Regione Emilia Romagna Provincia di Modena

Comune di Palagano

Costruzione di una centrale idroelettrica denominata Savoniero sul Torrente Dragone

RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA

ALLEGATO II/i

i tecnici la ditta richiedente

ing. Giovanni Giusti AREE srls

ing. Stefano Teneggi

aprile 2014

Rev.: settembre 2015

Sommario

1. Premesse e finalità dello studio idrologico. 3

2. Elaborazione dello studio idrologico. 6

2.1 Scenari esaminati. 6

2.1 Elaborazione dei dati e definizione della curva di portata. 9

3. Deflusso minimo vitale e quantificazione della portata turbinabile. 15

4. Quantificazione della portata di piena. 19

5. Portata turbinabile. 27

1. Premesse e finalità dello studio idrologico.

Il presente studio esamina le condizioni di deflusso idraulico in corrispondenza della briglia esistente sul torrente Dragone in prossimità del ponte detto di "Savoniero", a servizio della Strada Provinciale che raggiunge l'omonima località, in Comune di Palagano (MO), quantifica le portate attese sul manufatto e provvede alla successiva modellazione idraulica in condizioni di moto permanente.

Lo studio è funzionale alla realizzazione di una centrale idroelettrica collocata a circa 600 metri a valle del manufatto in questione, in corrispondenza di una ulteriore briglia esistente nell'asta del torrente Dragone. La centrale verrà posizionata sulla sponda di destra idraulica del Dragone e realizzata con una turbina tipo Ossberger, quindi una turbina a velocità lenta e flusso libero alimentata con una condotta la cui opera di presa si inserisce a valle del manufatto presente in corrispondenza del ponte, senza gravare sul ponte.

Il manufatto in cui viene prevista la presa si colloca nel tratto finale dell'asta del torrente Dragone, a circa 5,2 km dalla confluenza con il Dolo, di cui il Dragone è affluente di destra idraulica, realizzata a protezione delle strutture di fondazione del ponte di Savoniero. Il manufatto è un classico esempio di briglia e contro briglia, con vasca di dissipazione che verrà adeguata per sfiorare l'acqua nell'opera di presa della condotta. La condotta collega l'opera di presa alla centrale idroelettrica, con posizione dei vari manufatti riportata in figura 1.2. Il salto geodetico complessivamente disponibile per lo sfruttamento energetico è pari a 15,7 metri.

Nei capitoli successivi sarà sviluppato lo studio idrologico dell'opera. Per la sua elaborazione si è fatto riferimento a dati acquisiti da pubblicazioni e documenti ufficiali: i dati mostrano, tra loro, alcune difformità, peraltro di poco rilievo e non sostanziali, con valori di calcolo normalizzati alle condizioni più critiche accertate, certamente cautelative.

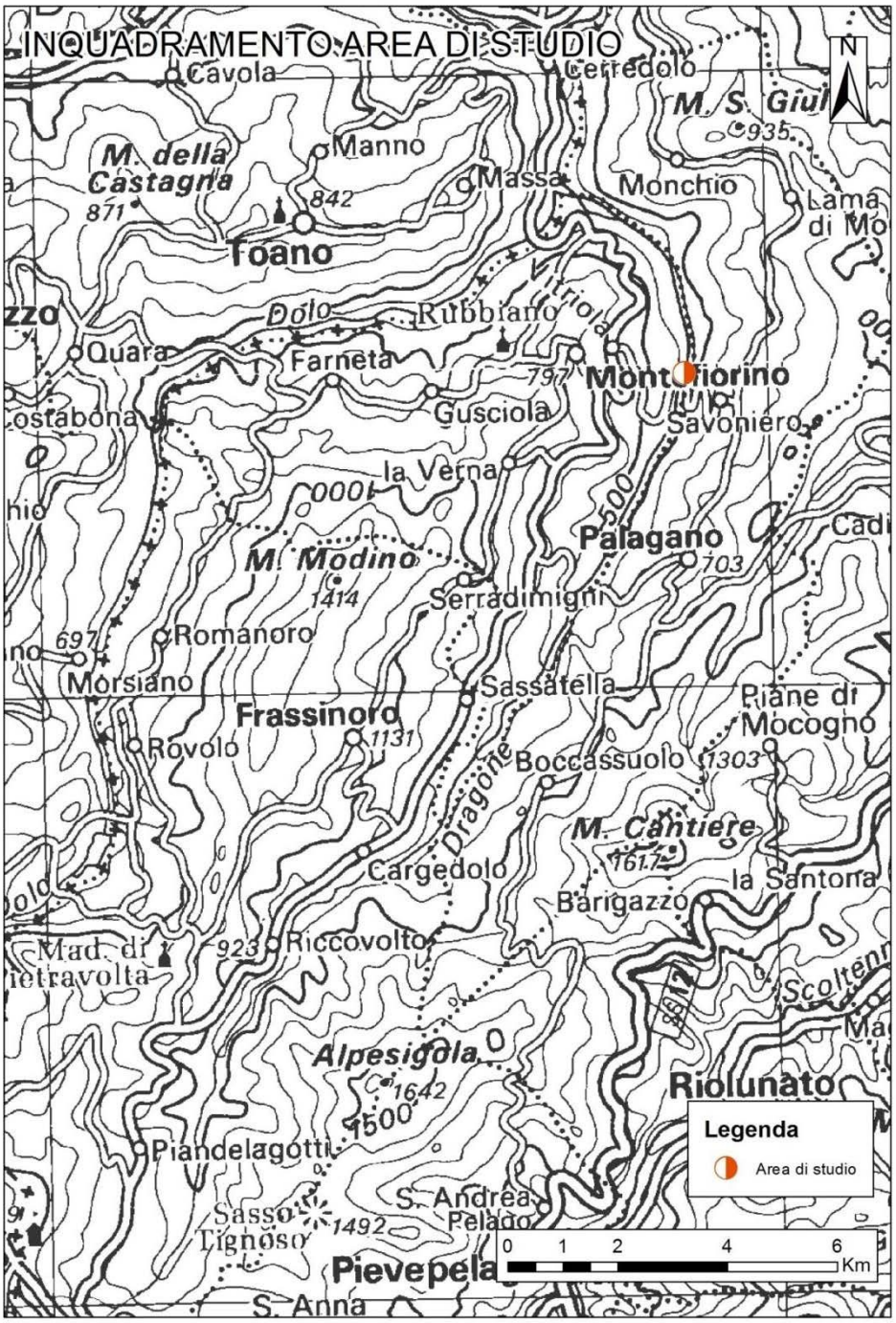

Fig.1.1 Inquadramento geografico con indicazione dell'intervento.

Fig.1.2 Inquadramento tramite ortofoto agea 2011, con indicazione dei punti di presa e di rilascio.

2. Elaborazione dello studio idrologico.

2.1 Scenari esaminati.

Nella zona interessata dalla nuova infrastruttura non sono disponibili misure dirette di portata del Torrente Dragone.

Sono stati invece reperiti documenti che riepilogano le caratteristiche morfologiche e pluviometriche del bacino sotteso e quelle idrometriche di bacini limitrofi, così da condurre analisi del tipo afflussi-deflussi ed elaborazioni statistiche di dati pubblicati sia da Servizi nazionali che regionali.

Le due sezioni idrauliche esaminate nella presente relazione sono individuate nella briglia e controbriglia presente nella struttura del ponte di Savoniero e nella briglia posta a circa 600 metri a valle rispetto a questo, entrambe chiaramente riconducibili al bacino elementare così descritto nei documenti dell'Autorità di Bacino:

Codice	Bacino principale	Bacino elementare	Sup. bacino (km^2)	Quota massima (m s.m.)	Quota media (m s.m.)	Quota sezione chiusura (m s.m.)
1168	SECCHIA	DOLO	133,2	2015	992	325

La descrizione geometrica dei due bacini sottesi dalle sezioni su descritte è così riepilogata:

	sottobacini individuati	area (km^2)	lunghezza asta fluviale (km)	altezza media (msm)	altezza sezione (msm)
1	Sezione di presa (ponte di Savoniero)	106,66	21,95	1.061	420
2	Sezione di scarico (briglia con centrale)	111,46	22,59	1.045	408

Tabella 3.1 Descrizione numerica dei bacini scolanti considerati

La presenza della Centrale idroelettrica di Farneta, realizzata negli anni '20 ha modificato in modo significato l'assetto idrologico della parte di monte del sottobacino prima descritti, da allora "dedicata" alla sua alimentazione con la costruzione delle due dighe realizzate a Fontaluccia ed a Riccovolto. In questo modo l'acqua drenata nella parte più alta dei bacini del Dolo e del Dragone viene convogliata, con maggior regolarità ed efficienza, all'impianto

idroelettrico di Farneta e scaricata nel Dolo a monte della confluenza con il Dragone. Questa configurazione parzializza il bacino scolante del Dragone e riduce di 29 km^2 la superficie afferente alle sezioni idrauliche in esame, con situazione planimetrica dei bacini rappresentata nella figura successiva.

