

  <b>Global Generation Technical Support SDOI Firenze UID Venezia</b>	Tipo documento/Document type <b>Relazione</b>	Codifica documento/Document code <b>PR020RE04ICIO</b>	Data/Date 20/06/2016
	Progetto Generale/General Project: <b>Progetto di recupero ambientale Miniera Santa Barbara</b>  Progetto/Project: <b>Progetto esecutivo PR020</b> Area di intervento/Zone: <b>Zona 2 – Sottozona 2a</b>  Titolo/Title: <b>Realizzazione emissario Lago Castelnuovo</b>		Pagina/Sheet 1 di 48  Indice Sicurezza/ Security Index  <i>Usa Pubblico</i>

## Progetto di recupero ambientale Area Mineraria Santa Barbara

### Progetto Esecutivo PR020:

### “REALIZZAZIONE EMISSARIO LAGO CASTELNUOVO”

Area di intervento:

Zona 2

*Stralcio Funzionale Realizzazione emissario lago Castelnuovo  
Sottozona 2a*

## RELAZIONE IDROLOGICA

**(UID 1466 rev.01)**

### PROGETTAZIONE GENERALE

Dott. Ing. Luca Dal Canto

Il presente documento è sottoscritto con firma digitale ai sensi dell'art. 21 del D.Lgs. 82/2005

### PROGETTAZIONE SPECIALISTICA

Dott. Ing. Alberto Bonafè

Il presente documento è sottoscritto con firma digitale ai sensi dell'art. 21 del D.Lgs. 82/2005

00	20/06/2016		 A. BONAFÈ UID-VE	 L. RUGGERI UID-VE	..... L. DAL CANTO SDOI-FI	..... A. LEONCINI SDOI-FI
<b>Rev.</b>	<b>Data Date</b>	<b>Oggetto della revisione Object of review</b>	<b>Redazione Editing</b>	<b>Collaborazioni Cooperations</b>	<b>Approvazione Approval</b>	<b>Emissione Emission</b>



 GGE/ Italy TS	Relazione Tecnica	PR020RE04IC10	20/06/2016
	Realizzazione emissario Lago Castelnuovo		Pagina 3/48
			Uso Pubblico

## Indice

1.	PREMESSA .....	4
2.	SISTEMAZIONE PREVISTA DELLA RETE IDROGRAFICA .....	6
3.	DATI DISPONIBILI PER LO STUDIO IDROLOGICO.....	8
4.	DETERMINAZIONE DEGLI IDROGRAMMI DI PIENA DI ASSEGNATO TEMPO DI RITORNO: SCELTA DELL'APPROCCIO METODOLOGICO .....	11
4.1.	Valutazione della precipitazione di assegnato tempo di ritorno .....	12
4.2.	Il modello di trasformazione afflussi - deflussi .....	16
4.3.	Schematizzazione idrografica dell'area .....	18
5.	COSTRUZIONE DEGLI IDROGRAMMI DI PIENA DI ASSEGNATO TEMPO DI RITORNO.....	19
5.1.	Sezione 1 .....	19
5.2.	Sezione 2 .....	20
5.3.	Sezione 3 .....	20
5.4.	Sezione 4 .....	21
5.5.	Sezione 5, Sezione 6 e Sezione 7 .....	22
5.6.	Sezione 8 e Sezione 9.....	23
5.7.	Sezione 10, Sezione 11 e Sezione 12.....	24
5.8.	Sezione 13 (Lago di Castelnuovo).....	25
5.9.	Sezione 14 .....	26
5.10.	Sezione 15 (Lago Allori) .....	27
5.11.	Sezione 16 .....	28
6.	CONCLUSIONI .....	30
7.	BIBLIOGRAFIA .....	31
8.	ALLEGATI .....	32
8.1.	Allegato 1 – Figure della relazione .....	33
8.2.	Allegato 2 –Tabelle dei dati disponibili per lo studio idrologico .....	38
8.3.	Allegato 3 – Tabelle dei parametri morfometrici delle unità idrografiche .....	42
8.4.	Allegato 4 – Calcolo delle scale di deflusso delle soglie degli emissari dei laghi Allori e Castelnuovo.....	45
8.5.	Allegato 5 - Tabelle dei dati caratteristici di Lago Castelnuovo e Lago Allori.....	46
8.6.	Allegato 6 – Portata al colmo con T=1000 anni stimata a S. Cipriano .....	48

 GGE/ Italy TS	Relazione Tecnica	PR020RE04ICIO	20/06/2016
	Realizzazione emissario Lago Castelnuovo		Pagina 4/48
			Uso Pubblico

## 1. PREMESSA

La superficie interessata dalle ex miniere di lignite ubicate nell'area estrattiva di S.Barbara ha un'estensione di circa 40 km<sup>2</sup> ed è compresa tra il versante sud - ovest dei monti del Chianti ed il fiume Arno, nei comuni di Cavriglia (AR) e Figline e Incisa Valdarno (FI), Fig.1. In tale area è stata condotta per circa 40 anni (tra il 1956 ed il 1994) un'intensa attività estrattiva a supporto delle esigenze del ciclo produttivo dell'omonima centrale termoelettrica, inducendo notevoli alterazioni dell'assetto orografico ed idrografico del sito.

In particolare la rete idrografica che drenava originariamente la zona mineraria, costituita da numerosi corsi d'acqua a carattere effimero denominati "borri", con il procedere dell'attività estrattiva ha subito modifiche sostanziali e permanenti: seguendo l'evoluzione dell'area interessata dall'attività di estrazione i borri sono stati a più riprese intercettati con deviazioni, sbarramenti e canalizzazioni allo scopo di allontanare i deflussi dalle zone oggetto di coltivazione.

La cessazione dell'attività mineraria ha comportato pertanto la necessità di provvedere ad un generale riassetto della rete idrografica così da restituire le aree occupate dalle miniere ad una più generale fruizione antropica in condizioni di completa sicurezza idraulica. Le linee guida di tale riassetto hanno previsto da un lato la risistemazione di alcuni borri, sia per quanto riguarda il tracciato planimetrico e le interconnessioni idrauliche, sia per quanto concerne l'officiosità, con la ricalibratura di alcuni tratti degli alvei esistenti e la realizzazione di nuove inalveazioni, e dall'altro la creazione di due laghi nelle depressioni costituite dalle ex miniere Allori e Castelnuovo.

Nel 2003 è stata presentata dall'allora denominata Unità di Ricerca di Enel Produzione S.p.A (ora Unità di Idrologia del Supporto Tecnico Civile), una relazione idrologica recante il titolo: "Progetto per il recupero ambientale della miniera di S. Barbara nei Comuni di Cavriglia (AR) e Figline Valdarno (FI) – Relazione Idrologica", [1]. La presente relazione aggiorna e sostituisce il citato studio che, comunque, costituisce la base concettuale e strutturale di tutte le elaborazioni che seguono, in quanto ne sono ripercorsi sia gli schemi logici, sia la struttura.

L'esigenza di redigere una nuova relazione è nata da alcune modifiche progettuali alla rete idrografica che sono state sviluppate dal 2003 ad oggi. In particolare:

- A seguito delle valutazioni tecniche espresse dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno, è stato previsto di abbandonare l'utilizzo della Galleria Bicchieraie come elemento della rete idraulica e di convogliare direttamente al Lago Castelnuovo le portate provenienti dai borri Percussente e Bicchieraie.
- È stato previsto che siano dismesse tutte le dighe presenti nel reticolo, annullando i relativi effetti laminativi, da esse esercitati, sugli idrogrammi di piena utilizzati per la valutazione della sicurezza idrologica e idraulica delle inalveazioni e degli invasi di Allori e Castelnuovo.
- A seguito delle modifiche apportate alla configurazione di progetto dell'emissario riportate nel dettaglio in [15,16] è stato necessario valutare nuovamente gli effetti laminativi del Lago Castelnuovo dai quali dipendono intrinsecamente i valori delle portate immesse all'emissario.
- A seguito di nuovi rilievi topografici, sono state corrette tutte le quote riportate nella relazione del 2003, riducendole di 1.00 m.

Si sottolinea che nella presente relazione si considera valido l'approccio metodologico precedentemente adottato, che, per completezza della trattazione, viene riportato nel seguito. Alla luce delle modifiche sopra descritte, si sono perciò aggiornati solo i risultati relativi agli idrogrammi delle sezioni modificate, mantenendo l'organizzazione dello studio idrologico secondo le seguenti fasi logiche:

- raccolta ed analisi dei dati storici di eventi idrologici intensi nell'area in indagine, con riferimento sia alle piogge intense sia alle portate di piena;
- determinazione degli idrogrammi di piena di assegnato tempo di ritorno T in corrispondenza delle sezioni d'alveo di maggior interesse;
- simulazione del processo di laminazione delle onde di piena affluenti ai due laghi Allori e Castelnuovo con valutazione del massimo livello raggiunto negli invasi e della portata massima defluente verso l'emissario.

Per completezza, e ad integrazione di un precedente studio idrologico (Rel.ENEL UIR 1319, [5]), in Allegato 6 si presenta inoltre una valutazione dell'effetto derivante dalla prevista sistemazione idraulica dell'area sulla stima della portata al colmo con tempo di ritorno millenario attesa allo sbarramento di S.Cipriano, al quale affluiranno le portate fluenti nel borro Meleto e nel borro Frati. Le valutazioni effettuate, ancorché non direttamente di interesse per questo specifico contesto confermano comunque la sicurezza idrologico-idraulica dello sbarramento anche nel nuovo assetto idraulico dell'area.

 GGE/ Italy TS	Relazione Tecnica	PR020RE04IC10	20/06/2016
	Realizzazione emissario Lago Castelnuovo		Pagina 5/48
			Usa Pubblico



**Fig. 1** Ubicazione dell'area estrattiva di S.Barbara (circa 40 km<sup>2</sup>), compresa tra il versante sud - ovest dei monti del Chianti ed il fiume Arno, nei comuni di Cavriglia (AR) e Figline e Incisa Valdarno (FI).

 GGE/ Italy TS	<b>Relazione Tecnica</b>	<b>PR020RE04IC10</b>	20/06/2016
	Realizzazione emissario Lago Castelnuovo		Pagina 6/48
			Uso Pubblico

## 2. SISTEMAZIONE PREVISTA DELLA RETE IDROGRAFICA

L'evoluzione dell'attività mineraria precedentemente ricordata e gli interventi condotti negli anni a modifica della situazione orografica ed idrografica originaria hanno portato all'assetto dell'area visualizzato in Figura.1 dell'Allegato1.

Attualmente sono previsti interventi che ridisegnano l'area della miniera secondo lo schema visualizzato in Figura.2 (Allegato1). In particolare:

- le aree delle ex miniere Allori e Castelnuovo sono destinate alla creazione di due invasi che, oltre a svolgere il ruolo di polmone di laminazione degli eventi idrometeorologici intensi, permettono una valorizzazione della valenza naturalistica dell'ex area mineraria;
- gli apporti prodotti dai borri Valli, S.Pancrazio, Percussente, Bicchieraie, Pianale e Bacherozzolo sono recapitati al Lago di Castelnuovo, così come quelli prodotti dalle aree circumlacuali. L'efflusso uscente dall'invaso è infine restituito nuovamente tramite un'opportuna opera di scarico al borro Lanzi;
- le acque convogliate dai borri Sinciano, Pago, Campocigoli, Molinuzzo, S.Donato e Lupa sono recapitate al lago Allori. La portata scaricata da quest'ultimo perviene quindi al bacino di S.Cipriano tramite il borro Meleto.
- Le acque dei borri Frati e Diavolo sono recapitate direttamente al Lago S.Cipriano.

La realizzazione dello schema idraulico sopra descritto rende necessaria la verifica della sicurezza idrologica ed idraulica delle nuove inalveazioni e degli invasi. A tale scopo, nella presente relazione, si calcolano gli idrogrammi di piena associati ad assegnato rischio, che saranno utilizzati per le verifiche della sicurezza idraulica delle inalveazioni; inoltre sarà valutata la sicurezza idrologico – idraulica degli invasi di Allori e di Castelnuovo. In particolare, i tempi di ritorno di interesse sono:

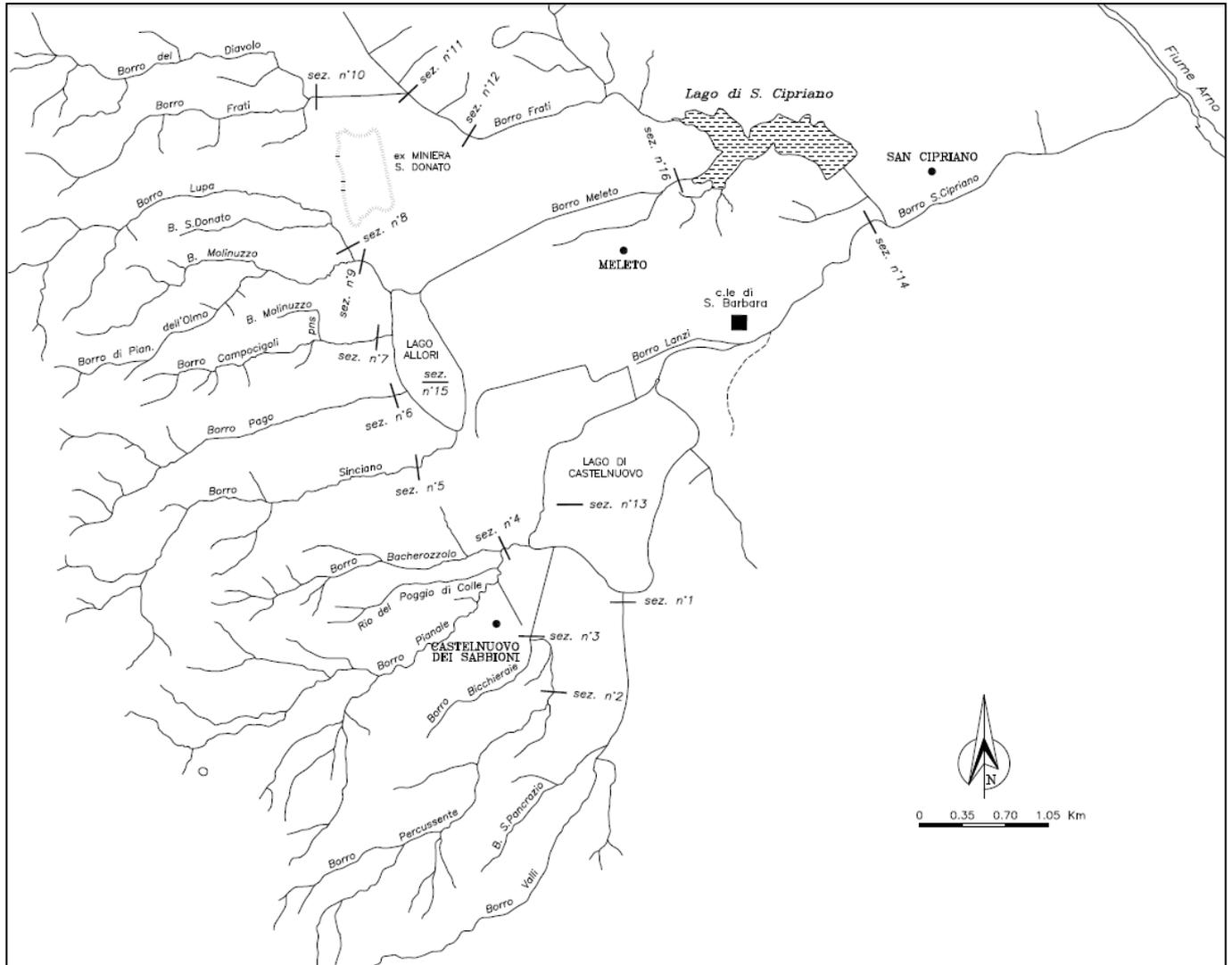
- 200 e 300 anni per le verifiche della sicurezza idraulica delle inalveazioni;
- 1000 anni per la sicurezza idrologico – idraulica dei laghi di Castelnuovo e di Allori.

