FIORA	MAGRA	OMBRONE	SERCHIO	TOS_COSTA	TOS_NORD
1984	972	922	1073	972	818	995	1109	983	996	1278
1985	597	528	647	632	476	790	589	642	570	792
1986	704	617	802	733	646	790	687	780	583	1004
1987	668	563	727	728	838	695	703	787	619	972
1988	572	509	629	599	510	636	572	602	526	901
1989	603	555	642	626	582	588	583	590	530	710
1990	495	486	517	494	459	599	492	617	533	820
1991	605	597	639	597	553	610	609	777	601	862
1992	482	534	549	410	468	465	392	812	406	1256
1993	365	402	384	326	395	332	250	516	364	853
1994	386	336	457	397	380	423	413	424	336	620
1995	412	448	506	341	497	725	426	817	454	1349
1996	1144	1117	1190	1127	1184	1681	1028	1797	1004	1860
1997	879	756	885	996	874	1211	844	1374	728	1392
1998	883	789	919	941	789	1347	740	1401	663	1331
1999	1070	1008	1111	1089	867	1621	820	1834	826	1795
2000	1105	1136	1138	1043	819	1810	847	1868	923	1822
2001	940	866	1004	951	633	1461	637	1533	678	1563
2002	1083	1060	1109	1081	827	1500	881	1654	914	1700
2003	820	778	871	812	652	1278	674	1348	664	1352
2004	1077	1007	1087	1138	1134	1523	880	1664	833	1626
2005	1037	938	1053	1119	1023	1142	938	1277	924	1307
2006	845	806	900	829	725	1254	689	1289	701	1280
2007	759	742	822	712	469	1051	524	1130	623	1146
2008	1012	981	1019	1034	1235	1838	1031	1814	1007	1754
2009	978	956	1012	966	1136	2008	906	1877	900	1902
2010	1396	1422	1447	1320	1361	2507	1141	2238	1338	2306
2011	641	614	705	604	640	1558	605	1268	552	1286
2012	929	933	973	906	1066	1683	823	1548	831	1539
2013	1192	1138	1265	1204	1124	2200	969	2065	932	2042
2014	1221	1284	1333	1119	1573	2406	1140	2287	1206	2212
MEDIA 1984-2013	822	785	869	824	773	1211	727	1244	719	1347