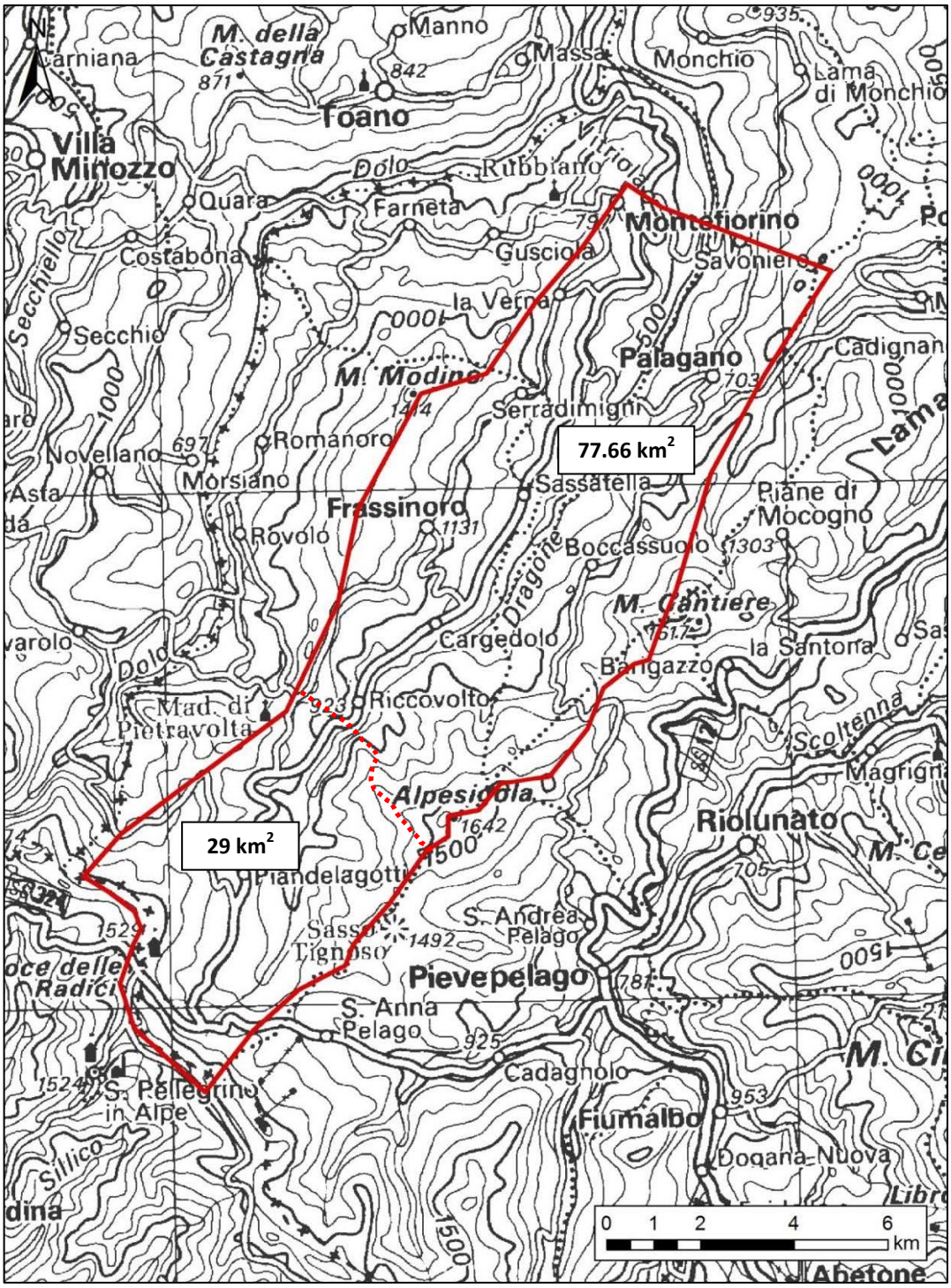

Fig. 2.1 Planimetria con indicazione del bacino scolante alla sezione di presa della centrale in progetto

Lo studio idrologico deve perciò esaminare tutte le possibili situazioni potenzialmente presenti a monte dei manufatti in esame, sintetizzate in scenari progettuali di seguito declinati e discussi, valutati per la corretta costruzione dell'infrastruttura.

Nel primo scenario viene esaminata la situazione più cautelativa in termini di valorizzazione della risorsa idrica, definendo la curva di durata delle portate in corrispondenza della sezione dell'opera di presa sulla base di un modello idrologico che:

- non tiene conto del bacino a monte della diga di Riccovolto, con estensione di 29,0 km^2, in quanto utilizzato alla alimentazione della centrale di Farneta;
- deriva dalla portata disponibile nella sezione idraulica esaminata tutto il DMV relativo all'intero bacino di monte, quindi anche quello utilizzato alla alimentazione della centrale di Farneta.

Queste assunzioni generano un modello estremamente conservativo per il dimensionamento dell'impianto, alimentato quindi da un bacino scolante di soli 77,66 km^2 e con DMV derivato completamente dalla portata generata nel sottobacino a valle dello sbarramento di Riccovolto.

Nel secondo caso viene invece determinata la portata di piena con tempo di ritorno duecentennale, massimizzando il deflusso atteso, quindi senza considerare la presenza della diga di Riccovolto. In questo caso il bacino scolante è rappresentato dalla somma dell'intero bacino a monte delle sezioni idrauliche esaminate, con superficie complessiva di 106,66 e 114,46 km^2, e le verifiche accertano il comportamento dell'infrastruttura nelle condizioni critiche definite in corrispondenza di importanti tempi di ritorno.

L'analisi idrologica dei due scenari viene sviluppata nel seguito, così da definire sia le portate a servizio dell'impianto idroelettrico che le condizioni di compatibilità e di sicurezza del manufatto idraulico una volta realizzata la nuova infrastruttura.

2.1 Elaborazione dei dati e definizione della curva di portata.

Si è già riferito del fatto che il bacino idrografico sotteso dal manufatto di Savoniero è un bacino privo di stazioni idrometriche con cui reperire dati sulla sezione di controllo rappresentata dalla briglia, condizione che limita una indagine di tipo diretto per la definizione della curva di durata delle portate. Lo studio idrologico viene perciò sviluppato sulla base dei dati raccolti negli Annali Idrologici del Magistrato del Po e dell'ARPA regionale. Questi ultimi, seppur limitati al periodo che va dal 2003 ad oggi, riguardano bacini scolanti limitrofi a quello in esame, con caratteristiche morfologiche, pluviometriche e geografiche certamente simili, quindi maggiormente affidabili per la definizione della curva di durata della portata fluente. E' quindi possibile sviluppare una doppia elaborazione, utilizzando dapprima i dati consolidati per il fiume Secchia e, successivamente, quelli relativi ai monitoraggi svolti a partire dal 2003 nei bacini limitrofi a quello in esame.

Tutti i dati noti sono stati digitalizzati e normalizzati alle caratteristiche del bacino di cui si vuole definire la curva di durata delle portate. Il dato normalizzato viene poi pesato, con coefficienti definiti in funzione delle caratteristiche pluviometriche, morfologiche e geografiche del bacino scolante e della quantità di anni di monitoraggio disponibili.

Il riepilogo dei dati utilizzati e dei risultati ottenuti dalla elaborazione relativa alla sezione di interesse è riportato nelle tabelle successive, con curva di durata delle portate calcolata descritta nel grafico di fig. 2.3.