Al fine di completare le attività precedenti si sono pertanto individuate 16 sezioni d'alveo (equiparando a due sezioni ai fini del calcolo anche i laghi Allori e Castelnuovo) in corrispondenza delle quali valutare gli episodi di piena di assegnato rischio, Fig.2 seguente e Figura.3 dell'Allegato1.

**Tab. 1** Ubicazione delle 16 sezioni di interesse per la verifica della sicurezza idrologico – idraulica dell'ex area estrattiva di S. Barbara.

Sezione	Corso d'acqua	Ubicazione
Sez.1	Borro Valli	Subito a monte dell'immissione del borro Valli nel Lago Castelnuovo
Sez.2	Borro Percussente	A monte della confluenza tra i borri Percussente e Bicchieraie
Sez.3	Borro Bicchieraie	A valle della confluenza tra il borro Bicchieraie e il borro Percussente
Sez.4	Borro Pianale	Subito a monte del Lago Castelnuovo.
Sez.5	Borro Sinciano	Subito a monte dell'immissione del borro Sinciano nel Lago Allori
Sez.6	Borro Pago	Subito a monte dell'immissione del borro Pago nel Lago Allori
Sez.7	Borro Campocigoli	Subito a monte dell'immissione del borro Campocigoli nel Lago Allori
Sez.8	Borro Lupa	A monte della confluenza tra il borro Molinuzzo e il borro Lupa
Sez.9	Borro Molinuzzo	A monte dell'immissione del borro Molinuzzo nel Lago Allori
Sez.10	Borro Frati	A valle confluenza tra il borro Frati e il borro del Diavolo
Sez.11	Borro Frati	Borro Frati
Sez.12	Borro Frati	Borro Frati
Sez.13	Lago Castelnuovo	Lago Castelnuovo
Sez.14	Borro Lanzi emissario L. Castelnuovo	Emissario del Lago Castelnuovo
Sez.15	Lago Allori	Lago Allori
Sez.16	Borro Meleto emissario L. Allori	Emissario del Lago Allori

 GGE/ Italy TS	Relazione Tecnica	PR020RE04IC10	20/06/2016
	Realizzazione emissario Lago Castelnuevo		Pagina 7/48
			Usa Pubblico



**Fig. 2** Assetto idrografico previsto: ubicazione delle 16 sezioni idrografiche in corrispondenza delle quali si è valutata la portata al colmo di assegnato tempo di ritorno.

 GGE/ Italy TS	Relazione Tecnica	PR020RE04ICIO	20/06/2016
	Realizzazione emissario Lago Castelnuovo		Pagina 8/48
			Usa Pubblico

### 3. DATI DISPONIBILI PER LO STUDIO IDROLOGICO

Non sono purtroppo disponibili nell'ambito del comprensorio minerario di S.Barbara rilievi delle portate in alveo utili per una sufficiente caratterizzazione idrologica degli eventi di piena a bassa probabilità di occorrenza prevedibili alle sezioni di interesse sopra individuate. Le stazioni di misura più prossime all'area in indagine sono infatti due stazioni idrometrografiche installate dall'ENEL S.p.a. [2] in due borri limitrofi, il borro Cervia a Vacchereccia ed il borro Cesto a Gaville, Figura.4 dell'Allegato1, ed operative tra il 1989 ed il 1996. Le portate registrate in queste due sezioni si riferiscono infatti ad un periodo temporale decisamente insufficiente per ricavare indicazioni relative ad episodi idrologici con elevato tempo di ritorno; la Tab.2 presenta i dati caratteristici delle due sezioni di interesse, mentre la Tab.3 riporta le portate al colmo massime annue registrate nelle due sezioni per gli anni di rilievo disponibili. Le informazioni sperimentali alle due sezioni si sono comunque dimostrate estremamente utili per estendere la validità di uno studio delle portate al colmo di piena a carattere regionale incentrato sull'area di studio effettuato su incarico ENEL S.p.a. dai Proff. Rossi e Versace [3]; la superficie dei bacini idrografici sottesi, 12.7 km<sup>2</sup> per il Cervia a Vacchereccia e 31.3 km<sup>2</sup> per il Cesto a Gaville, è infatti comparabile a quella delle sezioni oggetto dell'indagine mentre i valori di piena nell'intorno del comprensorio minerario forniti dal Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (S.I.M.N.) si riferiscono a bacini la cui superficie è di un ordine di grandezza superiore [3, 4].

Ulteriori informazioni sperimentali sono state recentemente ricavate con riferimento al serbatoio di S.Cipriano nell'ambito dello studio idrologico dell'invaso [5]. Utilizzando i dati dei registri diga disponibili è stato infatti possibile recuperare le portate medie giornaliere massime annue affluite all'invaso nel periodo 1970÷1998 riportate in Tabella.1 dell'Allegato 2. Per il disastroso episodio del 1÷4 novembre 1966 è stato inoltre possibile reperire i valori orari delle portate affluite all'invaso; l'onda di piena che in quei giorni investì l'invaso di S.Cipriano, storicamente il più rilevante episodio registrato, risulta infatti caratterizzata da un colmo valutabile in circa 98 m<sup>3</sup>/s, pari ad un contributo massimo di 6.15 m<sup>3</sup>/skm<sup>2</sup>, e da una portata media di durata 24 ore di circa 28 m<sup>3</sup>/s. Seppure i dati all'invaso risultano di difficile interpretazione per la continua evoluzione della conformazione idro-geomorfologica del bacino idrografico a monte in conseguenza dell'attività mineraria, l'episodio del 1966, anno nel quale le alterazioni morfologiche del bacino a monte dell'invaso possono essere considerate trascurabili, è particolarmente importante in quanto fornisce un'attendibile valutazione del coefficiente di risposta del bacino ad una sollecitazione meteorica intensa di particolare rilevanza per continuità e quantità di precipitazione quale quella del 1966.

Per quanto attiene la caratterizzazione delle sollecitazioni meteoriche si è fatto invece riferimento ai dati di precipitazione rilevati nelle stazioni pluviografiche del S.I.M.N. provviste di un sufficiente numero di anni di rilievo ubicate nelle immediate vicinanze dell'ex area mineraria, in grado pertanto di rappresentare la variabilità pluviometrica della zona in esame. A tali dati si sono inoltre aggiunte le precipitazioni intense massime annue misurate alla stazione pluviografica ENEL di Poggio al Vento (ubicata a 311 m s.l.m.) che, pur non essendo riportata negli Annali Idrologici del S.I.M.N. riveste notevole importanza in virtù della sua ubicazione rispetto ai bacini idrografici in esame. I dati di questa stazione sono stati integrati con quelli registrati dalla stazione pluviografica posta all'interno della centrale termoelettrica di Santa Barbara, ubicata a quota 150 m s.l.m., con una differenza di quota di entità tale da non inficiare l'omogeneità del campione; questo ha permesso di estendere la serie temporale dei dati disponibili anche al periodo dal 1964 al 1970, particolarmente significativo per gli elevati valori raggiunti dagli apporti meteorici, ottenendo un campione sperimentale di 35 anni di dati. In Tab.4 sono indicati i valori caratteristici di precipitazioni (mm) di diversa durata nelle stazioni esaminate, rimandando alle Tabelle. 2 - 3 - 4 dell'Allegato 2 per l'esposizione completa di tutti i dati. In Fig.3 è visualizzata la dislocazione geografica delle stazioni pluviografiche di Tab.4.

**Tab. 2** Dati caratteristici delle sezioni utilizzate per la validazione dell'analisi regionale delle portate al colmo.

Sezione	Vacchereccia	Gaville
Corso d'acqua	Borro Cervia	Borro Cesto
Superficie sottesa [km <sup>2</sup> ]	12.7	31.3
Quota media [m s.l.m.]	416	485
Quota chiusura [m s.l.m.]	170	160
Lunghezza asta principale [km]	7.5	9.5

 GGE/ Italy TS	<b>Relazione Tecnica</b>	<b>PR020RE04ICIO</b>	20/06/2016
	Realizzazione emissario Lago Castelnuovo		Pagina 9/48
			Usa Pubblico

**Tab. 3** Portate massime annue registrate alle sezioni di Vacchereccia sul Borro Cervia e Gaville sul Borro Cesto.

Anno	Borro Cervia $Q_{max}$ [m <sup>3</sup> /s]	Borro Cesto $Q_{max}$ [m <sup>3</sup> /s]
1989	3.9	4.7
1990	6.7	10.5
1991	9.0	16.8
1992	-	Q > 60.7
1993	9.8	61.5
1994	1.8	11.4
1995	4.2	5.7
1996	-	13.7
Max	9.82	61.5
Max specifico [m <sup>3</sup> /s-km <sup>2</sup> ]	0.77	1.97

**Tab. 4** Valori caratteristici della precipitazione di diversa durata (mm) rilevati nelle stazioni pluviografiche utilizzate nell'indagine.

Stazione	Durata [ore]	1	3	6	12	24
Montevarchi (163 m s.l.m.)	N. Dati:	47	47	47	47	47
	Val.medio (mm):	22.3	31.9	38.3	48.3	58.0
	Val. max (mm)	63.2	74.4	87.2	103.4	129.8
S. Giovanni Valdarno (132 m s.l.m.)	N. Dati:	21	21	21	21	21
	Val.medio (mm):	24.0	31.3	36.5	46.5	58.1
	Val. max (mm)	40.6	54.0	56.8	77.8	119.2
Renacci (Fattoria) (223 m s.l.m.)	N. Dati:	39	39	39	39	39
	Val.medio (mm):	24.1	36.1	43.5	53.1	61.6
	Val. max (mm)	80.0	143.0	145.2	155.0	227.0
Serraglio (118 m s.l.m.)	N. Dati:	18	18	18	18	18
	Val.medio (mm):	25.5	36.5	42.8	51.2	59.0
	Val. max (mm)	54.0	66.2	66.4	76.4	82.8
Vallombrosa (955 m s.l.m.)	N. Dati:	59	59	59	59	59
	Val.medio (mm):	29.8	43.5	52.0	64.9	80.6
	Val. max (mm)	54.0	93.2	115.0	121.2	203.0
Ferrone (149 m s.l.m.)	N. Dati:	40	40	40	40	40
	Val.medio (mm):	24.6	34.5	41.6	50.1	57.9
	Val. max (mm)	65.0	110.0	110.0	110.0	176.4
Antella (170 m s.l.m.)	N. Dati:	47	47	47	47	47
	Val.medio (mm):	27.3	39.8	47.2	56.7	66.6
	Val. max (mm)	82.0	92.0	107.0	117.8	164.8
Poggio al Vento (300 m s.l.m.)	N. Dati:	34	35	35	35	35
	Val.medio (mm):	27.1	41.4	49.7	58.2	67.9
	Val. max (mm)	93.5	145.0	152.0	163.0	227.0

 GGE/ Italy TS	Relazione Tecnica	PR020RE04IC10	20/06/2016
	Realizzazione emissario Lago Castelnuovo		Pagina 10/48
			Usa Pubblico



Fig. 3 Ubicazione delle stazioni pluviografiche utilizzate nell'indagine.

 GGE/ Italy TS	Relazione Tecnica	PR020RE04IC10	20/06/2016
	Realizzazione emissario Lago Castelnuovo		Pagina 11/48
			Uso Pubblico

#### 4. DETERMINAZIONE DEGLI IDROGRAMMI DI PIENA DI ASSEGNATO TEMPO DI RITORNO: SCELTA DELL'APPROCCIO METODOLOGICO

Il problema che si pone per le sezioni oggetto dell'indagine può essere inquadrato idrologicamente come il problema della stima della portata  $Q$  caratterizzata da un tempo di ritorno elevato, fino a 1000 anni, in tratti d'alveo non provvisti di serie storiche sperimentali. In tale situazione due sono i possibili approcci metodologici cui fare ricorso per fornire una valutazione attendibile delle portate di piena di assegnato rischio:

- utilizzare analisi di tipo regionale;
- fare ricorso a modelli di trasformazione afflussi-deflussi

La prima metodologia di indagine, già applicata peraltro in [3, 4] presenta il vantaggio di utilizzare direttamente l'informazione di interesse, cioè la portata, e di non necessitare di ipotesi sulla distribuzione probabilistica delle piogge intense o sulle caratteristiche della risposta idrologica del bacino idrografico alle sollecitazioni meteoriche. Gli svantaggi sono rappresentati dall'incertezza legata alla reale validità del trasferimento di risultati ottenuti con riferimento a bacini idrografici di parecchie decine o centinaia di chilometri quadrati a bacini di pochi chilometri quadrati, quali quelli di interesse nel caso specifico.

Il principale vantaggio dell'approccio indiretto è invece quello di fornire direttamente come risultato dell'analisi la distribuzione temporale dell'intero idrogramma di piena, informazione particolarmente stringente nel caso in esame in quanto indispensabile per valutare correttamente la reale sicurezza idrologico-idraulica dei due invasi Allori e Castelnuovo. Tale vantaggio risulta ancora più significativo nel caso specifico dell'area mineraria dove la rete idrografica, anche nell'ipotesi di riassetto, non riveste sicuramente carattere di naturalità, rendendo quindi ancora più incerta l'assunzione di omogeneità idrologica implicita nel trasferimento di risultati ottenuti con riferimento a bacini naturali. Un altro vantaggio dell'approccio indiretto è quello di poter ricavare la distribuzione probabilistica delle piogge intense a partire da una mole di dati notevolmente superiore, ottenendo quindi risultati più robusti ed affidabili se proiettati a tempi di ritorno molto elevati, ovviamente qualora si disponga di informazioni sufficientemente dettagliate circa le modalità del processo di trasformazione afflussi-deflussi. Se queste informazioni non sono sufficientemente precise ma lasciate alla soggettiva interpretazione l'approccio può tuttavia portare a risultati estremamente variabili, elemento che costituisce il principale svantaggio della metodologia.