Tabella 28: Piogge cumulate medie annue – Bacino idrografico Toscana Costa

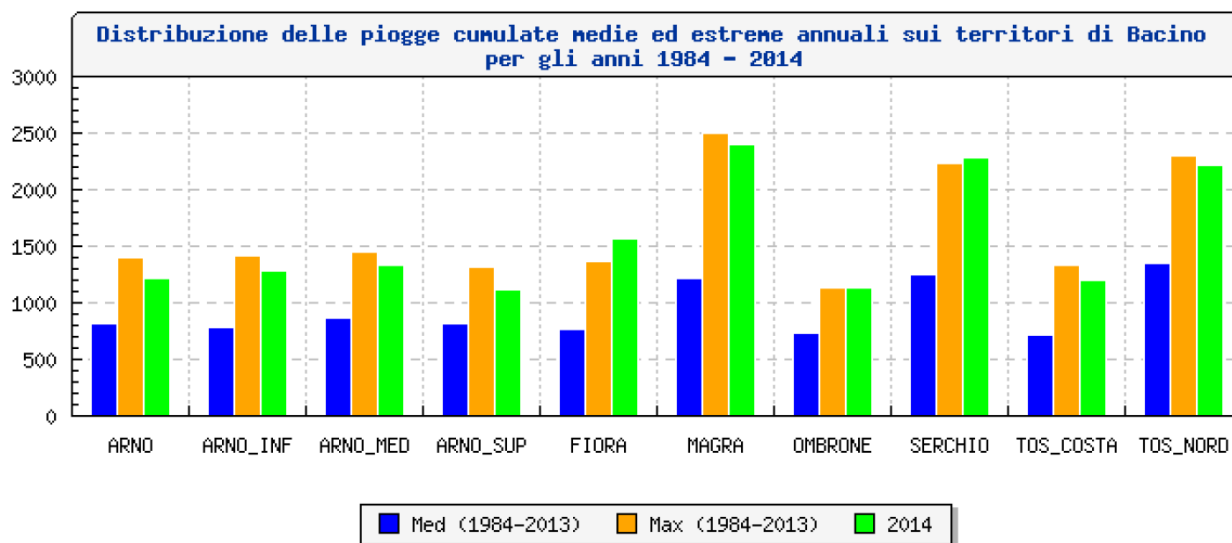


Figura 15: Piogge cumulate medie annue – Bacino idrografico Toscana Costa

PROVINCE	AR	FI	GR	LI	LU	MS	PI	PO	PT	SI
1984	880	901	949	898	1020	1039	946	1111	1349	1236
1985	553	523	497	461	590	745	470	590	711	616
1986	694	652	614	539	822	840	543	772	900	688
1987	712	657	738	556	772	750	535	806	854	708
1988	546	570	562	485	656	693	522	623	671	657
1989	720	766	716	581	699	726	653	795	796	733
1990	502	528	564	557	721	732	565	688	899	552
1991	738	715	762	694	925	749	750	970	1140	710
1992	358	468	401	404	802	538	486	691	1043	335
1993	349	350	397	452	511	413	462	598	794	242
1994	402	412	504	457	550	561	399	560	744	569
1995	239	336	403	424	698	626	375	501	805	362
1996	1102	1181	1038	966	1777	1716	1085	1371	1620	1031
1997	1001	923	841	657	1345	1229	745	1026	1216	824
1998	913	946	725	599	1367	1330	756	1114	1215	762
1999	1064	1114	821	778	1810	1630	947	1326	1613	838
2000	1005	1103	825	882	1843	1796	1087	1279	1628	909
2001	931	994	602	650	1510	1471	799	1181	1366	713
2002	1080	1068	853	900	1635	1526	1006	1315	1617	920
2003	794	862	642	614	1327	1290	726	1050	1223	715
2004	1157	1073	876	796	1636	1533	944	1280	1520	946
2005	1121	1103	944	859	1260	1163	902	1134	1235	975
2006	798	889	709	659	1260	1258	775	1102	1236	678
2007	678	794	513	634	1118	1067	716	970	1127	544
2008	1034	978	1080	1032	1783	1814	942	1233	1591	991
2009	982	955	952	924	1851	1991	912	1316	1663	885
2010	1308	1397	1165	1306	2216	2487	1432	1644	1984	1208
2011	591	669	618	519	1247	1520	555	891	1087	588
2012	912	914	858	778	1546	1667	891	1103	1357	836
2013	1217	1208	932	829	2042	2164	1065	1537	1908	1068
2014	1080	1267	1245	1182	2281	2400	1275	1710	2004	1076
MEDIA 1984-2013	813	835	737	696	1245	1235	766	1019	1230	761