Bacino (km^2)	Stazione	Durata delle portate (m^3/s), espresse in giorni							
		10	30	60	91	135	182	274	355
348	Secchia a Ponte Cavola (2004-2011)	30,70	18,40	13,10	9,67	6,48	4,33	1,94	0,20
693	Secchia a Ponte Lugo (2003-2011)	67,40	42,20	27,60	19,50	13,00	8,30	2,88	1,06
1.303	Secchia a Rubiera (2003-2011)	107,00	60,40	38,50	27,20	17,80	11,00	1,10	--
1.371	Secchia a Ponte Bacchello (1942-2006)	113,00	57,30	36,80	26,30	17,10	10,90	1,60	0,30

Tabella 2.1 Dati di durata della portata del Fiume Secchia, espressa in [m^3/s]

Bacino in esame (km^2)	Stazione con dati NORMALIZZATI al bacino in esame	Durata delle portate (m^3/s), espresse in giorni								PESO
		10	30	60	91	135	182	274	355	
77,66	Secchia a Ponte Cavola (2004-2011)	6,85	4,11	2,92	2,16	1,45	0,97	0,43	0,04	0,7
	Secchia a Ponte Lugo (2003-2011)	7,55	4,73	3,09	2,19	1,46	0,93	0,32	0,12	0,6
	Secchia a Rubiera (2003-2011)	6,38	3,60	2,29	1,62	1,06	0,66	0,07	---	0,1
	Secchia a Ponte Bacchello (1942-2006)	6,40	3,25	2,08	1,49	0,97	0,62	0,09	0,02	0,1
	MEDIA PONDERATA	7,07	4,26	2,89	2,09	1,39	0,91	0,34	0,07	

Tabella 2.2 Tabella dei dati delle portate normalizzate e stimate nel bacino in esame, espresse in [m^3/s]. Il calcolo tiene conto del peso adottato per ogni sezione.

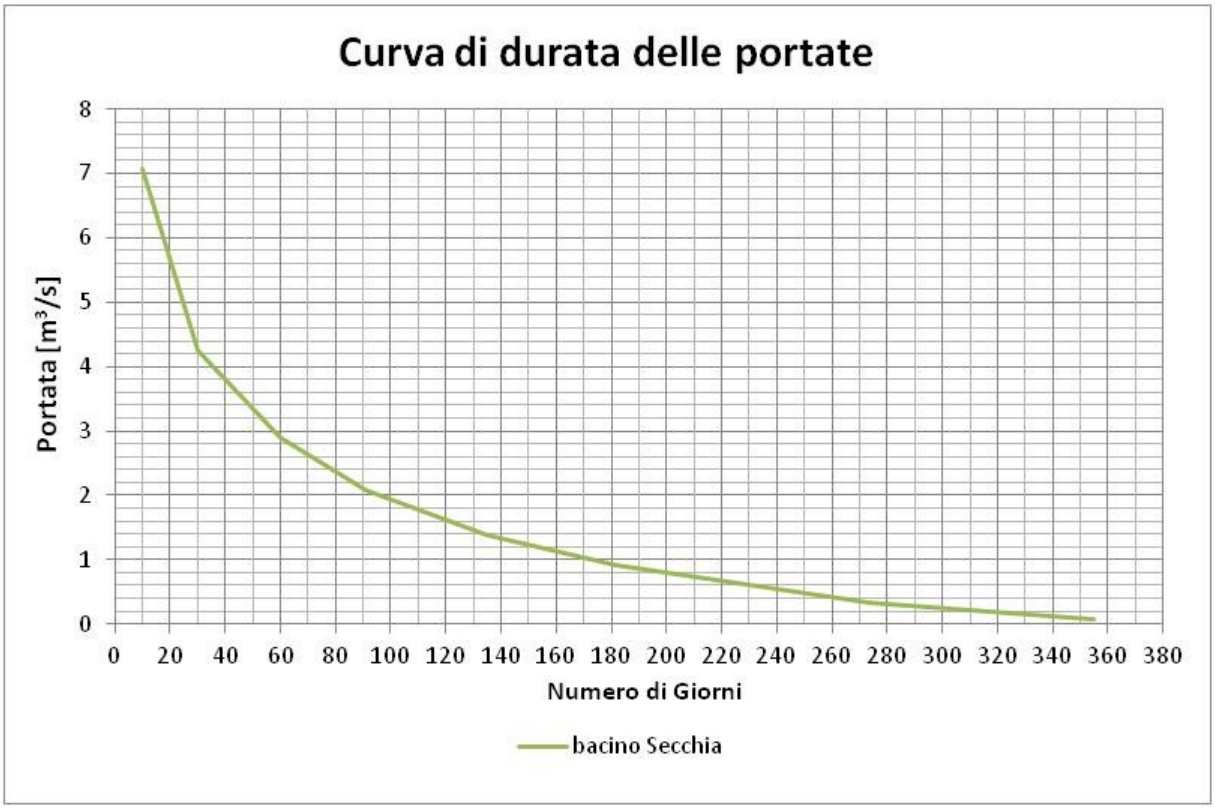

Fig.2.3 Curva di durata delle portate a partire dai dati monitorati nel bacino del Fiume Secchia. Nel grafico sono visualizzati i valori di tabella 2.2.

La seconda elaborazione interessa, come dichiarato, bacini limitrofi a quello oggetto di indagine. I dati utilizzati sono quelli delle edizioni 2011 e 2012 degli Annali Idrologici di ARPA Emilia-Romagna che riportano, per ogni bacino esaminato, la stima della durata delle portate. Il procedimento adottato ripropone la metodica già descritta, con dati normalizzati ed utilizzati per la determinazione della durata della portata come media pesata di singoli fattori, con coefficienti adottati in funzione delle caratteristiche del singolo bacino. Il

risultato trova rappresentazione nel grafico successivo, con valori del tutto paragonabili a quelli della prima elaborazione.

Bacino (km^2)	Stazione	Qmax	Durata delle portate (m^3/s), espresse in giorni								Qmin
			10	30	60	91	135	182	274	355	
348	Secchia a Ponte Cavola										
	2004-2011	117,00	30,70	18,40	13,10	9,67	6,48	4,33	1,94	0,20	0,02
	2012	76,60	22,50	13,60	10,50	9,02	6,63	5,03	1,90	0,76	0,49
233	Secchia a Gatta										
	2003-2007	48,40	14,00	9,25	6,14	4,76	3,62	2,40	1,03	0,22	0,01
	2011		13,00	8,48	6,78	4,54	3,06	2,17	1,18	0,00	
187	Rossenna a Rossenna										
	2003-2011	49,90	14,40	7,83	4,69	2,84	1,32	0,58	0,17	0,01	0,00
	2012	28,60	10,20	3,54	1,65	1,11	0,80	0,59	0,15	0,02	0,02
64,6	Leo a Fanano										
	2003-2011	50,00	10,50	4,78	3,02	2,18	1,58	1,09	0,34	0,03	0,01
	2012	26,20	8,78	3,18	1,67	1,49	1,26	1,01	0,48	0,21	0,16
130	Scoltenna a Pievepelago										
	2003-2011	74,10	16,60	10,30	7,32	5,32	3,71	2,73	1,19	0,25	0,01
	2012	61,90	21,90	10,80	7,09	5,03	3,21	3,00	2,71	1,31	0,66
271	Scoltenna a Ponte V. Sasso										
	2006-2011	89,00	19,20	12,80	9,39	7,02	5,23	3,96	2,24	0,59	0,41
	2012	81,30	29,10	18,10	14,9	11,9	8,43	5,80	2,38	1,36	1,20

Tabella 2.3 Dati di durata della portata di bacini limitrofi a quello in esame

Bacino in esame (km^2)	Stazione con dati NORMALIZZATI al bacino in esame	Qmax	Durata delle portate (m^3/s), espresse in giorni								Qmin	PESO
			10	30	60	91	135	182	274	355		
77,66	Secchia a Ponte Cavola											0,5
	2004-2011	26,11	6,85	4,11	2,92	2,16	1,45	0,97	0,43	0,04	0,00	
	2012	17,09	5,02	3,03	2,34	2,01	1,48	1,12	0,42	0,17	0,11	
	Secchia a Gatta											0,6
	2003-2007	16,13	4,67	3,08	2,05	1,59	1,21	0,80	0,34	0,07	0,00	
	2011	-	4,33	2,83	2,26	1,51	1,02	0,72	0,39	-	-	
	Rossenna a Rossenna											0,7
	2003-2011	20,72	5,98	3,25	1,95	1,18	0,55	0,24	0,07	0,00	-	
	2012	11,88	4,24	1,47	0,69	0,46	0,33	0,25	0,06	0,01	0,01	

	Leo a Fanano											0,4
	2003-2011	60,11	12,62	5,75	3,63	2,62	1,90	1,31	0,41	0,04	0,01	
	2012	31,50	10,55	3,82	2,01	1,79	1,51	1,21	0,58	0,25	0,19	
	Scoltenna a Pievepelago											0,65
	2003-2011	44,27	9,92	6,15	4,37	3,18	2,22	1,63	0,71	0,15	0,01	
	2012	36,98	13,08	6,45	4,24	3,00	1,92	1,79	1,62	0,78	0,39	
	Scoltenna a Ponte V. Sasso											0,5
	2006-2011	25,50	5,50	3,67	2,69	2,01	1,50	1,13	0,64	0,17	0,12	
	2012	23,30	8,34	5,19	4,27	3,41	2,42	1,66	0,68	0,39	0,34	
VALORE NORMALIZZATO E PESATO		30,69	7,38	4,18	2,84	2,06	1,42	1,00	0,46	0,11	0,02	

Tabella 2.4 Tabella dei dati delle portate di tabella 2.3 normalizzate e stima per il bacino in esame. Le portate sono espresse in m^3/s. Il calcolo tiene conto del peso adottato per ogni sezione.