Alla luce delle considerazioni precedenti, considerando vantaggi e svantaggi di ciascun approccio e soprattutto la necessità di pervenire ad una valutazione completa degli idrogrammi di piena, si è deciso di utilizzare come metodologia di analisi l'approccio indiretto; per ridurre il ricordato margine di soggettività del processo di trasformazione e aumentare quindi l'affidabilità dei risultati finali prodotti si è invece tratto vantaggio dagli elementi conoscitivi ricavati nei precedenti studi sulle portate di piena [3, 4, 5]. Tali rapporti contengono infatti preziose informazioni circa le caratteristiche della risposta idrologica dei bacini idrografici dell'area alla sollecitazione meteorica, informazioni che permettono di costruire uno schema di trasformazione afflussi deflussi sufficientemente affidabile. Il processo logico implementato può essere così sintetizzato:

- a) si valutano nell'area in indagine le precipitazioni intense di assegnata durata e di assegnato rischio, nel seguito identificato tramite la grandezza tempo di ritorno  $T$  espresso in anni, e si definisce la forma dello ietogramma di progetto;
- b) l'area viene scomposta in singole unità idrografiche di riferimento per ognuna delle quali vengono ricavate le informazioni necessarie per una caratterizzazione completa del processo di trasformazione afflussi deflussi;
  - a partire dai valori di precipitazione e sulla base delle caratteristiche delle unità idrografiche si costruisce:
  - l'idrogramma di piena alla chiusura della singola unità idrografica;
  - l'idrogramma, opportunamente trasformato in base ai processi idraulici dai quali risulta interessato, viene trasportato a valle sino alla sezione di chiusura di un'altra unità idrografica.

Poiché le ipotesi di base e le informazioni sperimentali necessarie allo sviluppo dei punti a) e b) sono uniche per tutte le singole unità idrografiche i risultati delle indagini sono presentati una sola volta nei Paragrafi 4.1 e 4.2; i punto c) è invece dettagliato per ciascuna sezione di indagine nel Paragrafo 5.

 GGE/ Italy TS	Relazione Tecnica	PR020RE04IC10	20/06/2016
	Realizzazione emissario Lago Castelnuovo		Pagina 12/48
			Uso Pubblico

#### 4.1. Valutazione della precipitazione di assegnato tempo di ritorno

Per stimare il valore delle piogge di diversa durata ed assegnato tempo di ritorno si è utilizzato l'approccio della "regionalizzazione" dell'informazione idrologica disponibile su un territorio più ampio del bacino di interesse, così da integrare la limitata informazione temporale con la più ampia informazione spaziale [6, 7]. Fondamentale in questo genere di analisi è il concetto di "regione" definita come un gruppo di siti "idrologicamente omogenei", ossia caratterizzati da una distribuzione di probabilità degli eventi idrologici intensi che si può ritenere unica a meno di un fattore di scala. L'approccio regionale supera quello locale in quanto permette, una volta mostrata l'effettiva omogeneità della popolazione, di avere a disposizione un numero di dati superiore. È stato peraltro dimostrato che l'analisi regionale permette di ottenere stime più robuste rispetto ai risultati offerti da un'analisi di tipo puntuale anche in presenza di parziale eterogeneità della regione considerata [8]. Rimandando alle referenze citate per gli approfondimenti, in questa sede è sufficiente ricordare che l'analisi sviluppata utilizza l'impostazione teorica adottata nell'ambito del Progetto VAPI (Valutazione Plene) promosso dal Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche del C.N.R.; tale approccio si basa sul metodo della grandezza indice e propone come distribuzione probabilistica di base la distribuzione TCEV (Two Component Extreme Value distribution) [9,10]. In sintesi, dopo aver individuato nell'area in indagine zone idrologicamente omogenee nei riguardi della variabile di interesse (precipitazione o portata), l'analisi dei dati sperimentali permette di determinare il valore della generica variabile idrologica  $X_T$  con tempo di ritorno  $T$  mediante relazioni del tipo:

$$X_T = K_T \cdot X_m \quad (1)$$

dove  $K_T$  prende il nome di fattore di crescita, unico per l'intera zona idrologicamente omogenea e determinabile in maniera univoca in funzione di  $T$  e dei parametri che definiscono la distribuzione TCEV caratteristica della zona, mentre  $X_m$  rappresenta la grandezza indice. Nelle elaborazioni presentate nel seguito  $X_m$  è costituita dalla media dei valori massimi annuali della grandezza in esame calcolata direttamente sui dati sperimentali.

L'analisi sviluppata in [11] ha evidenziato in particolare che il versante tirrenico della Toscana può essere considerato un'unica area idrologicamente omogenea nei confronti delle precipitazioni intense. Per chiarezza espositiva in Fig.4 viene riportata la ripartizione in zone omogenee proposta in [11] e l'ubicazione dell'area di interesse per lo studio in oggetto.

La precipitazione  $h_{d,T}$  può quindi essere calcolata, applicando la (1), come:

$$h_{d,T} = K_{d,T} \cdot h_{m,d} \quad (2)$$

dove  $K_{d,T}$  rappresenta il fattore di crescita corrispondente alla durata di precipitazione  $d$  ed al tempo di ritorno  $T$  e  $h_{m,d}$  la precipitazione indice.

L'elaborazione dei valori massimi annuali delle precipitazioni giornaliere e di durata 1÷24 ore ha mostrato inoltre che il fattore di crescita  $K_{d,T}$  varia con la durata della precipitazione  $d$ . Ne deriva che utilizzando come distribuzione probabilistica di base la legge TCEV e stimandone i parametri su base regionale si ottengono cinque set di valori per  $\Lambda^*$ ,  $\Theta^*$ ,  $\lambda_1$  e  $\eta$ , uno per ciascuna delle durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore, riportati in Tab.5.

**Tab. 5** Parametri identificativi delle distribuzioni TCEV per la determinazione delle curva di crescita delle precipitazioni intense di assegnata durata.

Durata	$\lambda_1$	$\eta$	$\Lambda^*$	$\Theta^*$
1	16.28	3.57	0.13	1.82
3	24.71	5.14	0.77	2.39
6	26.21	4.64	0.38	2.59
12	30.01	4.68	0.30	2.80
24	30.78	4.63	0.22	3.32

 GGE/ Italy TS	<b>Relazione Tecnica</b>	<b>PR020RE04IC10</b>	20/06/2016
	Realizzazione emissario Lago Castelnuovo		Pagina 13/48
			Usa Pubblico

La validità delle curve di crescita proposte è evidenziata dal confronto con i punti sperimentali relativi alle otto stazioni pluviografiche di Tab.4 visualizzato in Fig.5.a,b, confronto che evidenzia la buona interpretazione dei dati sperimentali da parte delle curve teoriche TCEV per tutte le durate considerate. Tali curve sono pertanto da ritenersi idonee a rappresentare la variabilità pluviometrica della zona in esame e nel seguito dello studio si è fatto riferimento unicamente ad esse per il calcolo delle precipitazioni intense; i corrispondenti valori dei quantili adimensionali di crescita sono riportati in Tab.6.

Come altezze indice di pioggia relative alle varie durate da utilizzare per l'applicazione della (2) si sono considerati i corrispondenti valori medi rilevati alla stazione di Poggio al Vento che, oltre alla particolare vicinanza geografica della stazione all'area in indagine, risultano nella media dei valori sperimentali rilevati alle stazioni di Tab.4. L'applicazione della (2) per le durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore e per i tempi di ritorno di interesse permette quindi di ottenere le altezze di pioggia riportate nella Tab.7.

**Tab. 6** Quantili adimensionali di crescita risultanti dai parametri di Tab.5.

T [anni]	Durata				
	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
200	2.62	2.97	3.12	3.18	3.45
300	2.79	3.16	3.36	3.43	3.76
1000	3.33	3.72	4.02	4.15	4.62

**Tab. 7** Altezze di pioggia puntuali di assegnata durata e tempo di ritorno e corrispondenti curve di possibilità pluviometrica.

Tempo di ritorno	Durata					Curva di Possibilità Pluviometrica
	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore	
Pioggia indice	27.1	41.4	49.7	58.2	67.9	
200	71.0	123.0	155.1	185.1	234.3	$h_{200} = 81.7 \cdot d^{0.336}$
300	75.6	130.8	166.8	199.7	255.1	$h_{300} = 86.4 \cdot d^{0.345}$
1000	90.2	153.9	200.0	241.3	313.4	$h_{1000} = 100.7 \cdot d^{0.360}$

La precipitazione di durata d generica ed assegnato tempo di ritorno T può quindi essere ottenuta tramite la curva di possibilità pluviometrica:

$$h_{d,T} = a(T) \cdot d^{n(T)} \quad (3)$$

dove i parametri a(T) ed n(T) vengono stimati con il metodo dei minimi quadrati utilizzando per ciascun tempo di ritorno i dati relativi alle varie durate. Le equazioni che si ottengono sono visualizzate in Tab.7.

Se si tiene conto infine del fattore di riduzione areale della precipitazione, ARF, funzione della durata d e della superficie S (in km<sup>2</sup>) secondo l'espressione proposta dall'U.S.W.B.:

$$ARF(d,S) = 1.0 - [1 - \exp(-0.0021 \cdot S)] \cdot \exp(-0.53 \cdot d^{0.25}) \quad (4)$$

che, come comprovato in numerosi studi, può essere assunto indipendente da T, la precipitazione areale di durata d e tempo di ritorno T,  $h_{d,T}(S)$ , mediamente valida sul bacino risulta pari a:

$$h_{d,T}(S) = ARF(d,S) \cdot a(T) \cdot d^{n(T)} \quad (5)$$

Si noti che, poiché il valore dell'ARF risulta funzione della superficie idrografica S, la precipitazione areale di assegnato T da utilizzare come sollecitazione meteorica nel modello di trasformazione afflussi deflussi dovrà essere calcolata con specifico riferimento all'area sottesa dalla sezione per la quale si sviluppa il

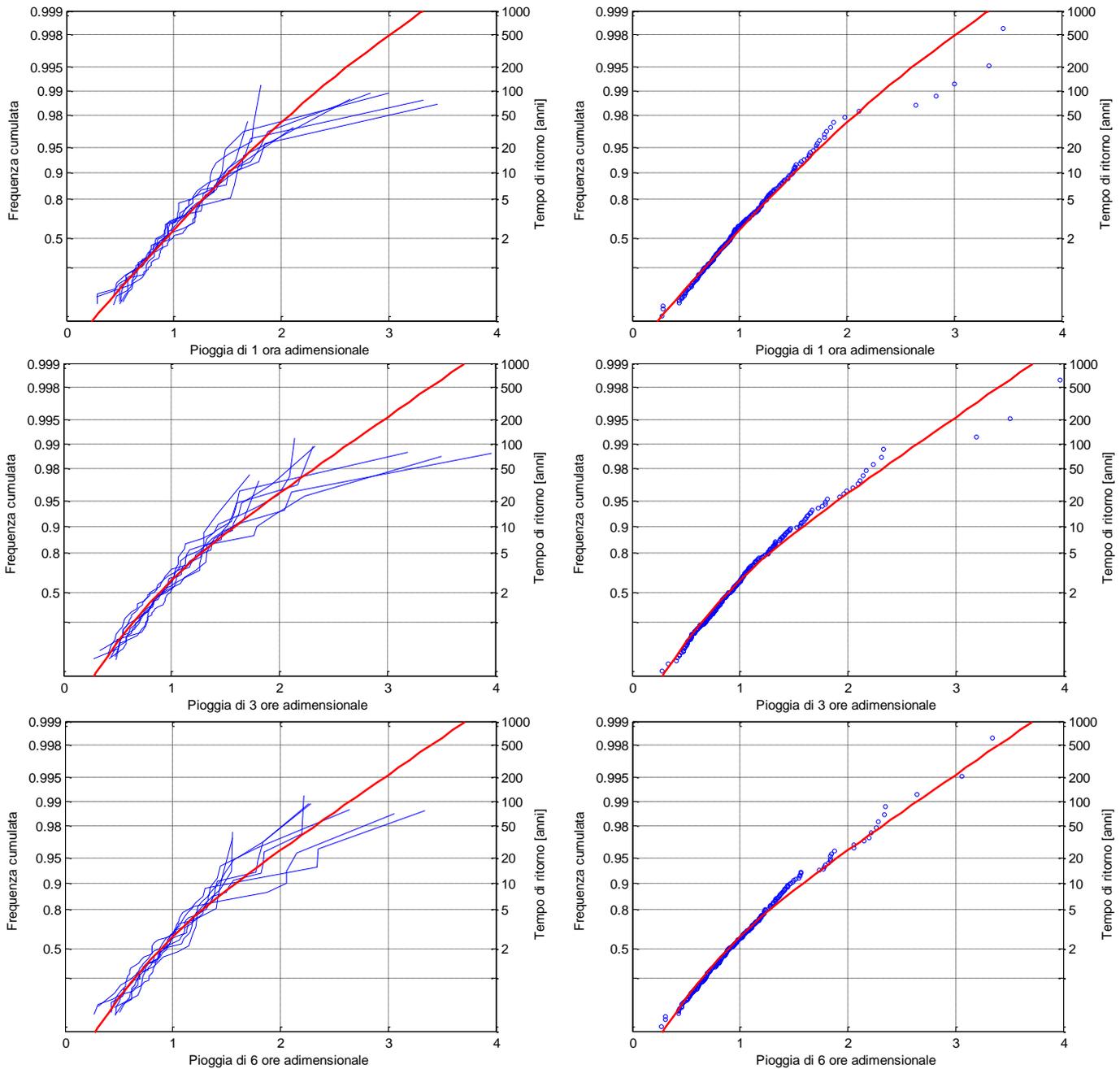
 GGE/ Italy TS	Relazione Tecnica	PR020RE04IC10	20/06/2016
	Realizzazione emissario Lago Castelnuovo		Pagina 14/48
			Usa Pubblico

calcolo. In pratica questo significa che qualora l'idrogramma di piena in una sezione di interesse risulti dalla somma di due o più idrogrammi generati da unità idrografiche diverse in ognuna di queste si utilizzerà un unico fattore di riduzione areale della pioggia, ottenuto attribuendo nella (4) ad S il valore della superficie di competenza del bacino complessivo.