Tabella 29: Piogge cumulate medie annue – Provincia Pisa

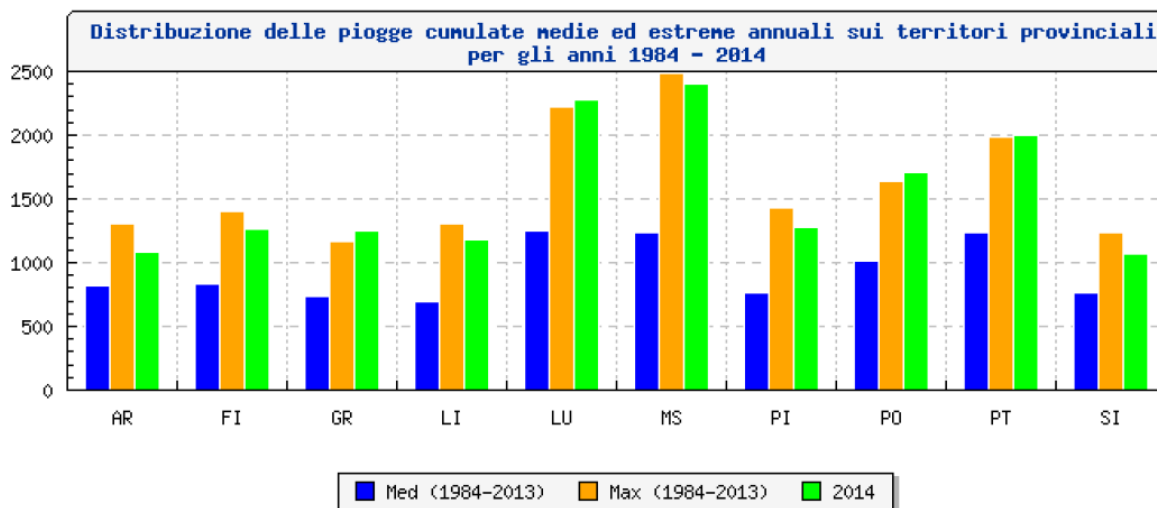


Figura 16: Piogge cumulate medie annue – Provincia Pisa

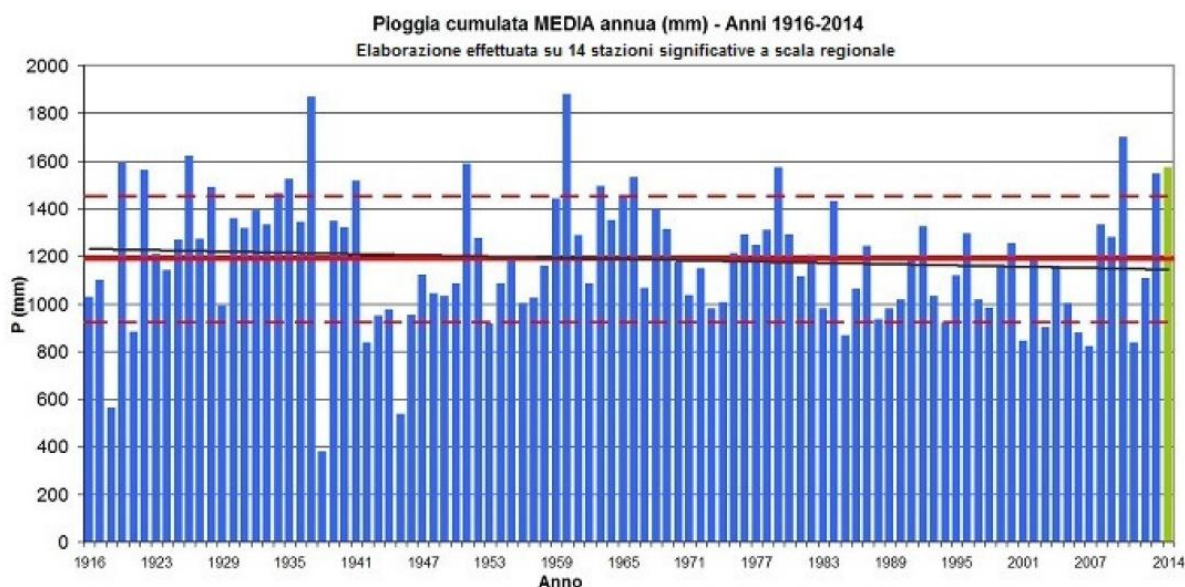


Figura 17: Piogge cumulate medie annue – Regione Toscana

Il valore assunto è stato confrontato sia con le valutazioni cumulate medie d'ambito areale relative al bacino idrografico (Toscana Costa) e alla provincia d'appartenenza (Pisa) valutate rispetto al periodo 1984-2014, nonché rispetto alle serie storiche cumulate medie annue nel periodo 1916-2014 in ambito regionale, risultando più che cautelativo.

Rispetto all'area considerata nel modo descritto sopra, pari a circa 106000mq, considerato un coefficiente riduttivo per evapotraspirazione pari a 0.60, è possibile stimare in via preliminare un volume potenziale di ricarica annuale pari a circa 4400mc/anno.

La rimanente quantità di acqua verrà approvvigionata mediante l'impiego di autobotti.