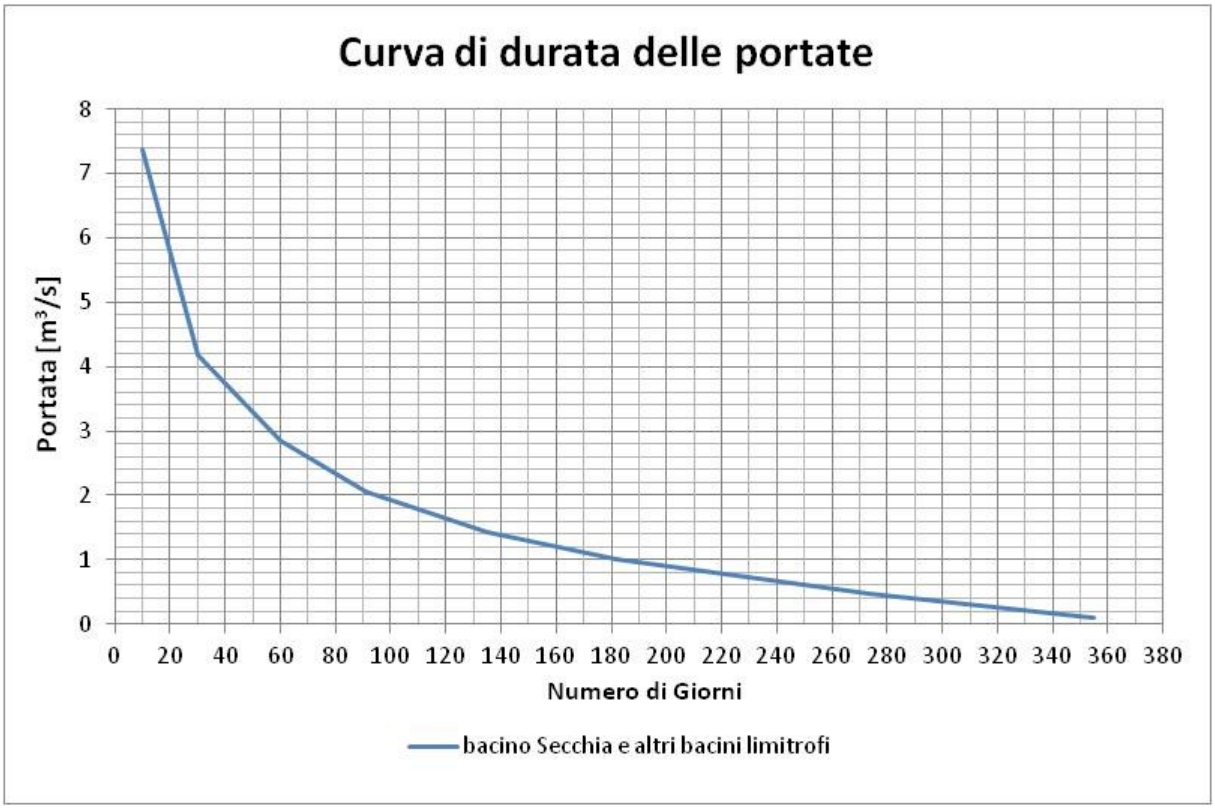

Fig 2.4 Curva di durata delle portate determinata da raffronto con bacini simili. Nel grafico sono visualizzati i valori di tabella 2.4.

I dati determinati statisticamente sono validati attraverso la calibrazione della curva delle portate ottenuta applicando il metodo di regionalizzazione delle portate (FUREY et al., 2000; CASTELLARIN et al., 2004). La calibrazione adotta una piovosità media di 700 mm ed un fattore coefficiente β di forma della curva di 0,9.

In tabella 2.5 sono riepilogati i dati utilizzati per la costruzione della curva delle portate regionalizzata mentre in figura 3.5 è proposta la sovrapposizione delle varie curve di durata calcolate sia in modo statistico che attraverso il metodo della regionalizzazione. La verifica conferma la validità dei dati ottenuti dalla elaborazione dei dati, con parametro di piovosità utilizzato certamente confrontabile con i valori reali medi.

PARAMETRI MORFOLOGICI		
area	77.66	km2
Hmax	1609	m s.l.m
Hmin	420	m s.l.m
pendenza bacino	13.49	%
PARAMETRI IDROLOGICI		
PREP. ANNUA MEDIA	700	mm
Coef. B	0.9	
PARAMETRI CALCOLATI		
LAMBDA	19.4	[l/s/km2]
EPSILON	0	[l/s/km2]

Tabella 2.5 Parametri utilizzati per la costruzione della curva delle durate con il metodo della regionalizzazione.I parametri idrologici sono stati fatti variare per essere calibrati sulla curva di durata statistica (fig.2.5).

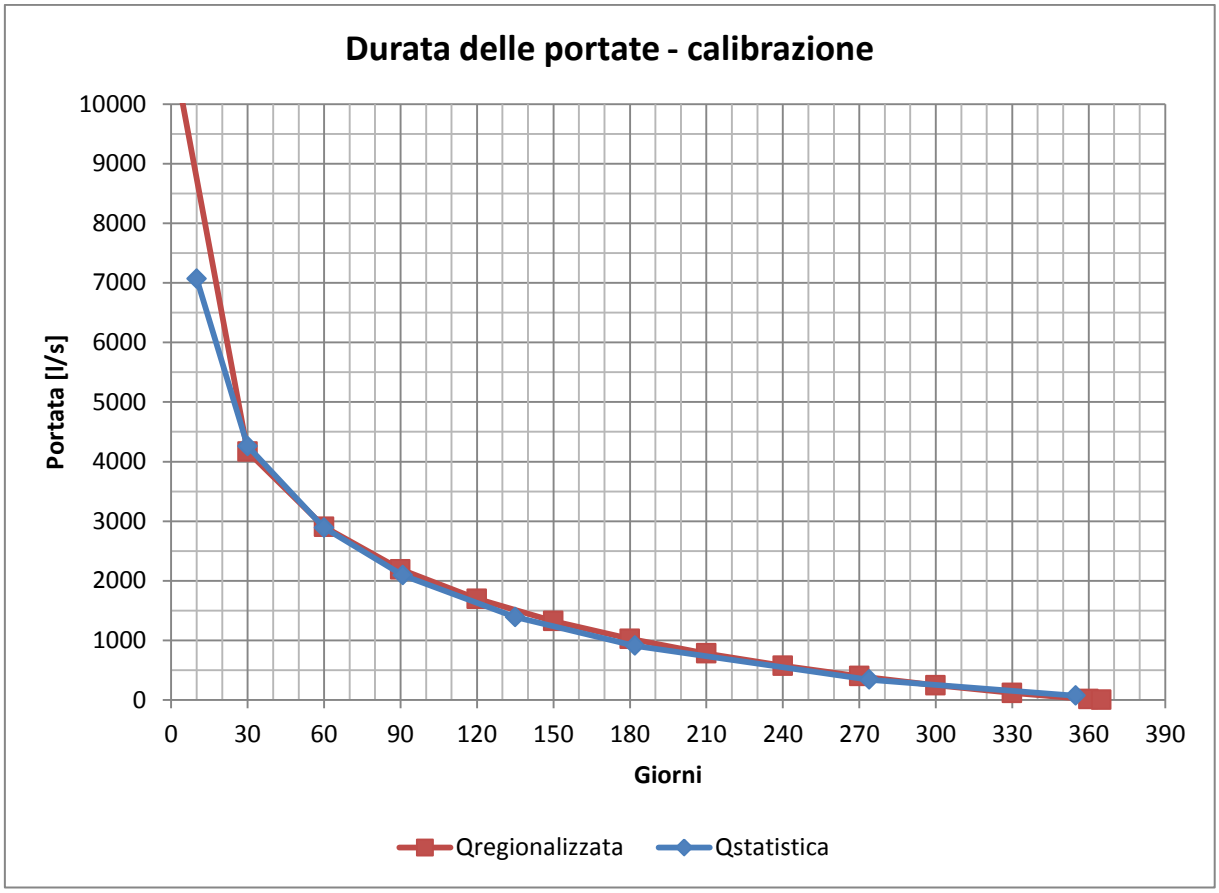

Fig.2.5 Grafico con sovrapposizione delle varie curve elaborate.