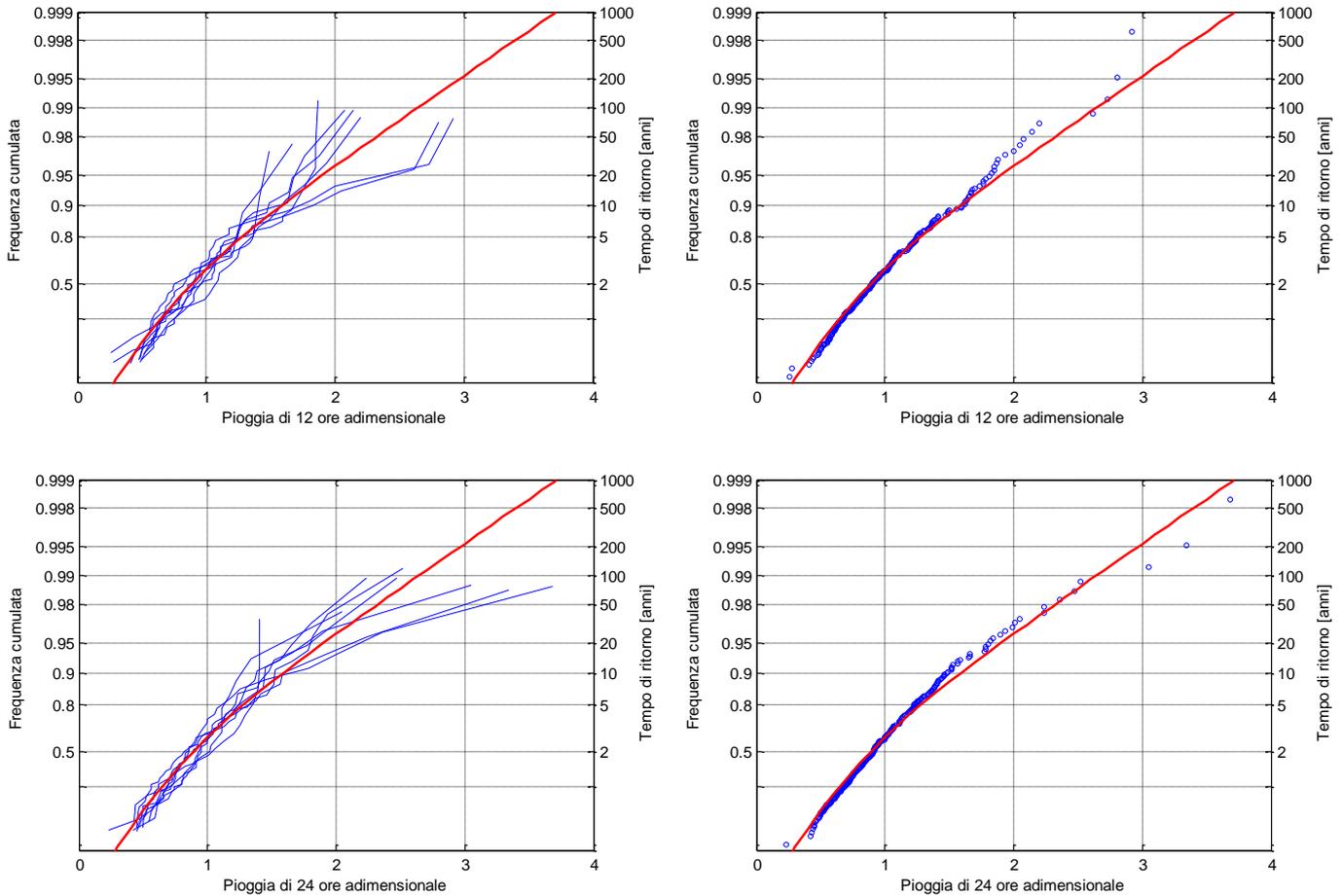
Per quanto attiene infine la forma dello ietogramma di progetto, ipotizzata una durata dell'evento meteorico di 48 ore con scansione di 0.5 ore e picco dell'intensità di pioggia posizionato a 0.5 della durata totale, la distribuzione temporale della precipitazione è ottenuta rispettando per ogni durata la quantità di precipitazione fornita dalla curva di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno T; la costruzione dello ietogramma secondo la metodica sopra delineata risulta così conforme allo schema block alternated method suggerito da [6].



Fig. 4 Suddivisione del territorio toscano in zone idrologicamente omogenee.



**Fig. 5.a** Confronto tra la curva di crescita regionale (linea rossa) e i dati sperimentali delle 8 stazioni considerate per le durate di precipitazione di 1, 3, 6 ore. A sinistra le stazioni sono considerate singolarmente, mentre a destra i dati sono riuniti in un unico campione.



**Fig.5.b** Confronto tra la curva di crescita regionale (linea rossa) e i dati sperimentali delle 8 stazioni considerate per le durate di precipitazione di 12 e 24 ore. A sinistra le stazioni sono considerate singolarmente, mentre a destra i dati sono riuniti in un unico campione.

## 4.2. Il modello di trasformazione afflussi - deflussi

L'assunzione di base del processo afflussi-deflussi è che l'idrogramma di piena di assegnato T può essere valutato tramite un modello di trasformazione, note le precipitazioni che si riversano sull'area in indagine e nell'ipotesi che il tempo di ritorno delle portate sia uguale a quello delle precipitazioni che le generano.

Determinata la precipitazione areale di assegnato T secondo le modalità descritte al paragrafo precedente, e supposta la precipitazione uniformemente distribuita su tutto il bacino, per completare il processo di trasformazione occorre pertanto definire i parametri identificativi del modello che si intende adottare. In generale il processo afflussi deflussi può essere scomposto nei due diversi aspetti che lo compongono: il rifiuto del terreno, cioè il calcolo dello ietogramma efficace, e la trasformazione della pioggia efficace in deflusso superficiale alla sezione in esame tramite un opportuno operatore.

Per quanto attiene il primo aspetto si è fatto riferimento al metodo percentuale in base al quale la precipitazione efficace  $h_{eff,d,T}$  risulta calcolata dalla precipitazione totale  $h_{d,T}$  mediante la relazione:

$$h_{eff,d,T}(S) = \Phi \cdot h_{d,T}(S) \quad (6)$$

 GGE/ Italy TS	Relazione Tecnica	PR020RE04IC10	20/06/2016
	Realizzazione emissario Lago Castelnuovo		Pagina 17/48
			Usa Pubblico

Il valore del coefficiente  $\Phi$ , più noto come coefficiente di deflusso, risulta in generale uno dei parametri di più difficile determinazione operativa; gli studi eseguiti con riferimento al serbatoio di S.Cipriano [5] indicano tuttavia abbastanza chiaramente che durante gli episodi idrologici più significativi il valore di  $\Phi$  risulta compreso nel campo 0.4-0.5; durante l'episodio del novembre 1966, al quale risulta attribuibile un tempo di ritorno più che trecentenario, il valore di  $\Phi$  è inoltre valutabile in 0.64-0.65. Il valore  $\Phi=0.64$  è peraltro quello consigliato da [3] a valle di un esame delle caratteristiche di piena di alcuni bacini toscani prossimi all'area di studio. Alla luce dei risultati sopra esposti, e considerando che all'aumentare del tempo di ritorno si assiste generalmente ad un incremento del valore di  $\Phi$  a causa della riduzione della capacità di assorbimento del terreno per il maggior apporto pluviometrico, si è pertanto deciso di adottare i seguenti valori di  $\Phi$ :

$$\begin{aligned}
T=200 \text{ anni} & \quad \Phi=0.62 \\
T=300 \text{ anni} & \quad \Phi=0.64 \\
T=1000 \text{ anni} & \quad \Phi=0.70
\end{aligned}
\tag{7}$$

Come operatore di trasformazione si è scelto di utilizzare un idrogramma unitario istantaneo (I.U.H.) di tipo gamma, noto come modello di Nash; rappresentando l'apporto meteorico efficace mediante una successione di impulsi di valore  $h_i$  (mm) e durata  $\Delta t$  (ore) la generica portata  $Q_n$  ( $m^3/s$ ) prodotta dall'unità idrografica di superficie  $S$  ( $km^2$ ) all'istante  $t=n \cdot \Delta t$  risulta dalla combinazione lineare:

$$Q_n = C \cdot S \cdot \sum_{i=1}^n h_i \cdot u_{n+1-i}
\tag{8}$$

dove  $C$  è una costante necessaria per garantire l'omogeneità delle unità di misura e  $u_{n+1-i}$  (1/ore) è l'operatore invariante (operatore di Nash) che realizza la trasformazione. I valori di  $u_{n+1-i}$  risultano completamente definiti assegnati i due parametri dell'idrogramma unitario,  $n$  (adimensionale), che rappresenta un fattore di forma, e  $K$  (ore), che costituisce invece una costante d'invaso.

Studi empirici condotti da diversi autori su bacini in diverse parti del mondo [3, 4, 12] hanno mostrato che per bacini di piccole dimensioni come quello in esame è accettabile porre come parametro di forma della funzione di Nash il valore:

$$n=3
\tag{9}$$

Tra i due parametri  $n$  e  $K$  sussiste inoltre il legame  $t_r = n \cdot K$  dove  $t_r$  rappresenta il tempo di ritardo caratteristico del bacino. Quest'ultimo, sulla base delle analisi condotte in Rossi-Versace [3] con riferimento ad alcuni bacini toscani ed alle due sezioni idrografiche del borro Cesto e borro Cervia già ricordate, può essere stimato mediante l'espressione:

$$t_r = 0.533 (L/s^{0.5})^{0.382}
\tag{10}$$

con  $L$  lunghezza dell'asta idrografica principale (km) ed  $s$  pendenza media della stessa (%). Assegnato pertanto il valore  $n=3$  (studi precedenti hanno peraltro evidenziato che assumere valori di  $n$  nell'intervallo 2-4 non varia sensibilmente i risultati a parità di  $t_r$ ), e dedotte dalla cartografia le caratteristiche geomorfologiche  $L$  e  $s$  specifiche per l'unità idrografica di interesse, risulta univocamente determinato il parametro  $K$  e quindi l'operatore di trasformazione.

Dal punto di vista operativo la trasformazione afflussi-deflussi risultante dai due processi descritti è stata realizzata mediante il pacchetto software FLEA prodotto dal Politecnico di Milano [12].

Alla portata derivante dal deflusso superficiale è infine sommata una portata di base  $Q_b$  supposta costante per le 48 ore di simulazione. La portata  $Q_b$  è stata posta pari a  $0.05 m^3/s$  per i bacini con superficie sottesa superiore a  $2 km^2$  e pari a  $0.02 m^3/s$  per quelli con superficie inferiore, valori ricavati in base all'analisi dei deflussi disponibili per il borro Cervia a Vacchereccia. In tale sezione, che sottende un bacino superiore a  $12 km^2$ , la portata media per gli anni disponibili durante il periodo ottobre-dicembre, il periodo più pericoloso per gli episodi di piena, risulta infatti pari a  $0.15 m^3/s$ .

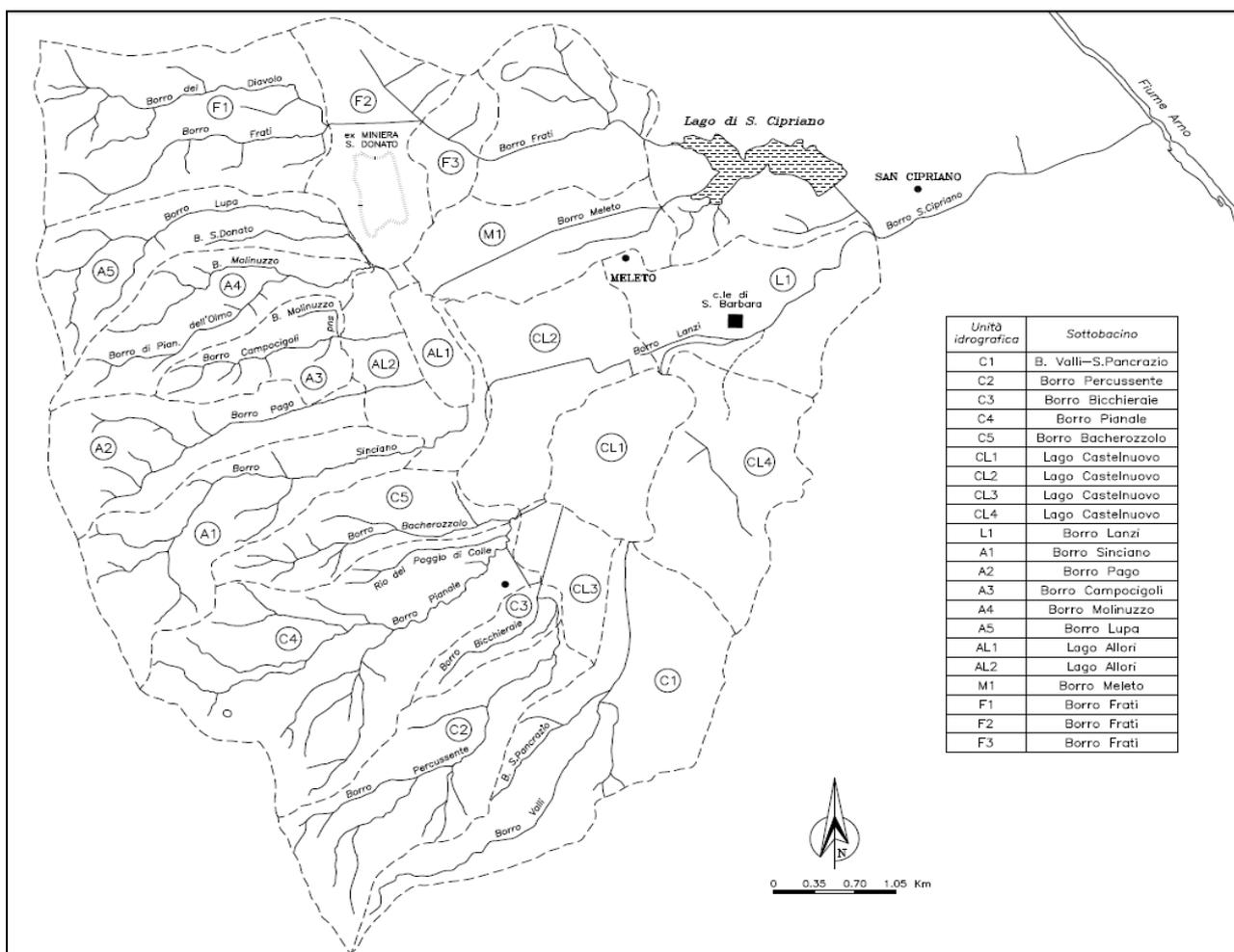
### 4.3. Schematizzazione idrografica dell'area

La prevista sistemazione idrografica dell'area descritta al Par.2 si presta agevolmente ad una suddivisione dell'intera area di studio in singole superfici idrografiche tra loro interconnesse; sulla base dell'ubicazione delle 16 sezioni in corrispondenza delle quali si richiede la costruzione dell'idrogramma di piena di assegnato T si sono pertanto individuate 21 unità idrografiche, Fig.6 seguente e Figura.5 (Allegato 1), che nell'insieme compongono il settore di interesse per lo studio dell'ex comprensorio minerario.

L'area circumlacuale del Lago di Castelnuovo è stata in particolare suddivisa in 3 unità distinte (4 se si considera anche la superficie propria del lago) per poter meglio descrivere il processo di trasformazione afflussi deflussi. Su tali aree è infatti assente una rete idrografica definita e il flusso superficiale avviene essenzialmente per ruscellamento lungo il versante. La suddivisione in 3 unità ha permesso di individuare aree nelle quali la lunghezza dell'asta principale, assimilata alla lunghezza del versante, e la corrispondente pendenza risultano relativamente costanti cosicché il tempo di ritardo calcolato mediante la (10) rappresenta una accettabile approssimazione.