3. Deflusso minimo vitale e quantificazione della portata turbinabile.

Il Deflusso minimo vitale è stato ricalcolato in base a due differenti metodi: il metodo dell'Adb Po, che tiene conto di 5 parametri, e il metodo Adb Serchio (Autorità di bacino pilota del Fiume Serchio) che tiene conto di un numero maggiore di parametri e del tratto sotteso.

Il metodo dell'Adb Po è descritto in fig.2.1, dove sono riportati tutti i calcoli. Per la valutazione del D.M.V. si deve far riferimento ai valori previsti dal P.T.A. vigente nella Regione Emilia Romagna, applicando i criteri di calcolo presenti nel già citato Allegato B della Delibera n. 7/2002 dell'Autorità di Bacino del Po. La formula è la seguente:

DMV = k x qmedia = S x M x Z x A = [l/s]

dove:

k parametro sperimentale determinato per singole aree idrografiche;

qmedia portata specifica media annua per unità di superficie (l/s km2);

S superficie del bacino sottesa dalla sezione del corpo idrico (km2);

M parametro morfologico;

Z il massimo dei valori dei tre parametri N, F, Q:

N parametro naturalistico;

F parametro di fruizione;

Q parametro relativo alla qualità delle acque fluviali;

A parametro relativo all'interazione tra acque superficiali sotterranee;

Tramite il calcolo visibile in fig. 2.1 il valore di DMV, con il metodo Adb Po, è pari a 267 l/s.

Calcolo con metodo adb po DMV = k · Qmedia · S · M · Z · A = [l/s]			
Parametro	Valore utilizzato	unità di misura	Descrizione
k	0.1		Parametro sperimentale
Qmedia annua (bacino dragone 106,66 km2)	22.9	l/s km2	Portata media / sup.sottesa
S	106	km2	Sup. sottesa completa
M	1.1		Morfologia alveo valore compreso tra [0.7-1.3]
Z	2		Caratteristiche naturali, Qualità delle acque e grado di fruizione, valore >1
A	0.5		Interazione acque sotterranee e superficiali, valore compreso tra 0.5 e 1,5
Dmv base Calcolato	267.01	l/s	

Fig. 2.1 - Tabella riassuntiva del calcolo del DMV secondo il metodo previsto dal Pianto Tutela Acque dell'Emilia Romagna.

Il metodo dell'autorità di bacino del Fiume Serchio prevede l'utilizzo di 8 parametri, il valore di ogni parametro utilizzato per il calcolo è visibile in tabella 2.3. Nelle tabelle in fig.2.2 sono presenti i range di valori utilizzabili.

Parametri idrologici

A= Superficie bacino idrografico sotteso. Valore espresso in Kmq pari alla superficie del bacino idrografico sotteso dall'opera di derivazione sino alla linea dello spartiacque.

B= Rilascio specifico. Fattore fisso di 1.6

C= Precipitazioni. Fattore relativo alle precipitazioni medie nel bacino sotteso alla derivazione ricavato dalla seguente tabella:

Precipitazioni annue medie (in mm. di pioggia)	*Fattore*
< 1200	1
<1400	1.2
<1600	1.4
<1800	1.6
=/>1800	1.8

D= Altitudine. Fattore relativo alla altitudine media del bacino sotteso alla derivazione ricavato dalla seguente tabella:

Altitudine media del bacino (espressa in m. sul livello del mare)	*Fattore*
< 400	1
<600	1.1
<800	1.2
=/>800	1.3

E= Permeabilità. Fattore relativo alla permeabilità media dei terreni costituenti il bacino

Permeabilità media del bacino (carta della permeabilità dei terreni)	*Fattore*
bassa	1.
media	1.1
alta	1.2
elevata	1.4

F= Qualità biologica del corso d'acqua. Fattore relativo alla qualità biologica nel tratto considerato valutata secondo il metodo IBE (Indice Biotico Esteso - Ghetti 1997) ricavato dalla seguente tabella:

Classe Valore	*Classe di qualità biologica Metodo IBE*	*Fattore*
1^	Non inquinato	1
2^	Leggermente inquinato	1.1
3^	Inquinato	1.2
4^	Nettamente inquinato	1.3
5^	Fortemente inquinato	1.4

G= Naturalità. Fattore valutato in relazione alle vocazioni naturali del territorio ed alla distribuzione delle aree protette [riferimento: cartografia ufficiale PTC della Provincia di Lucca (TAV. B.1), cartografia ufficiale PTC della Provincia di Pistoia (TAV. P.11), cartografia ufficiale PTC della Provincia di Pisa]

Classi di naturalità	*Fattore*
1. aree di grande pregio (Parchi, Riserve Naturali, Statali e Provinciali, SIC, SIR, SIN, ANPIL, ANIL, ZPS)	1.8
2. aree protette (zone BCD), a prevalente naturalità di crinale, contigue a parchi e riserve naturali	1.6
3. aree di naturalità diffusa, ambiti di paesaggio della montagna	1.4
4. aree di interesse agricolo primario	1.2
5. aree di interesse agricolo e urbanizzate	1

H=Lunghezza captazione - Fattore a sua volta definito dalla seguente formula:

$$1+(D \times 0.05)$$

Fig. 2.2 - Tabella riassuntiva del calcolo del DMV secondo il metodo previsto dall'Autorità di bacino pilota Fiume Serchio (fonte: http://www.autorita.bacinoserchio.it/files/dmv/criteri_deflusso_minimo_vitale.pdf)

Metodo Autorità di bacino Fiume Serchio		DMV = A x B x C x D x E x F x G x H = (l/s)	
Parametro	Valore utilizzato	unità di misura	Descrizione
A (Superficie bacino)	106.00	[km2]	Bacino sotteso completo (diga ENEL di Riccovolto compresa) alla sezione di presa dell'impianto
B (rilascio specifico)	1.60	[l/s*km2]	Portata specifica fissa definita da normativa Autorità di Bacino
C (Prec.)	1.00	[10-3 mm di precipitaizone annua]	Precipitazione media annua per 0,001. La precipitazione utilizzata è pari a 700 mm, ovvero quella considerata nei calcoli idrologici (vedasi relazione idrologica)
D (altitudine media)	1.30		Altezza media del bacino Hm è pari a 978 m slm, valore che corrisponde a un coefficiente di 1,2
E (permeabilità bacino)	1.00		Nel tratto sotteso non sono presenti corpi idrogeologici connessi con il fiume.
F (qualità biologica IBE)	1.10		Il Torrente Dragone attualmente è classificato (per accorpamento) da ARPA in II classe IBE
G (naturalità)	1.20	(aree naturali)	
H (lunghezza captazione)	1.03		Valore proporzianle al tratto sotteso (pari a 600 m): H = 1+(0.05*570)
DMVbase	***299.33***	***l/s***	

Fig. 2.3 - Tabella riassuntiva del calcolo del DMV secondo il metodo previsto dal Pianto Tutela Acque dell'Adb Fiume Serchio.

Il valore ritrovato con il metodo del Adb Serchio è risultati pari a 299,33 l/s. Questo valore di portata, arrotondato a **300 l/s è il valore di DMV utilizzato** e sarà rilasciato in parte (120 l/s) per alimentare la scala di risalita e il restante, pari a 180 l/s modulati a 200 l/s, sarà quello che naturalmente stramazzerà dalla gaveta (luce pari a 15 x 0,03 m) che sarà realizzata sulla controbriglia esistente, tramite una semplice manutenzione ordinaria per il rifacimento dell'estradosso che presenta notevoli segni di erosione. Tale dato sarà verificato in maniera sperimentale attraverso lo studio dei MesoHabitat. Se risultasse che il valore ipotizzato non corrispondesse, sottostimato, al dato rilevato dallo studio ambientale, si assumerebbe come valore di DMV il dato derivato dallo studio dei MesoHabitat.

4. Quantificazione della portata di piena.

La quantificazione della portata di piena che transita nelle sezioni in esame viene condotta sulla base della specifica direttiva emanata all'interno del Piano stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI) dalla Autorità di bacino del fiume Po. La direttiva definisce sia le precipitazioni intense da assumere come base di progetto, in funzione dello specifico tempo di ritorno, che i relativi metodi e le procedure di valutazione per le differenti aree del bacino scolante esaminato, validati sia nei casi più favorevoli, che si verificano quando nella sezione di interesse sono disponibili valori di portata misurati per un periodo di osservazione sufficientemente lungo, sia in quelli, assai più frequenti, in cui in ragione del modesto numero di stazioni di misura esistenti e del ridotto periodo di osservazione disponibile si devono stimare i valori delle portate di piena con metodi indiretti.

Il caso in esame ricade tra quelli in cui non sono disponibili né misure dirette della portata nè studi idrologici che abbiano definito una corretta regionalizzazione delle stesse, così si è deciso di applicare il metodo razionale, metodo indiretto espressamente indicato dalla direttiva più volte richiamata.

La formula di calcolo della portata al colmo con il metodo razionale viene così espressa:

$$Q_c = 0{,}28\ c\ i\ A$$

dove:

Q_c portata al colmo (m^3/s)
c coefficiente di deflusso (-)
i intensità di pioggia (mm/ora)
A superficie del bacino (km^2)

Il metodo considera il bacino idrografico come una singola unità e stima il valore al colmo della portata con le seguenti assunzioni:

- la precipitazione è uniformemente distribuita sul bacino,
- la portata stimata ha lo stesso tempo di ritorno T di quello dell'intensità di pioggia,
- il tempo di formazione del colmo di piena è pari a quello della fase di riduzione,
- l'intensità di pioggia ha una durata pari a quella del tempo di corrivazione t_c.

Il tempo di corrivazione è definito in via teorica come il tempo che impiega la precipitazione che cade nella parte più distante del bacino a raggiungere la sezione terminale; una definizione forse migliore è che esso rappresenta l'intervallo di tempo dall'inizio della precipitazione oltre al quale tutto il bacino contribuisce al deflusso nella sezione terminale. Il tempo di corrivazione del bacino è normalmente calcolato con formule empiriche; tra esse molto usata è quella di Giandotti (1934, 1937):

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1{,}5\ \mathrm{L}}{0{,}8\sqrt{H_m - H_o}} \quad (ore)$$

dove:

L lunghezza del percorso idraulicamente più lungo del bacino (km)
H_m altitudine media del bacino (m s. m.)
H_o altitudine media del bacino (m s. m.)

Il coefficiente di deflusso tiene conto di tre fattori:

- il fattore di ragguaglio c_r della precipitazione alla superficie del bacino idrografico considerato,
- il fattore di trattenuta del terreno c_d, funzione della capacità di assorbimento del terreno (rapporto tra l'altezza di pioggia netta he e l'altezza di pioggia totale h),
- il fattore di laminazione c_l, che dipende dalla capacità di invaso sulla superficie del bacino e nel reticolo idrografico dello stesso.

In via teorica l'utilizzo della formula razionale, che converte una precipitazione di assegnato tempo di ritorno T in una portata al colmo con pari valore di T, richiederebbe la caratterizzazione del coefficiente di deflusso *c* con un valore medio di ricorrenza, ma tale condizione necessita di una serie storica sufficientemente estese di dati pioggia e di portate al colmo. In effetti la stima del coefficiente di deflusso è estremamente difficile e costituisce il maggiore elemento di incertezza nella valutazione della portata. Il parametro tiene conto in forma implicita di tutti i fattori che intervengono a determinare la relazione tra la portata al colmo e l'intensità media di pioggia; si utilizzano normalmente valori di riferimento, tratti dalla letteratura scientifica, che spesso sono adattabili con difficoltà alle effettive condizioni del bacino in studio.

Gli studi disponibili, per altro in numero piuttosto limitato, indicano tutti che il valore di *c* in un dato bacino varia in misura elevata da evento ad evento, in particolare in funzione delle differenti condizioni climatiche antecedenti. E' possibile comunque ipotizzare che, per gli eventi gravosi che sono di interesse nel campo della progettazione e delle verifiche idrauliche, il parametro assuma valori sufficientemente stabili. In qualche caso si assume che il valore di *c* cresca in funzione del tempo di ritorno dell'evento, supponendo in tal modo una risposta non lineare del bacino.

Normalmente per i bacini di piccole dimensioni si trascura l'effetto di invaso, mentre un'indicazione dei valori da attribuire al fattore di trattenuta del terreno è fornita nella letteratura scientifica.

Nel caso in esame la quantificazione della portata al colmo è stata elaborata utilizzando la curva di probabilità pluviometrica espressa dalla legge di potenza del tipo

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

in cui i parametri a ed n dipendono dallo specifico tempo di ritorno considerato e sono desunti dalle tabelle pubblicate dalla Autorità di bacino per piogge critiche con tempi di ritorno di 20, 100 e 200 anni.

L'analisi dimensionale viene sviluppata per due bacini, quelli individuati in corrispondenza dell'opera di presa e della briglia in cui è installata la centrale idroelettrica. Per entrambi i

bacini viene determinato il tempo di corrivazione, con valori riassunti nella tabella 3.1. I due valori sono certamene paragonabili e per il successivo calcolo della portata si adotta, per entrambi i bacini, quelli minore, così da massimizzare la portata sulla briglia di valle.

Nelle tabelle 4.2 e 4.3 sono riepilogati i valori desunti dalla regionalizzazione dei dati elaborata da ADBPO nelle norme tecniche PAI.

	sottobacini	area (km^2)	lunghezza asta fluviale (km)	altezza media (msm)	altezza sezione (msm)	tempo di corrivazione (ore)
1	Alla sezione di presa, in corrispondenza del ponte di Savoniero	106,66	21,95	1.061	420	3,665
2	Alla sezione in corrispondenza della centrale	111,46	22,59	1.045	408	3,769

Tabella 4.1 Descrizione numerica dei bacini scolanti considerati

DRAGONE	Tr 20 anni		Tr 100 anni		Tr 200 anni		DRAGONE	Tr 20 anni		Tr 100 anni		Tr 200 anni	
Codice cella	a	n	a	n	a	n	Codice cella	a	n	a	n	a	n
FI 144	39,33	0,339	49,96	0,337	54,54	0,337	FF 149	44,21	0,362	57,07	0,348	62,57	0,344
FJ 144	40,04	0,333	51,09	0,330	55,84	0,329	FG 149	44,51	0,362	57,51	0,350	63,08	0,347
FK 144	40,65	0,328	52,06	0,325	56,95	0,324	FH 149	45,07	0,353	58,38	0,342	64,07	0,339
FL 144	41,17	0,325	52,87	0,321	57,88	0,321	FI 149	45,85	0,338	59,58	0,327	65,45	0,324
FI 145	40,46	0,337	51,60	0,334	56,40	0,333	FE 150	44,86	0,400	57,88	0,387	63,43	0,383
FJ 145	41,22	0,329	52,81	0,325	57,79	0,324	FF 150	45,01	0,395	58,14	0,383	63,75	0,379
FK 145	41,87	0,322	53,83	0,318	58,96	0,317	FG 150	45,37	0,387	58,70	0,376	64,40	0,373
							FH 150	45,97	0,372	59,63	0,361	65,47	0,358
FH 146	41,11	0,342	52,5	0,337	57,40	0,336							
FI 146	41,82	0,333	53,63	0,328	58,70	0,326	FE 151	45,50	0,443	58,64	0,433	64,25	0,430
FJ 146	42,59	0,324	54,83	0,318	60,08	0,316	FF 151	45,57	0,440	58,81	0,431	64,47	0,428
FK 146	43,25	0,316	55,87	0,309	61,27	0,308	FG 151	46,02	0,420	59,53	0,410	65,30	0,407
FG 147	42,05	0,346	53,9	0,338	58,99	0,335	FD 152	46,40	0,469	59,70	0,460	65,38	0,458
FH 147	42,57	0,340	54,70	0,332	59,90	0,330	FE 152	46,17	0,475	59,45	0,467	65,12	0,464
FI 147	43,27	0,330	55,79	0,323	61,16	0,321	FF 152	46,10	0,479	59,42	0,471	65,11	0,469
FJ 147	44,08	0,319	57,04	0,311	62,59	0,309							
							FD 153	47,25	0,482	60,77	0,475	66,55	0,472
FF 148	43,07	0,351	55,42	0,339	60,71	0,336	FE 153	47,02	0,483	60,54	0,476	66,32	0,474
FG 148	43,38	0,349	55,88	0,339	61,24	0,335							
FH 148	43,92	0,342	56,70	0,333	62,18	0,330							
FI 148	44,65	0,331	57,84	0,322	63,48	0,319							
FJ 148	45,53	0,316	59,19	0,307	65,04	0,304							

Tabella 4.2 Parametri a ed n delle curve di probabilità pluviometrica per tempi di ritorno di 20, 100 e 200 anni desunti dall'Allegato 3 alla Direttiva sulla piena di progetto (Norme tecniche di attuazione PAI)

INTENSITA' DI PIOGGIA DELLE SINGOLE CELLE DA UTILIZZARE NEL CALCOLO CON IL METODO RAZIONALE												
Codice cella	t_c = 3,665 ore			Codice cella	t_c = 3,665 ore			Codice cella	t_c = 3,665 ore			
	Tr 20	Tr 100	Tr 200		Tr 20	Tr 100	Tr 200		Tr 20	Tr 100	Tr 200	
FI 144	16,67	21,12	23,05	FF 148	18,54	23,49	25,63	FE 151	22,07	28,08	30,64	
FJ 144	16,84	21,40	23,36	FG 148	18,62	23,68	25,82	FF 151	22,02	28,09	30,67	