La conformazione dell'area circumlacuale del lago Allori non ha reso invece necessario ricorrere ad ulteriori suddivisioni del bacino contribuyente.

Le Tabelle.1 – 2 – 3 dell'Allegato 3, presentano per ogni singola unità la superficie drenata, l'indicazione del borro di pertinenza, le caratteristiche altimetriche principali, il valore della lunghezza dell'asta principale e della relativa pendenza nonché la stima del tempo di ritardo  $t_r$  ottenuta con la (10).



**Fig. 6** Suddivisione dell'area di studio in unità idrografiche per il calcolo delle portate di piena per assegnato tempo di ritorno.

 GGE/ Italy TS	Relazione Tecnica	PR020RE04IC10	20/06/2016
	Realizzazione emissario Lago Castelnuovo		Pagina 19/48
			Uso Pubblico

## 5. COSTRUZIONE DEGLI IDROGRAMMI DI PIENA DI ASSEGNATO TEMPO DI RITORNO

Utilizzando l'approccio metodologico descritto al Par.4, e cioè gli idrogrammi di assegnato tempo di ritorno ricavati al Par.4.1, la rappresentazione del processo di trasformazione afflussi deflussi secondo le modalità del Par.4.2 e la schematizzazione della rete idrografica secondo quanto delineato nel Par.4.3, si è proceduto al calcolo dell'idrogramma di assegnato T per ciascuna delle 16 sezioni riportate in Tab.1. Per rendere più agevole la lettura del rapporto ed evitare non essenziali appesantimenti la presentazione dei risultati è sviluppata singolarmente per ciascuna sezione ed unicamente con riferimento ai tempi di ritorno di specifico interesse. Perciò per ogni sezione si sono calcolati gli idrogrammi di piena associati ai tempi di ritorno di 200, 300 e 1000 anni e ottenuti sia con l'ARF riferito all'area della superficie propria sottesa dalla sezione, sia con l'ARF calcolato in riferimento alla superficie imbriferia complessivamente afferente al Lago, nel quale defluiscono le acque transitive per quella sezione. In particolare l'area afferente al Lago di Castelnuovo dei Sabbioni ha un'estensione pari a 19.45 km<sup>2</sup>, mentre quella afferente al Lago Allori è di 11.21 km<sup>2</sup>. Gli idrogrammi saranno utilizzati secondo le modalità descritte nel Par.2 del presente elaborato e nello specifico, quelli associati all'area propria della sezione e ai tempi di ritorno di 200 e 300 anni, saranno impiegati per le verifiche dell'efficienza idraulica delle nuove inalveazioni, mentre la verifica della sicurezza idrologico-idraulica dei laghi, sarà condotta con gli idrogrammi associati al tempo di ritorno di 1000 anni e valutati con un ARF calcolato sull'area complessiva afferente a ciascun lago.

### 5.1. Sezione 1

L'idrogramma di piena alla Sez.1 è ottenuto considerando l'apporto generato dall'unità idrografica C1, unità che risulta dalla somma della superficie imbriferia afferente il borro S.Pancrazio ed il borro Valli sino all'immissione di quest'ultimo nel lago di Castelnuovo; la superficie imbriferia totale sottesa risulta in definitiva pari a 4.21 km<sup>2</sup>.

Il calcolo degli idrogrammi di piena alla Sez 1 è stato condotto per i tempi di ritorno di interesse di 200, 300 e 1000 anni, considerando un ARF calcolato sia in riferimento all'area del bacino direttamente sotteso dalla Sez1 (S=4.21 km<sup>2</sup>), sia all'area complessiva afferente al Lago Castelnuovo dei Sabbioni (S=19.45 km<sup>2</sup>). I valori delle portate al colmo di interesse alla Sez.1 sono riportati in Tab.8.

**Tab. 8** Colmi di piena (m<sup>3</sup>/s) di assegnato tempo di ritorno affluenti alla Sez.1 (Borri Valli e S. Pancrazio), in riferimento alla superficie sottesa direttamente dalla sezione pari a 4.21 km<sup>2</sup> e alla superficie complessiva afferente al Lago di Castelnuovo pari a 19.45 km<sup>2</sup>.

Sez.1 (Borro Valli e Borro S. Pancrazio)					
S=4.21 km <sup>2</sup>			S=19.45 km <sup>2</sup>		
Q <sub>c</sub> [m <sup>3</sup> /s]			Q <sub>c</sub> [m <sup>3</sup> /s]		
T=200 anni	T=300 anni	T=1000 anni	T=200 anni	T=300 anni	T=1000 anni
37.1	40.6	52.3	36.5	40.0	51.4

 GGE/ Italy TS	Relazione Tecnica	PR020RE04IC10	20/06/2016
	Realizzazione emissario Lago Castelnuovo		Pagina 20/48
			Usa Pubblico

## 5.2. Sezione 2

L'idrogramma di piena alla Sez.2 è rappresentato dall'onda di piena prodotta dal bacino idrografico del borro Percussente (unità idrografica C2), caratterizzata da una superficie imbriferà totale sottesa pari a 2.71 km<sup>2</sup>. La Tab.9 riporta i valori delle portate al colmo ottenute alla Sez.2, calcolate per i tempi di ritorno di 200, 300 e 1000 anni, considerando nel processo di generazione del deflusso un valore di ARF valutato in riferimento sia a S=2.71 km<sup>2</sup>, superficie complessiva a monte dell'inallveazione, sia a S=19.45 km<sup>2</sup>, superficie complessiva dell'area del Lago di Castelnuovo dei Sabbioni.

**Tab. 9** Colmi di piena (m<sup>3</sup>/s) di assegnato tempo di ritorno affluenti alla Sez.2 (Borro Percussente), in riferimento alla superficie sottesa direttamente dalla sezione pari a 2.71 km<sup>2</sup> e alla superficie complessiva afferente al Lago di Castelnuovo pari a 19.45 km<sup>2</sup>.

Sez.2 Borro Percussente					
S=2.71 km <sup>2</sup>			S=19.45 km <sup>2</sup>		
Q <sub>c</sub> [m <sup>3</sup> /s]			Q <sub>c</sub> [m <sup>3</sup> /s]		
T=200 anni	T=300 anni	T=1000 anni	T=200 anni	T=300 anni	T=1000 anni
26.8	29.4	37.7	26.3	28.8	37.0

## 5.3. Sezione 3

L'idrogramma di piena alla Sez.3 è ottenuto dalla somma dell'idrogramma calcolato alla Sez.2 e quello prodotto dal bacino imbrifero del borro Bicchieraie (unità idrografica C3); la superficie idrografica totale sottesa risulta perciò pari a 3.34 km<sup>2</sup>. Si noti che il processo di generazione del deflusso per l'unità idrografica C2 alla Sez.2 è stato in questo caso ripetuto, considerando un valore dell'ARF calcolato con riferimento a S=3.34 km<sup>2</sup>, superficie complessiva sottesa dalla Sez.3. Per la ridotta differenza tra le aree contribuenti considerate nei due casi, 2.71 e 3.34 km<sup>2</sup>, le differenze tra gli idrogrammi alla Sez.2 sono comunque del tutto trascurabili.

L'idrogramma complessivo è stato inoltre calcolato come somma diretta dei singoli idrogrammi prodotti dalle unità idrografiche C2 e C3 senza l'introduzione di alcun ritardo temporale. L'esame delle caratteristiche idrauliche del tratto d'alveo compreso tra la Sez.2 e la Sez.3 evidenzia infatti velocità della corrente presumibilmente superiori a 2 m/s; nell'ipotesi approssimata di una celerità dell'onda pari a 1.5 volte la velocità, ossia 3 m/s, il tempo di percorrenza del colmo di piena tra la Sez.2 e la Sez.3 risulta infatti valutabile in 5-10 minuti, tempo decisamente inferiore al passo di ricostruzione di 0.5 ore degli idrogrammi adottato. Il ritardo nel trasferimento alla Sez.3 dell'onda di piena proveniente dalla Sez.2 può pertanto essere ritenuto trascurabile. L'elevata pendenza dell'alveo assicura inoltre un trasferimento a valle di tipo sostanzialmente cinematico senza modifiche rilevanti nella forma dell'idrogramma.

In Tab.10 si riportano i valori delle portate al colmo per i tempi di ritorno di 200, 300 e 1000 anni, calcolati considerando il valore dell'ARF riferito sia all'area sottesa direttamente dalla Sez.3, pari a 3.34 km<sup>2</sup>, sia a quella complessivamente sottesa dal Lago Castelnuovo pari a 19.45 km<sup>2</sup>.

 GGE/ Italy TS	<b>Relazione Tecnica</b>	<b>PR020RE04IC10</b>	20/06/2016
	Realizzazione emissario Lago Castelnuovo		Pagina 21/48
			Usa Pubblico

**Tab. 10** Colmi di piena ( $m^3/s$ ) di assegnato tempo di ritorno affluenti alla Sez.3 (Borri Percussente e Bicchieraie) in riferimento alla superficie sottesa direttamente dalla sezione pari a  $3.34 km^2$  e alla superficie complessiva afferente al Lago di Castelnuovo pari a  $19.45 km^2$

	<b>Sez.3</b> Borro Percussente e Borro Bicchierarie					
	<b>S=3.34 km2</b>			<b>S=19.45 km2</b>		
	<b>Qc [m<sup>3</sup>/s]</b>			<b>Qc [m<sup>3</sup>/s]</b>		
	T=200 anni	T=300 anni	T=1000 anni	T=200 anni	T=300 anni	T=1000 anni
Percussente	26.8	29.4	37.7	26.3	28.8	37.0
Bicchieraie	7.5	8.2	10.4	7.3	8.0	10.2
<b>SOMMA APPORTI</b>	<b>34.3</b>	<b>37.5</b>	<b>48.1</b>	<b>33.6</b>	<b>36.8</b>	<b>47.2</b>

#### 5.4. Sezione 4

La Sez.4 costituisce la sezione idrografica alla quale afferiscono i deflussi generati dalle unità idrografiche C4 e C5, le cui superficie complessiva risulta pari a  $5.78 km^2$ ; l'idrogramma alla sezione risulta pertanto somma di quelli generati dai borri Pianale e Bacherozzolo, che sono stati sommati senza l'introduzione di alcun ritardo temporale o modifica nella forma delle singole onde. Le portate di piena alla Sez.4 costituiranno l'informazione progettuale da utilizzare per il progetto/verifica dell'ufficiosità idraulica del tratto d'alveo compreso tra la sezione stessa e l'immissione nel lago Castelnuovo. La Tab.11 presenta le portate massime al colmo attese alla sezione relativamente ai periodi di ritorno di interesse, calcolate considerando il valore dell'ARF riferito sia all'area sottesa direttamente dalla Sez.4, pari a  $5.78 km^2$ , sia a quella complessivamente sottesa dal Lago Castelnuovo pari a  $19.45 km^2$ .

**Tab. 11** Colmi di piena ( $m^3/s$ ) di assegnato tempo di ritorno affluenti alla Sez.4 (Borri Bacherozzolo e Pianale) in riferimento alla superficie sottesa direttamente dalla sezione pari a  $5.78 km^2$  e alla superficie complessiva afferente al Lago di Castelnuovo pari a  $19.45 km^2$

	<b>Sez.4</b> Borro Bacherozzolo e Borro Pianale					
	<b>S=5.78 km2</b>			<b>S=19.45 km2</b>		
	<b>Qc [m<sup>3</sup>/s]</b>			<b>Qc [m<sup>3</sup>/s]</b>		
	T=200 anni	T=300 anni	T=1000 anni	T=200 anni	T=300 anni	T=1000 anni
Bacherozzolo	15.2	16.7	21.3	15.0	16.4	21.0
Pianale	39.1	42.9	55.2	38.5	42.3	54.3
<b>SOMMA APPORTI</b>	<b>54.4</b>	<b>59.6</b>	<b>76.5</b>	<b>53.5</b>	<b>58.6</b>	<b>75.3</b>

 GGE/ Italy TS	Relazione Tecnica	PR020RE04ICIO	20/06/2016
	Realizzazione emissario Lago Castelnuovo		Pagina 22/48
			Usa Pubblico

### 5.5. Sezione 5, Sezione 6 e Sezione 7

Le Sez.5, Sez.6 e Sez.7 rappresentano la chiusura idrografica dei bacini imbriferi drenati dal borro Sinciano (unità idrografica A1), dal borro Pago (unità idrografica A2) e dai borri Campocigoli e Molinuzzo Sud (unità idrografica A3); le superfici idrografiche sottese sono rispettivamente pari a 2.63, 2.01 e 1.00 km<sup>2</sup>.

Le portate massime transitanti nelle sezioni, relativamente a T=200, 300 e 1000 anni, sono quindi recapitate al lago Allori tramite opportune sistemazioni d'alveo. Tali portate possono inoltre essere utilizzate per la progettazione/verifica delle inalveazioni sino all'immissione nel lago Allori in quanto l'area circumlacuale si presenta come un versante ortogonale al lago con pendenza elevata e pressochè costante; il deflusso derivante dall'area circumlacuale viene quindi direttamente drenato al lago Allori e non modifica in maniera significativa le onde di piena ottenute alle tre sezioni in esame. Poiché le tre sezioni sono idraulicamente indipendenti il valore dell'ARF applicato nel processo di generazione del deflusso è stato calcolato per ciascuna unità idrografica coinvolta, unità A1, A2 e A3, con riferimento alla singola superficie drenata.

Per la già evidenziata pendenza dei tratti d'alveo a valle delle sezioni e la limitata distanza dal lago Allori il trasferimento sino all'invaso delle onde generate dai tre bacini risulta inoltre di tipo cinematico con un ritardo che può essere considerato nullo.

Per ciascuna sezione si è provveduto inoltre alla valutazione dell'idrogramma atteso per i tempi di ritorno di interesse da utilizzare nelle valutazioni idrologico-idrauliche, relative al lago Allori; in questo caso il valore di ARF utilizzato è sempre stato quello corrispondente a S=11.21 km<sup>2</sup>, superficie imbrifera afferente al lago. Nelle Tabb.12, 13 e 14 si riportano i valori delle portate al colmo relativi, rispettivamente, alle Sez.5, 6, 7, calcolati sia in riferimento all'ARF della superficie propria, sia a quello della superficie complessiva afferente al Lago Allori.

**Tab. 12** Colmi di piena (m<sup>3</sup>/s) di assegnato tempo di ritorno affluenti alla Sez.5 (Borro Sinciano), in riferimento alla superficie sottesa direttamente dalla sezione pari a 2.63 km<sup>2</sup> e alla superficie complessiva afferente al Lago di Allori pari a 11.21 km<sup>2</sup>.