INTENSITA' DI PIOGGIA DELLE SINGOLE CELLE DA UTILIZZARE NEL CALCOLO CON IL METODO RAZIONALE														
Codice cella		t_c = 3,665 ore			Codice cella		t_c = 3,665 ore			Codice cella		t_c = 3,665 ore		
		Tr 20	Tr 100	Tr 200			Tr 20	Tr 100	Tr 200			Tr 20	Tr 100	Tr 200
FI	144	16,67	21,12	23,05	FF	148	18,54	23,49	25,63	FE	151	22,07	28,08	30,64
FK	144	16,98	21,66	23,67	FH	148	18,68	23,84	26,04	FG	151	21,67	27,66	30,23
FL	144	17,13	21,89	23,96	FI	148	18,73	23,98	26,21					
					FJ	148	18,73	24,06	26,34	FD	152	23,28	29,60	32,34
FI	145	17,10	21,73	23,72						FE	152	23,35	29,75	32,46
FJ	145	17,24	21,98	24,02	FF	149	19,30	24,47	26,69	FF	152	23,43	29,89	32,67
FK	145	17,36	22,20	24,28	FG	149	19,43	24,72	27,01					
					FH	149	19,45	24,84	27,15	FD	153	24,11	30,73	33,52
FH	146	17,49	22,19	24,23	FI	149	19,40	24,86	27,20	FE	153	24,02	30,65	33,49
FI	146	17,58	22,40	24,46										
FJ	146	17,70	22,61	24,71	FE	150	20,58	26,11	28,46					
FK	146	17,79	22,77	24,94	FF	150	20,51	26,09	28,46					
					FG	150	20,46	26,10	28,52					
FG	147	17,98	22,81	24,87	FH	150	20,33	26,00	28,44					
FH	147	18,06	22,97	25,09										
FI	147	18,12	23,16	25,32										
FJ	147	18,20	23,31	25,51										

Tabella 4.3 Intensità delle piogge critiche determinate in funzione dei tempi di corrivazione adottati con cui si calcola la portata di piena.

Le portate critiche associate al tempo di ritorno considerato sono così quantificate, adottando un coefficiente di deflusso pari a 0,40 (suolo utilizzato a bosco con infiltrazione bassa).

t_c = 3,665 ore	Tr 20 anni (m^3/s)	Tr 100 anni (m^3/s)	Tr 200 anni (m^3/s)
Sezione in corrispondenza della presa	228,5	291,2	**318,1**
Sezione in corrispondenza della centrale idroelettrica	238,80	304,28	**332,36**

Tabella 4.4 Portate di piena determinate nelle sezioni idrauliche di interesse

I valori di portata al colmo ottenuti sono sicuramente cautelativi, certamente paragonabili con altri recentemente utilizzati per la verifica idraulica di manufatti esistenti nel fiume Secchia. A tal proposito si riferisce, ad esempio, di quanto riportato nelle Norme Tecniche di Attuazione del PAI relativamente alle portate di piena attese (tabella 30: portate di piena per il fiume Secchia) ed ai dati storici per il fiume Secchia, riepilogati nelle tabelle successive, con parametri specifici adottati per il bacino in esame nettamente superiori a quelli delle sezioni esaminate dalle Norme Tecniche.

Bacino	Corso	Sezione	Sup.	Portata di piena calcolata	Coeff. unitario di piena

	d'acqua			(km^2)	(m^3/s)			m^3/(s km^2)		
		Cod	Nome		Q20	Q100	Q200	Q20	Q100	Q200
Secchia	Secchia	191	Castellarano	970	820	1270	1400	0,845	1,309	**1,443**
Secchia	Secchia	167	Rubiera	1292	820	1270	1400	0,635	0,983	1,084
Dragone	Secchia			106,6	228,5	291,2	**318,1**	2,144	2,732	**2,984**

Tabella 4.5 Raffronto tra i dati indicati nelle Norme Tecniche di Attuazione del PAI e quelli calcolati, con parametro specifico di calcolo di 2,984 m^3/s km^2, pari al doppia rispetto a quello indicato nelle Norme per la sezione di Castellarano.

Sezione	Sup (km^2)	Hmedia (m s.m.)	Hmin (m s.m.)	Qmax (m^3/s)	Qmax (m3/s km^2)	data
Secchia a Cerreto Alpi	12	1299	870	249	20,75	27/12/1959
Secchia a Ponte Cavola	341	965	316	591	**1,73**	21/10/1952
Dragone (Tr 20 anni)	106,6	1061	420	228,5	**2,144**	
Dragone (Tr 200 anni)	106,6	1061	420	318,1	**2,984**	

Tabella 4.6 Raffronto tra i dati storici monitorati e quelli calcolati per il bacino esaminato.

I dati di portata prima calcolati consentono di verificare la compatibilità idraulica dei manufatti previsti per l'impianto di valorizzazione della risorsa idrica.

Per quanto riguarda l'opera di presa si rileva che le opere non comportano alcun impatto riguardo alle attuali condizioni di deflusso, con infrastrutture realizzate al di sotto della quota di scorrimento, tali da non modificare la attuale sezione idraulica. L'opera di presa sarà protetta superiormente con struttura metallica in grigliato e lamiera, potenzialmente sommersa (allagata) durante gli eventi critici, senza che questo determini riduzioni dell'efficienza del sistema.

L'unico intervento previsto nei confronti del manufatto interessa la manutenzione e la risagomatura delle quote di scorrimento, con lavorazioni utili all'innalzamento delle strutture, anche in funzione della costante formazione di depositi alluvionali nell'alveo del torrente. Al termine delle operazioni, che comprendono anche il rifacimento delle copertine, l'innalzamento previsto non supererà, comunque, il metro di altezza, con conseguenti protezioni spondali nel tratto a monte dell'alveo.

Diversa la situazione in corrispondenza della briglia di valle, quella in cui verrà costruita la centrale idroelettrica. In questo caso l'opera emerge rispetto alle attuali quote di scorrimento, e va protetta anche nei confronti delle portate critiche prima determinate.

Il calcolo del tirante d'acqua corrispondente al transito della portata critica viene determinato applicando le usuali formule dell'idraulica: sulla briglia si verifica la condizione di corrente critica mentre a monte della briglia si instaura un sovralzo, che tende via via ad esaurirsi ripristinando condizioni di moto uniforme.

L'altezza critica al di sopra della gaveta viene calcolata con la formula:

$$h_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gb^2}}$$

dove Q è la portata di progetto e b la larghezza del torrente.

La gaveta ha forma trapezoidale, con soglia assunta cautelativamente con sviluppo di 65 metri ed altezza di 2,10 metri. In presenza dell'evento con tempo di ritorno bicentenario la portata fluente è stimata in 332,36 m^3/s, con altezza critica conseguente pari a 1,46 metri e sopralzo a monte della briglia .

A monte della soglia si instaura un profilo di rigurgito tale che il livello idrico sulla soglia sia quello necessario al transito sulla medesima della portata del canale, condizione risolvibile mediante l'equazione:

$$E = H - z = h + \frac{\alpha\, Q^2}{2\, g\, (bh)^2}$$

dove z è la quota della gaveta sul fondo ed H l'energia critica rispetto al fondo dell'alveo.

Nel caso in esame H, riferita alla gaveta (e non al fondo) è pari rispettivamente a 2,15 m (stato di fatto) e 2,47 m (stato di progetto). Tale valore rappresenta l'energia specifica rispetto al fondo che la corrente nel tratto a monte deve acquisire per poter transitare

attraverso la briglia. Si ricava quindi l'h del tirante idraulico nella sezione immediatamente a monte della briglia mediante iterazione della formula:

$$h = H_c - \frac{v^2}{2g} = H_c - \frac{(\frac{Q}{b})^2}{2gh^2}$$

la cui soluzione definisce, nei due casi, i valori di 2,12 m e 2,43 metri (sempre riferiti alla gaveta) rispettivamente per lo stato di fatto e di progetto.

Si ritiene quindi cautelativo indicare una altezza del rigurgito a monte della briglia di 2,47 metri, valore considerato per l'inserimento dell'infrastruttura all'interno dell'alveo del torrente Dragone in condizione di sicurezza rispetto alla piena bicentenaria.

5. Portata turbinabile.

La quantificazione delle portate a fini idroelettrici tiene conto delle portate disponibili al netto del D.M.V. prima calcolato (300 l/s), con impianto che prevede un range di funzionamento compreso tra 300 l/s (portata minima) e 3000 l/s (portata massima). Quando la portata naturale è inferiore alla portata massima, l'impianto rilascia prioritariamente il DMV in alveo grazie alla gaveta realizzata sulla controbriglia. Quando invece la portata flussata è inferiore a 300 l/s si interrompe la derivazione d'acqua e l'impianto di produzione di energia elettrica va in stand-by. Dai conteggi sviluppati si prevede un funzionamento medio annuo di circa 8 mesi (240 giorni in fig.5.1), con interruzione nei mesi estivi, quelli a maggior stress idrico.

La portata media derivata risulta essere di circa 1020 l/s, valore che rappresenta meno della metà della portata media naturale, stimata in 2880 l/s.

Il volume complessivamente derivato viene stimato in 32,2 x 10^6 m^3, circa il 35% del volume totale derivabile assunto pari a 90.8 x 10^6 m^3.

La stima sulla produzione elettrica è riportata nella tabella 5.2.

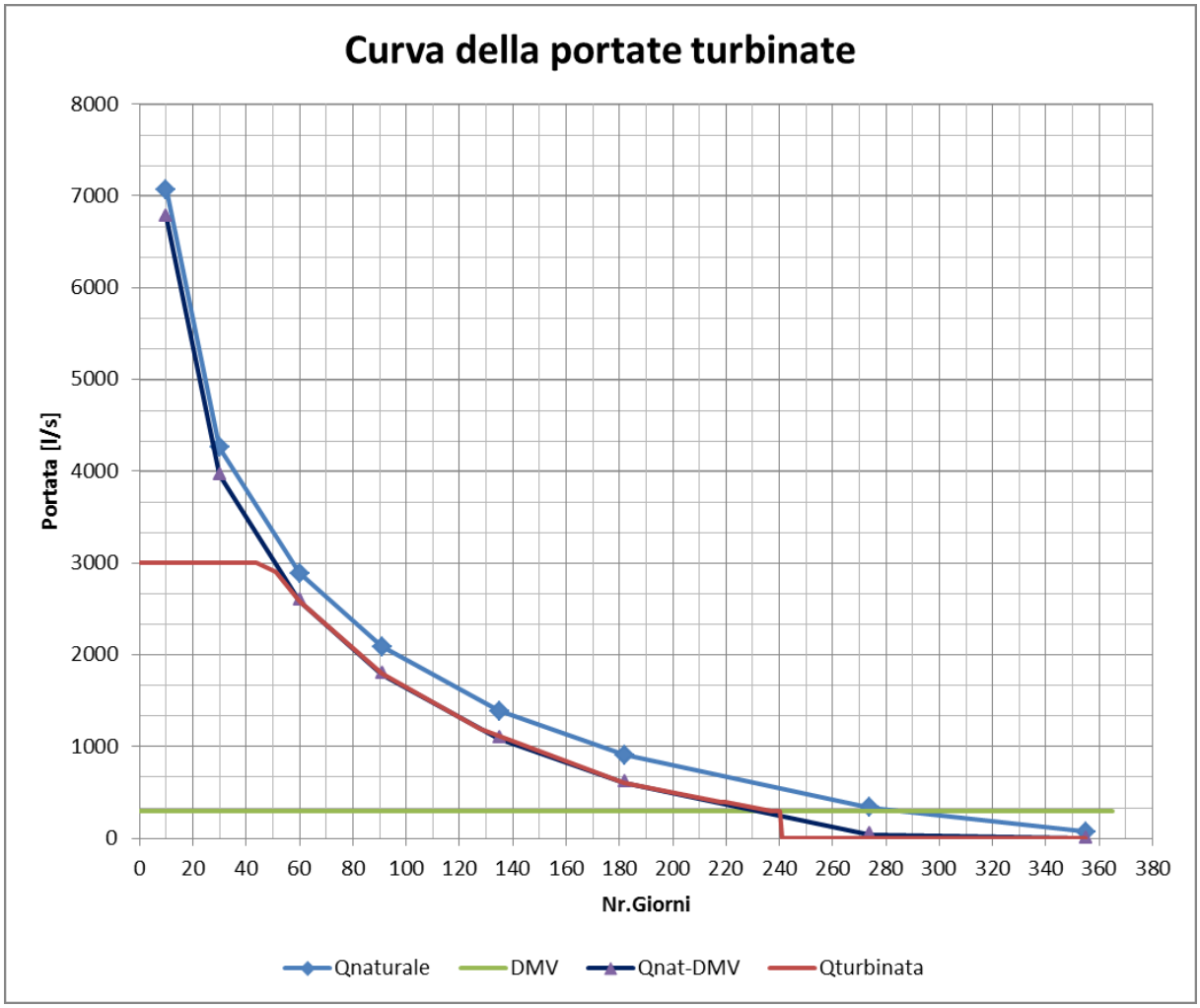

Fig.5.1 Curva di durata delle portate naturali e turbinate. Oltre alla portata utilizzata dall'impianto, individuata dalla spezzata rossa, sono rappresentati la curva della portata naturale di colore blu e la retta di colore verde del deflusso minimo vitale sempre garantito durante tutto l'arco dell'anno. Con la curva di colore blu scuro è rappresentata la portata disponibile data dalla portata naturale meno il DMV.

Tempo [gg]	Qderivata [l/s]	Salto netto H [m]	η Turbina	ηTrasf.	η Gen.	η Totale	Potenza netta [kW]	E netta [kWh]	E cumulata [kWh]
1	3000	15.1	0.84	0.99	0.95	0.79	351	8426	8426
10	3000	15.1	0.84	0.99	0.95	0.79	351	84259	92685
20	3000	15.1	0.84	0.99	0.95	0.79	351	84259	176944
30	3000	15.1	0.84	0.99	0.95	0.79	351	84259	261203
40	3000	15.1	0.84	0.99	0.95	0.79	351	84259	345462
50	2900	15.1	0.84	0.99	0.95	0.79	339	81450	426912
60	2750	15.1	0.83	0.99	0.95	0.78	318	76318	503230
70	2450	15.1	0.83	0.99	0.95	0.78	283	67992	571223
80	2000	15.1	0.83	0.99	0.95	0.78	231	55504	626727
90	1800	15.1	0.83	0.99	0.95	0.78	208	49954	676680
100	1650	15.1	0.83	0.99	0.95	0.78	191	45791	722471
110	1400	15.1	0.83	0.99	0.95	0.78	162	38853	761324
120	1200	15.1	0.83	0.99	0.95	0.78	139	33302	794626
130	1100	15.1	0.83	0.99	0.95	0.78	127	30527	825154
140	1000	15.1	0.83	0.99	0.95	0.78	116	27752	852906
150	900	15.1	0.83	0.99	0.95	0.78	104	24977	877882
160	800	15.1	0.81	0.99	0.95	0.76	90	21667	899549
170	700	15.1	0.81	0.99	0.95	0.76	79	18958	918507
180	600	15.1	0.81	0.99	0.95	0.76	68	16250	934757
190	550	15.1	0.80	0.99	0.95	0.75	61	14712	949469
200	500	15.1	0.80	0.99	0.95	0.75	56	13374	962843
210	450	15.1	0.80	0.99	0.95	0.75	50	12037	974881
220	400	15.1	0.80	0.99	0.95	0.75	45	10700	985580
230	300	15.1	0.80	0.99	0.95	0.75	33	8025	993605
240	300	15.1	0.80	0.99	0.95	0.75	33	8025	1001629
250	0	15.1	0.80	0.99	0.95	0.75	0	0	1001629
260	0	15.1	0.80	0.99	0.95	0.75	0	0	1001629
270	0	15.1	0.00	0.99	0.95	0.00	0	0	1001629
280	0	15.1	0.00	0.99	0.95	0.00	0	0	1001629
290	0	15.1	0.00	0.99	0.95	0.00	0	0	1001629
300	0	15.1	0.00	0.99	0.95	0.00	0	0	1001629
310	0	15.1	0.00	0.99	0.95	0.00	0	0	1001629
320	0	15.1	0.00	0.99	0.95	0.00	0	0	1001629
330	0	15.1	0.00	0.99	0.95	0.00	0	0	1001629
340	0	15.1	0.00	0.99	0.95	0.00	0	0	1001629
350	0	15.1	0.00	0.99	0.95	0.00	0	0	1001629
360	0	15.1	0.00	0.99	0.95	0.00	0	0	1001629
365	0	15.1	0.00	0.99	0.95	0.00	0	0	1001629
Qmedia derivata [l/s]	1020					Potenza media [kW]	118	Etotale annua [kWh]	1,001,629

Tabella 5.2 – Stima della produzione della centrale idroelettrica.