Sez.5 Borro Sinciano					
S=2.63 km <sup>2</sup>			S=11.21 km <sup>2</sup>		
Q <sub>c</sub> [m <sup>3</sup> /s]			Q <sub>c</sub> [m <sup>3</sup> /s]		
T=200 anni	T=300 anni	T=1000 anni	T=200 anni	T=300 anni	T=1000 anni
25.1	27.5	35.3	24.8	27.2	34.9

**Tab. 13** Colmi di piena (m<sup>3</sup>/s) di assegnato tempo di ritorno affluenti alla Sez.6 (Borro Pago), in riferimento alla superficie sottesa direttamente dalla sezione pari a 2.01 km<sup>2</sup> e alla superficie complessiva afferente al Lago di Allori pari a 11.21 km<sup>2</sup>.

Sez.6 Borro Pago					
S=2.01 km <sup>2</sup>			S=11.21 km <sup>2</sup>		
Q <sub>c</sub> [m <sup>3</sup> /s]			Q <sub>c</sub> [m <sup>3</sup> /s]		
T=200 anni	T=300 anni	T=1000 anni	T=200 anni	T=300 anni	T=1000 anni
21.5	23.5	30.0	21.2	23.2	29.7

 GGE/ Italy TS	Relazione Tecnica	PR020RE04IC10	20/06/2016
	Realizzazione emissario Lago Castelnuovo		Pagina 23/48
			Uso Pubblico

**Tab. 14** Colmi di piena ( $m^3/s$ ) di assegnato tempo di ritorno affluenti alla Sez.7 (Borri Campocigoli e Molinuzzo Sud), in riferimento alla superficie sottesa direttamente dalla sezione pari a  $1.00 km^2$  e alla superficie complessiva afferente al Lago di Allori pari a  $11.21 km^2$ .

Sez.7 Borro Campocigoli e Borro Molinuzzo Sud					
S= $1.00 km^2$			S= $11.21 km^2$		
$Q_c$ [ $m^3/s$ ]			$Q_c$ [ $m^3/s$ ]		
T=200 anni	T=300 anni	T=1000 anni	T=200 anni	T=300 anni	T=1000 anni
11.9	13.0	16.6	11.7	12.8	16.4

## 5.6. Sezione 8 e Sezione 9

La Sez.8 e la Sez.9 costituiscono la chiusura idrografica del bacino imbrifero drenato dal borro Lupa rispettivamente a valle della confluenza con il borro S. Donato e con il borro Molinuzzo; la superficie idrografica sottesa dalla Sez.8 è pari a  $2.09 km^2$  (unità idrografica A5) mentre quella sottesa dalla Sez.9 risulta pari a  $3.96 km^2$  (somma unità idrografica A4 e A5). L'idrogramma alla Sez.8 è quindi ottenuto direttamente dalla trasformazione afflussi deflussi pertinente all'unità idrografica A4 mentre l'idrogramma alla Sez.9 risulta dalla somma dell'onda di piena alla Sez.8 e di quella generata dall'unità idrografica A4. Per l'estrema prossimità tra la Sez.8, la chiusura dell'unità idrografica A4 e la Sez.9 la somma degli idrogrammi è effettuata senza alcuna modifica delle onde componenti.

Per il calcolo dell'idrogramma alla Sez.8, unità idrografica A5, il valore dell'ARF applicato nel processo di generazione del deflusso è quello ottenuto con riferimento a  $S=2.09 km^2$ ; per la valutazione delle onde di piena alla Sez.9 si è invece utilizzato per entrambe le unità idrografiche A4 e A5 un ARF corrispondente a  $S=3.96 km^2$ , superficie totale drenata dalla Sez.9.

La Sez.9 rappresenta di fatto l'incile dell'immissario che, previa opportuna sistemazione idraulica, convoglierà nel lago Allori le portate complessivamente drenate dai borri sopra citati; come per le Sez.5, Sez.6 e Sez.7 anche nell'intorno della Sez.9 l'area circumlacuale si presenta come un versante ortogonale al lago con elevata pendenza che drena direttamente all'invaso il deflusso da essa prodotto. Le portate massime relative a T=200, 300 e 1000 anni possono pertanto essere utilizzate per la progettazione/verifica dell'inalveazione sino all'immissione nel lago Allori. A causa della già evidenziata pendenza del tratto d'alveo a valle e della limitata distanza dal lago anche nel caso della Sez.9 il trasferimento all'invaso dell'onda di piena può essere assunto di tipo cinematico con ritardo nullo. Per la Sez.9 si è provveduto inoltre alla valutazione dell'idrogramma atteso per i tempi di ritorno di interesse da utilizzare nelle valutazioni idrologico-idrauliche, relative al lago Allori; considerando il valore di ARF corrispondente a  $S=11.21 km^2$ , superficie imbrifera afferente al lago. I risultati per la Sez.8 sono riportati in Tab.15, mentre in Tab.16 quelli per la Sez.9.

**Tab. 15** Colmi di piena ( $m^3/s$ ) di assegnato tempo di ritorno affluenti alla Sez.8 (Borri Lupa e S. Donato), in riferimento alla superficie sottesa direttamente dalla sezione pari a  $2.09 km^2$  e alla superficie complessiva afferente al Lago di Allori pari a  $11.21 km^2$ .

Sez.8 Borro Lupa e Borro S. Donato					
S= $2.09 km^2$			S= $11.21 km^2$		
$Q_c$ [ $m^3/s$ ]			$Q_c$ [ $m^3/s$ ]		
T=200 anni	T=300 anni	T=1000 anni	T=200 anni	T=300 anni	T=1000 anni
19.6	21.5	27.5	19.4	21.2	27.2

 GGE/ Italy TS	Relazione Tecnica	PR020RE04IC10	20/06/2016
	Realizzazione emissario Lago Castelnuovo		Pagina 24/48
			Usa Pubblico

**Tab. 16** Colmi di piena ( $m^3/s$ ) di assegnato tempo di ritorno affluenti alla Sez.9 (Borri Bacherozzolo e Pianale), in riferimento alla superficie sottesa direttamente dalla sezione pari a  $3.96 \text{ km}^2$  e alla superficie complessiva afferente al Lago di Allori pari a  $11.21 \text{ km}^2$ .

	Sez.9 Borro Bacherozzolo e Borro Pianale					
	S=3.96 $\text{km}^2$			S=11.21 $\text{km}^2$		
	$Q_c$ [ $m^3/s$ ]			$Q_c$ [ $m^3/s$ ]		
	T=200 anni	T=300 anni	T=1000 anni	T=200 anni	T=300 anni	T=1000 anni
Lupa e S. Donato	19.5	21.4	27.5	19.4	21.2	27.2
Molinuzzo	19.6	21.4	27.4	19.4	21.2	27.2
<b>SOMMA APPORTI</b>	<b>39.1</b>	<b>42.8</b>	<b>54.9</b>	<b>38.8</b>	<b>42.5</b>	<b>54.4</b>

## 5.7. Sezione 10, Sezione 11 e Sezione 12

Le Sez.10, Sez.11 e Sez.12 costituiscono la chiusura idrografica del bacino imbrifero drenato dal borro Frati rispettivamente a valle della confluenza con il borro del Diavolo, all'immissione della discarica S. Donato e al termine della deviazione ENEL; la superficie imbrifera sottesa risulta pari a  $3.38 \text{ km}^2$  alla Sez.10 (unità idrografica F1),  $5.28 \text{ km}^2$  alla Sez.11 (unità idrografica F1+F2) e  $5.89 \text{ km}^2$  alla Sez.12 (unità idrografica F1+F2+F3).

Per ogni sezione, il calcolo degli idrogrammi di piena è stato condotto considerando un ARF riferito sia alla superficie propria sottesa da ciascuna sezione, sia alla superficie complessiva di pertinenza pari a  $5.89 \text{ km}^2$ . In pratica l'idrogramma alla Sez.11 è ottenuto direttamente con riferimento alla superficie totale sottesa e non come somma di quello atteso alla Sez.10 e di quello prodotto dall'interbacino, e analogamente per la Sez.12. Tale modalità di analisi è giustificata dalla considerazione che la verifica idraulica della capacità di inalveazione dell'onda di piena sarà condotta ipotizzando la contemporaneità del passaggio in ciascuna sezione del colmo di piena di assegnato tempo di ritorno. I risultati ottenuti per ciascuna sezione sono riportati nelle Tabb.17, 18 e 19.

**Tab. 17** Colmi di piena ( $m^3/s$ ) di assegnato tempo di ritorno affluenti alla Sez.10 (Borri Frati e Diavolo), in riferimento alla superficie sottesa direttamente dalla sezione pari a  $3.38 \text{ km}^2$  e alla superficie complessiva afferente alla Sez.12 pari a  $5.89 \text{ km}^2$ .

Sez10 Borro Frati e Borro Diavolo					
S=3.38 $\text{km}^2$			S=5.89 $\text{km}^2$		
$Q_c$ [ $m^3/s$ ]			$Q_c$ [ $m^3/s$ ]		
T=200 anni	T=300 anni	T=1000 anni	T=200 anni	T=300 anni	T=1000 anni
36.6	40.1	51.3	36.5	40.0	51.1

 GGE/ Italy TS	Relazione Tecnica	PR020RE04IC10	20/06/2016
	Realizzazione emissario Lago Castelnuovo		Pagina 25/48
			Uso Pubblico

**Tab. 18** Colmi di piena ( $m^3/s$ ) di assegnato tempo di ritorno affluenti alla Sez.11 (Borro Frati), in riferimento alla superficie sottesa direttamente dalla sezione pari a  $5.28 \text{ km}^2$  e alla superficie complessiva afferente alla Sez.12 pari a  $5.89 \text{ km}^2$ .

Sez.11 Borro Frati					
S=5.28 $\text{km}^2$			S=5.89 $\text{km}^2$		
$Q_c$ [ $m^3/s$ ]			$Q_c$ [ $m^3/s$ ]		
T=200 anni	T=300 anni	T=1000 anni	T=200 anni	T=300 anni	T=1000 anni
52.2	57.1	73.2	52.1	57.1	73.2

**Tab. 19** Colmi di piena ( $m^3/s$ ) di assegnato tempo di ritorno affluenti alla Sez.12 (Borro Frati), in riferimento alla superficie sottesa direttamente dalla sezione pari a  $5.89 \text{ km}^2$ .

Sez.12 Borro Frati		
S=5.89 $\text{km}^2$		
$Q_c$ [ $m^3/s$ ]		
T=200 anni	T=300 anni	T=1000 anni
53.9	59.1	75.8

## 5.8. Sezione 13 (Lago di Castelnuovo)

L'idrogramma alla Sez.13 identifica l'onda di piena affluente al lago di Castelnuovo e risulta pertanto dalla somma di 5 contributi, Fig.6:

- l'idrogramma calcolato alla Sez.1 (immissario del lago che raccoglie il contributo dell'unità idrografica C1, borro Valli+S.Pancrazio);
- l'idrogramma calcolato alla Sez.3 (immissario del lago che raccoglie il contributo delle u.i. C2÷C3);
- l'idrogramma calcolato alla Sez.4 (immissario del lago che raccoglie il contributo delle u.i. C4÷C5);
- l'apporto relativo alla superficie propria del lago (u.i. CL1);
- i deflussi prodotti dalle aree circumlacuali (u.i. CL2, CL3 e CL4).
- La superficie totale afferente la Sez.13 risulta pertanto pari a  $19.45 \text{ km}^2$ . Per la limitata distanza tra le sezioni e l'invaso, gli idrogrammi transitanti nelle due sezioni sono stati immessi nel lago senza alcuna trasformazione o ritardo temporale. La Tab.20 riporta le portate massime al colmo attese alla Sez.13 relativamente ai periodi di ritorno di interesse, calcolate considerando il valore dell'ARF riferito all'area complessivamente sottesa dal Lago Castelnuovo pari a  $19.45 \text{ km}^2$ . Lo studio è stato condotto per gli idrogrammi degli eventi di piena associati ai tempi di ritorno di 200, 300 e 1000 anni.

Alla sezione 13 vengono valutate inoltre le portate defluenti attraverso l'emissario e le massime quote idriche raggiunte dal lago. Dato il rilevante volume di invaso del Lago Castelnuovo tra la quota della soglia dell'emissario 146 m s.l.m. e le quote di sommità delle sponde, 149.20 m s.l.m., nell'eseguire le valutazioni, si è considerato il processo di laminazione esercitato dal lago sull'idrogramma affluente.

Nell'Allegato 5 in Tabella.1 si riportano i dati caratteristici dell'invaso di Castelnuovo e in Tabella.2 la relativa curva di invaso, mentre in Tabella.3 si riporta la scala di deflusso sulla soglia fissa il cui procedimento di calcolo è descritto brevemente nell'Allegato 4.

Infine in Tab.21 sono riportati i risultati della simulazione del processo laminativo; dall'esame di tale tabella si può osservare che, a fronte di una portata in ingresso associata a un tempo di ritorno di 1000 anni, il

 GGE/ Italy TS	Relazione Tecnica	PR020RE04IC10	20/06/2016
	Realizzazione emissario Lago Castelnuovo		Pagina 26/48
			Usa Pubblico

livello idrico raggiunge la quota massima di 148.38 m s.l.m., con un franco residuo di 0.82 m rispetto alla quota di sommità delle sponde del Lago (149.2 m s.l.m.).

**Tab. 20** Colmi di piena ( $m^3/s$ ) di assegnato tempo di ritorno affluenti alla Sez.13, in riferimento alla superficie complessiva di pertinenza del Lago Castelnuovo pari a  $19.45 km^2$ .

Sez.13 LAGO CASTELNUOVO			
S= $19.45 km^2$			
	$Q_c$ [ $m^3/s$ ]		
	T=200 anni	T=300 anni	T=1000 anni
Sez.1 (C1)	36.5	40.05	51.45
Sez.3 (C2-C3)	33.6	36.8	47.2
Sez.4 (C4-C5)	53.5	58.6	75.3
Apporto diretto al Lago (CL1)	47.2	49.6	57.2
Aree Circumlacuali (CL2-CL3-CL4)	54.0	59.0	75.5
<b>SOMMA APPORTI</b>	<b>186.5</b>	<b>204.2</b>	<b>261.1</b>

**Tab. 21** Colmi di piena ( $m^3/s$ ) di assegnato tempo di ritorno affluenti alla Sez.13 (Lago di Castelnuovo), portate massime uscenti ( $m^3/s$ ) e massimo livello di invaso (m s.l.m.).

Sezione	T=200 anni	T=300 anni	T=1000 anni
Portata al colmo affluente al L. Castelnuovo [ $m^3/s$ ]	186.5	204.2	261.1
Portata al colmo uscente dal L. Castelnuovo [ $m^3/s$ ]	28.7	33.8	51.2
Massimo livello raggiunto nell'invaso [m s.l.m.]	147.74	147.90	148.38
Istante corrispondente al massimo livello [ore]	29	29	28.5

## 5.9. Sezione 14

La sezione 14 individua la sezione di chiusura dell'emissario del Lago Castelnuovo, ovvero alla confluenza con il borro S.Cipriano. L'emissario è composto inizialmente da una nuova inalveazione di circa 935 m di lunghezza e dal borro Lanzi allo stato attuale per i restanti 1735 m. L'onda di piena alla Sez.14 è stata calcolata con riferimento all'area di  $2.34 km^2$  drenata dalla sola unità idrografica L1, Tab.22. Poiché la condizione più critica per il deflusso nel tratto d'alveo del borro Lanzi, compreso tra il lago di Castelnuovo e la Sez.14, è determinata dall'apporto dalla portata massima esitata dall'emissario del lago, ne consegue che, per la verifica idraulica della capacità di inalveazione del borro Lanzi, occorre sommare i contributi della portata massima esitata dall'invaso, per i tempi di ritorno di interesse, e della portata direttamente prodotta dal borro.

Sulla base dei risultati del processo laminativo, Tab.21, si è calcolata la portata al colmo transitante nell'inalveazione del borro Lanzi come somma della portata massima esitata dal lago e di quella calcolata alla Sez.14, nell'istante in cui si registra il massimo livello idrico nell'invaso. In Tab.23 si riportano i risultati per i tempi di ritorno di 200, 300 e 1000 anni.

 GGE/ Italy TS	<b>Relazione Tecnica</b>	<b>PR020RE04ICIO</b>	20/06/2016
	Realizzazione emissario Lago Castelnuovo		Pagina 27/48
			Usa Pubblico

**Tab. 22** Colmi di piena ( $m^3/s$ ) di assegnato tempo di ritorno affluenti alla Sez.14 (Borro Lanzi), in riferimento alla superficie sottesa direttamente dalla sezione pari a  $2.34 km^2$ .

<b>Sez.14</b> Borro Lanzi		
<b>S=2.34 km<sup>2</sup></b>		
<b>Q<sub>c</sub></b> <b>[m<sup>3</sup>/s]</b>		
T=200 anni	T=300 anni	T=1000 anni
<b>19.4</b>	<b>21.3</b>	<b>27.5</b>

**Tab. 23** Colmi di piena ( $m^3/s$ ) di assegnato tempo di ritorno da utilizzare per la verifica dell'efficienza idraulica del borro Lanzi (canale emissario lago Castelnuovo).

	<b>T=200 anni</b>	<b>T=300 anni</b>	<b>T=1000 anni</b>
Portata al colmo uscente dal Lago Castelnuovo [ $m^3/s$ ]	28.7	33.8	51.2
Istante corrispondente al massimo livello [ore]	29	29	28.5
Contributo del borro Lanzi all'istante della massima portata esitata dall'emissario [ $m^3/s$ ]	3.6	4.1	6.7
Portata massima all'immissione del borro S.Cipriano [ $m^3/s$ ]	<b>32.3</b>	<b>37.9</b>	<b>57.9</b>

## 5.10. Sezione 15 (Lago Allori)

L'idrogramma alla Sez.15 corrisponde all'onda di piena affluente al lago Allori e risulta dalla somma di 6 contributi, Fig.6:

- l'idrogramma calcolato alla Sez.5 (u.i. A1);
- l'idrogramma calcolato alla Sez.6 (u.i. A2);
- l'idrogramma calcolato alla Sez.7 (u.i. A3);
- l'idrogramma calcolato alla Sez.9 (immissario del lago che raccoglie i contributi delle u.i. A4 e A5),
- l'apporto relativo alla superficie propria del lago (u.i. AL1);
- i deflussi prodotti dall'area circumlacuale (u.i. AL2).
- La superficie totale interessata risulta pertanto pari a  $11.21 km^2$ . Come precedentemente sottolineato per la limitata distanza tra l'invaso e le sezioni sopra citate i diversi idrogrammi sono immessi nel lago senza alcuna trasformazione o ritardo temporale.

La Tab.24 riporta le portate massime al colmo attese alla Sez.15 relativamente ai periodi di ritorno di interesse, calcolate considerando il valore dell'ARF riferito all'area complessivamente sottesa dal Lago Allori pari a  $11.21 km^2$ .

Per valutare la sicurezza idrologico idraulica del lago, si è effettuata la simulazione del processo di laminazione esercitato dall'invaso sull'idrogramma affluente. Lo studio è stato condotto per gli idrogrammi degli eventi di piena associati ai tempi di ritorno di 200, 300 e 1000 anni.

Nell'Allegato 5 in Tabella.4 si riportano i dati caratteristici dell'invaso di Allori e in Tabella.5 la relativa curva di invaso, mentre in Tabella.6 si riporta la scala di deflusso sulla soglia fissa e il cui procedimento di calcolo è descritto brevemente nell'Allegato 4.

Infine in Tab.25 sono riportati i risultati della simulazione del processo laminativo; dall'esame di tale tabella si può osservare che, a fronte di una portata in ingresso associata a un tempo di ritorno di 1000 anni, il livello di invaso raggiunge la quota massima di 185.19 m s.l.m., con un franco residuo di 1.01 m rispetto alla quota di sommità delle sponde del lago di 186.2 m s.l.m..

 GGE/ Italy TS	Relazione Tecnica	PR020RE04IC10	20/06/2016
	Realizzazione emissario Lago Castelnuovo		Pagina 28/48
			Uso Pubblico

**Tab. 24** Colmi di piena ( $m^3/s$ ) di assegnato tempo di ritorno affluenti alla Sez.15, in riferimento alla superficie complessiva di pertinenza del Lago Allori pari a  $11.21 km^2$ .

Sez.15 LAGO ALLORI			
S=11.21 km <sup>2</sup>			
	Q <sub>c</sub> [m <sup>3</sup> /s]		
	T=200 anni	T=300 anni	T=1000 anni
Sez.5 (A1)	24.8	27.2	34.9
Sez.6 (A2)	21.2	23.2	29.7
Sez.7 (A3)	11.7	12.8	16.4
Sez.9 (A4-A5)	38.8	42.5	54.4
Apporto diretto al Lago (AL1)	14.5	15.2	17.5
Area Circumlacuale (AL2)	15.4	16.8	21.4
<b>SOMMA APPORTI</b>	<b>113.3</b>	<b>124.0</b>	<b>158.6</b>

**Tab. 25** Colmi di piena ( $m^3/s$ ) di assegnato tempo di ritorno affluenti alla Sez.15 (Lago Allori), portate massime uscenti ( $m^3/s$ ) e massimo livello di invaso (m s.l.m.).

Sezione	T=200 anni	T=300 anni	T=1000 anni
Portata al colmo affluente al L. Allori [m <sup>3</sup> /s]	113.3	124.0	158.6
Portata al colmo uscente dal L. Allori [m <sup>3</sup> /s]	31.3	37.5	57.1
Massimo livello raggiunto nell'invaso [m s.l.m.]	184.43	184.63	185.19
Istante corrispondente al massimo livello [ore]	27.5	27.5	27

### 5.11. Sezione 16

L'onda di piena alla Sez.16 è stata calcolata con riferimento all'area di  $1.75 km^2$  drenata dalla sola unità idrografica M1 (borro Meleto), Tab.26. Analogamente al borro Lanzi, poiché la condizione più critica per il deflusso nel borro Meleto è determinata dall'apporto generato dalla portata massima esitata dal lago, per effettuare la verifica idraulica del borro Meleto occorre sommare i contributi della portata massima esitata dall'invaso (portata in ingresso al tratto d'alveo tra la Sez.15 e la Sez.16) e della portata prodotta dall'unità idrografica M1, che si verifica in corrispondenza dell'istante in cui si registra il massimo livello nel lago. In Tab.27 si riportano i risultati per i tempi di ritorno di 200, 300 e 1000 anni.

 GGE/ Italy TS	Relazione Tecnica	PR020RE04IC10	20/06/2016
	Realizzazione emissario Lago Castelnuovo		Pagina 29/48
			Usa Pubblico

**Tab. 26** Colmi di piena ( $m^3/s$ ) di assegnato tempo di ritorno affluenti alla Sez.16 (Borro Meleto), in riferimento alla superficie sottesa direttamente dalla sezione pari a  $1.75 km^2$ .

<b>Sez.16</b>		
Borro Meleto		
<b>S=1.75 km<sup>2</sup></b>		
<b>Q<sub>c</sub></b>		
<b>[m<sup>3</sup>/s]</b>		
T=200 anni	T=300 anni	T=1000 anni
<b>15.1</b>	<b>16.6</b>	<b>21.3</b>

**Tab. 27** Colmi di piena ( $m^3/s$ ) di assegnato tempo di ritorno da utilizzare per la verifica dell'efficienza idraulica del borro Meleto (canale emissario lago Allori).

	<b>T=200 anni</b>	<b>T=300 anni</b>	<b>T=1000 anni</b>
Portata al colmo uscente dal L. Allori [ $m^3/s$ ]	31.3	37.5	57.1
Istante corrispondente al massimo livello [ore]	27.5	27.5	27
Contributo del borro Meleto all'istante del massimo livello nell'invaso [ $m^3/s$ ]	4.7	5.3	9.4
Portata massima alla confluenza con il borro S.Cipriano ( <b>Sez.16</b> ) [ $m^3/s$ ]	<b>36.0</b>	<b>42.8</b>	<b>66.5</b>

 GGE/ Italy TS	<b>Relazione Tecnica</b>	<b>PR020RE04ICIO</b>	20/06/2016
	Realizzazione emissario Lago Castelnuovo		Pagina 30/48
			<i>Uso Pubblico</i>

## 6. CONCLUSIONI

La presente relazione aggiorna e sostituisce la relazione “Progetto per il recupero ambientale della miniera di S. Barbara nei Comuni di Cavriglia (AR) e Figline Valdarno (FI) – Relazione Idrologica”, datata 20/01/2003 e prodotta dall'allora Unità di Ricerca di Enel Produzione S.p.A., oggi Unità di Idrologia del Supporto Tecnico di Civile [1].

La relazione è stata redatta per rivalutare le portate al colmo prevedibili in alcune sezioni della rete idrografica dell'ex area mineraria di S. Barbara, in seguito ad alcune modifiche che sono state apportate al progetto originario di recupero ambientale del 2003. In particolare, a seguito delle valutazioni tecniche espresse dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno, è stato previsto di abbandonare l'utilizzo della Galleria Bicchieraie come elemento della rete idraulica, inoltre è previsto che siano dismesse tutte le dighe presenti nel reticolo e in seguito a nuovi rilievi topografici, sono state corrette tutte le quote riportate nella relazione del 2003, riducendole di 1.00 m.

L'aggiornamento dei risultati è stato effettuato considerando validi i dati idrologici allora disponibili e l'approccio metodologico precedentemente utilizzati.

L'analisi idrologica ha comportato la stima delle portate al colmo e degli idrogrammi di piena con tempo di ritorno di 200, 300 e 1000 anni; i valori corrispondenti ai due tempi di ritorno inferiori sono alla base della valutazione della capacità idraulica delle nuove inalveazioni, mentre i valori corrispondenti a 1000 anni hanno costituito l'informazione mediante la quale verificare la sicurezza idrologico-idraulica dei due invasi.

La valutazione degli idrogrammi di assegnato tempo di ritorno è stata condotta ricorrendo a modelli afflussi-deflussi e i parametri identificativi dei modelli sono stati ricavati in base alle caratteristiche geomorfologiche dei bacini idrografici in esame.

Lo studio conferma la sicurezza idrologico-idraulica dei due laghi previsti nel piano di riassetto della rete idrografica, in quanto sono in grado di far fronte a onde di piena affluenti con tempi di ritorno millenari, con un margine di riserva idraulica in termini di franco residuo rispetto alle sponde, valutato in 0.82 m per il Lago Castelnuovo e in 1.01 m per Lago Allori. Le portate al colmo nelle sezioni idrauliche individuate come sezioni di interesse costituiranno infine la necessaria informazione a supporto della progettazione delle opere idrauliche previste dal piano di riassetto e della verifica dell'ufficiosità di alcuni tratti d'alveo.

### **PROGETTAZIONE GENERALE**

Dott. Ing. Luca Dal Canto

### **PROGETTAZIONE SPECIALISTICA**

Dott. Ing. Alberto Bonafè

 GGE/ Italy TS	<b>Relazione Tecnica</b>	<b>PR020RE04IC10</b>	20/06/2016
	Realizzazione emissario Lago Castelnuovo		Pagina 31/48
			<i>Uso Pubblico</i>

## 7. BIBLIOGRAFIA

- [1] Galeati G., "Progetto per il recupero ambientale della miniera di S. Barbara nei Comuni di Cavriglia (AR) e Figline Valdarno (FI) – Relazione Idrologica", Gennaio 2003.
- [2] Bortolotto A., "Centrale di S.Barbara. Indagini idrologiche connesse alla nuova centrale termoelettrica in progetto. Elaborazione dei dati idrometrici relativi ai borri Vacchereccia, S.Cipriano e Cesto rilevati al dicembre 1990", Rapporto ENEL SI-1015/91, dicembre 1992.
- [3] Rossi F., Versace P., "La valutazione della massima portata scaricabile a valle del bacino di Castelnuovo dei Sabbioni a servizio della centrale termoelettrica di S.Barbara (AR)", Salerno, Rapporto tecnico redatto su incarico ENEL S.p.a., Giugno 1993.
- [4] Galeati G., "Centrale termoelettrica di S. Barbara (AR). Analisi su base regionale delle massime portate al colmo e di assegnata durata", Rapporto ENEL SI-1072/92, dicembre 1992.
- [5] Bonafè A., "Diga di S.Cipriano (AR). Studio idrologico dell'invaso", Rapporto ENEL UIR/1319, Gennaio 1999.
- [6] Chow V.T., Maidment D.R., "Applied hydrology", Cap.12, Ed. Mc Graw Hill, 1988.
- [7] Maidment D.R., "Handbook of Hydrology", McGraw-Hill, Inc., 1993
- [8] Lettenmaier D.P., Wallis J.R., Wood E.F., "Effect of regional heterogeneity on flood frequency estimation", Water Resources Research, Vol.23, 1987.
- [9] Rossi F., Fiorentino M., Versace P., "Two component extreme value distribution for flood frequency analysis", Water Resources Research, Vol.20, 1984.
- [10] Fiorentino M., Gabriele S., Rossi F., Versace P., "Hierarchical approach for regional flood frequency analysis", in Regional Flood Frequency Analysis, editore V.P. Singh, Reidel Publishing Company, Dordrech, 1987.
- [11] Brath A., Franchini M., Galeati G., "Valutazione delle piogge intense nell'Italia Centrosettentrionale", L'Acqua Luglio-Agosto 4/1998.
- [12] Ranzi R., Rosso R. "FLEA- Flood Event Analyser. Software per l'analisi di eventi di piena", Politecnico di Milano, Giugno 1997.
- [13] Ghetti G., "Idraulica", Libreria Cortina, Padova, 1987.
- [14] Scimemi R., "Compendio di Idraulica ", CEDAM Casa Editrice, Padova 1964.
- [15] "Progetto di recupero ambientale Miniera Santa Barbara. Realizzazione emissario Lago Castelnuovo." PR020RE03IC10 Relazione idraulica, 2016.
- [16] "Progetto di recupero ambientale Miniera Santa Barbara. Realizzazione emissario Lago Castelnuovo." PR020RE05IC10 Relazione tecnica generale, 201615]
- [17] "Progetto per il recupero ambientale della miniera di Santa Barbara nei comuni di Cavriglia (AR) e Figline Valdarno (FI) allegato n.6 Profili Idraulici – Costruzione dei profili idraulici nei tratti d'alveo dei borri Lanzi, Meleto e Frati conseguenti ad eventi di piena di assegnato tempo di ritorno", Galeati.G 2003

 GGE/ Italy TS	<b>Relazione Tecnica</b>	<b>PR020RE04IC10</b>	20/06/2016
	Realizzazione emissario Lago Castelnuovo		Pagina 32/48
			Uso Pubblico

## 8. ALLEGATI

### Allegato 1 - Figure della Relazione

- Figura. 1 *Comprensorio minerario S. Barbara: Assetto idrografico esistente al 2003*
- Figura. 2 *Comprensorio minerario S. Barbara: nuovo assetto idrografico previsto nel progetto di sistemazione della rete drenante esistente*
- Figura. 3 *Comprensorio minerario S. Barbara: ubicazione delle 16 sezioni idrografiche*
- Figura. 4 *Ubicazione delle stazioni idrometeorologiche dei Borri Cesto a Gavile e Cervia a Vacchereccia*
- Figura. 5 *Suddivisione dell'area di studio in unità idrografiche per il calcolo delle portate di piena per assegnato tempo di ritorno*

### Allegato 2 - Tabelle dei dati disponibili per lo studio idrologico

- Tabella. 1 *Portate medie giornaliere massime annue (m<sup>3</sup>/s) ricavate mediante equazione di bilancio all'invaso di S. Cipriano*
- Tabella. 2 *Massime piogge orarie (mm) rilevate alle stazioni pluviografiche utilizzate nello studio.*
- Tabella. 3 *Massime piogge orarie (mm) rilevate alle stazioni pluviografiche utilizzate nello studio.*
- Tabella. 4 *Massime piogge orarie (mm) rilevate alle stazioni pluviografiche utilizzate nello studio.*

### Allegato 3 - Tabelle dei parametri morfometrici delle unità idrografiche del comprensorio minerario

- Tabella. 1 *Parametri morfometrici delle unità idrografiche afferenti all'invaso di Lago di Castelnuovo.*
- Tabella. 2 *Parametri morfometrici delle unità idrografiche afferenti all'invaso di Lago di Allori.*
- Tabella. 3 *Parametri morfometrici delle unità idrografiche del Borro Frati.*

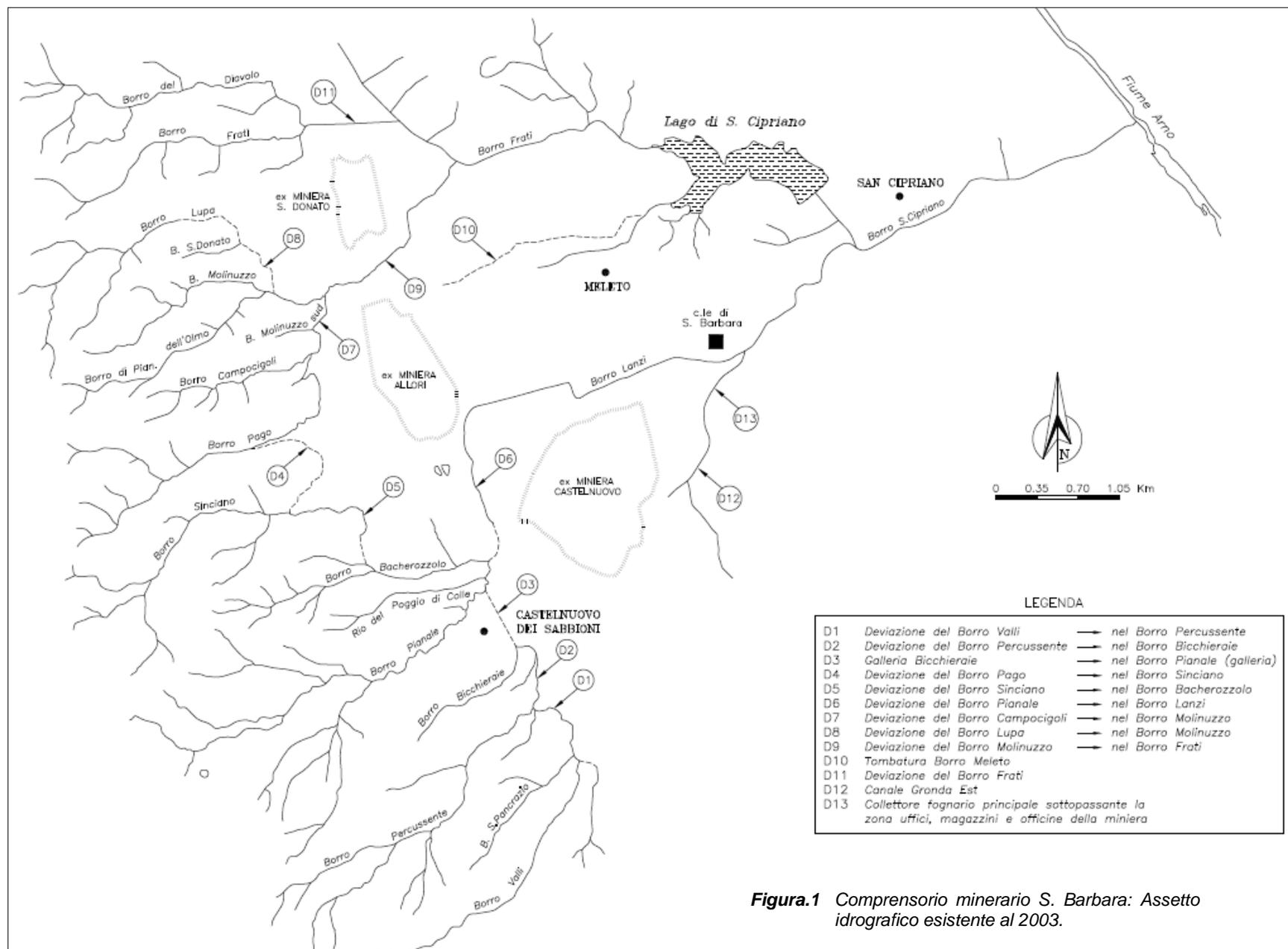
### Allegato 4 - Calcolo delle scale di deflusso di Lago Castelnuovo e Lago Allori

### Allegato 5 - Tabelle dei dati caratteristici di Lago Castelnuovo e Lago Allori

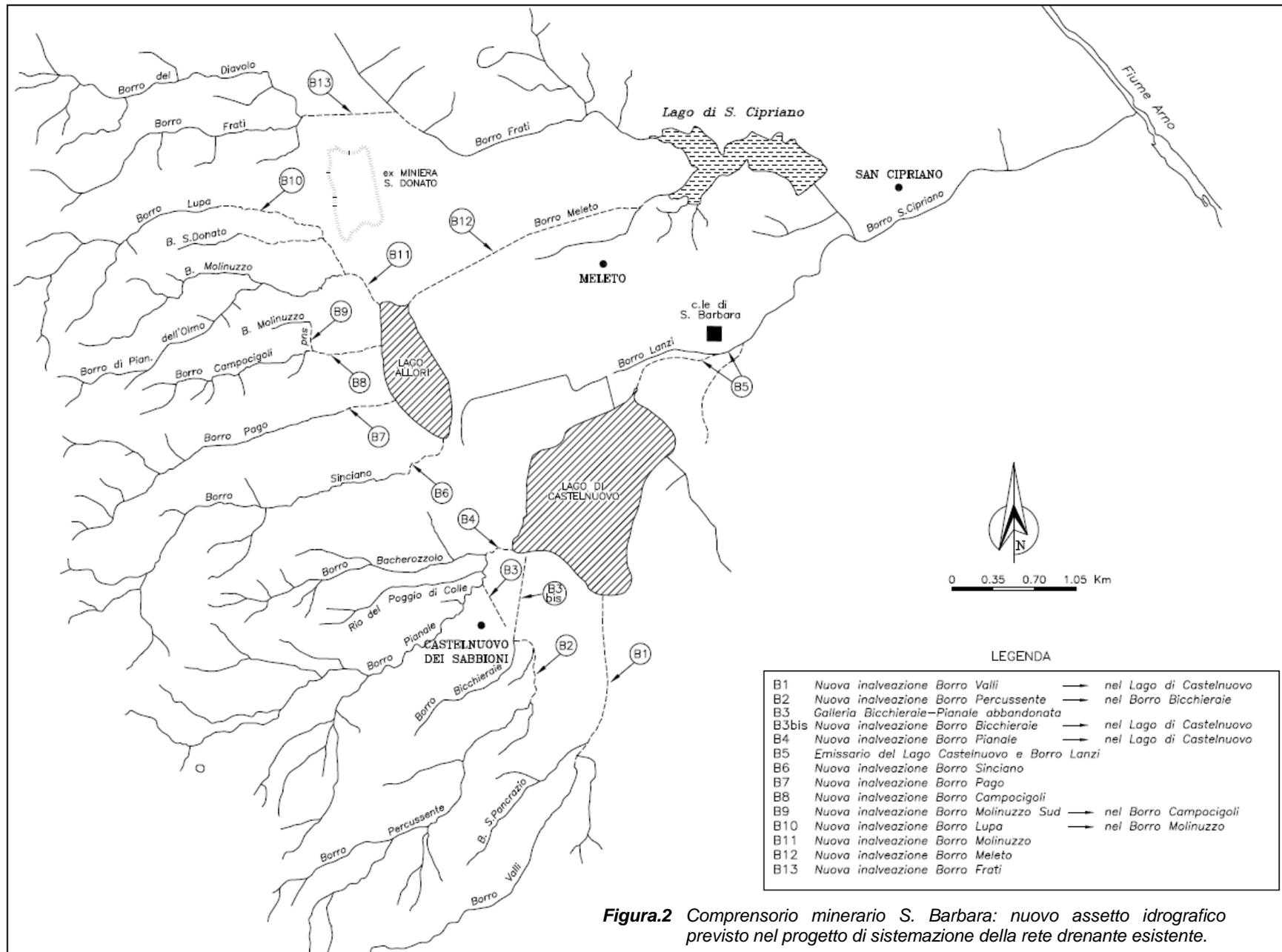
- Tabella. 1 *Dati caratteristici del Lago di Castelnuovo.*
- Tabella. 2 *Curva di invaso del Lago di Castelnuovo*
- Tabella. 3 *Scala di deflusso sulla soglia fissa del Lago Castelnuovo.*
- Tabella. 4 *Dati caratteristici del Lago di Allori*
- Tabella. 5 *Curva di invaso del Lago Allori*
- Tabella. 6 *Scala di deflusso sulla soglia fissa del Lago Allori.*

### Allegato 6 - Portata al colmo con T=1000 anni stimata a S. Cipriano

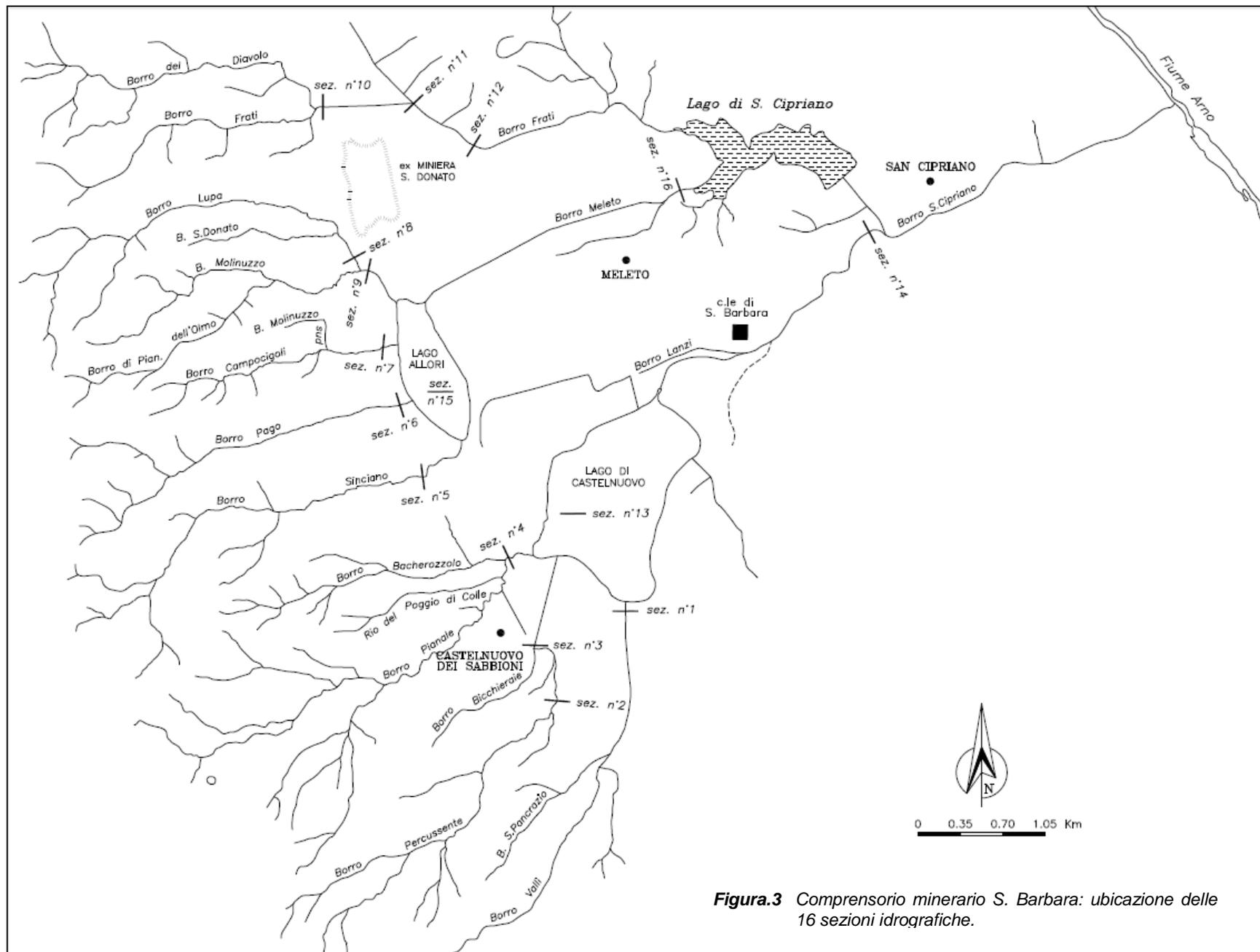
## 8.1. Allegato 1 – Figure della relazione



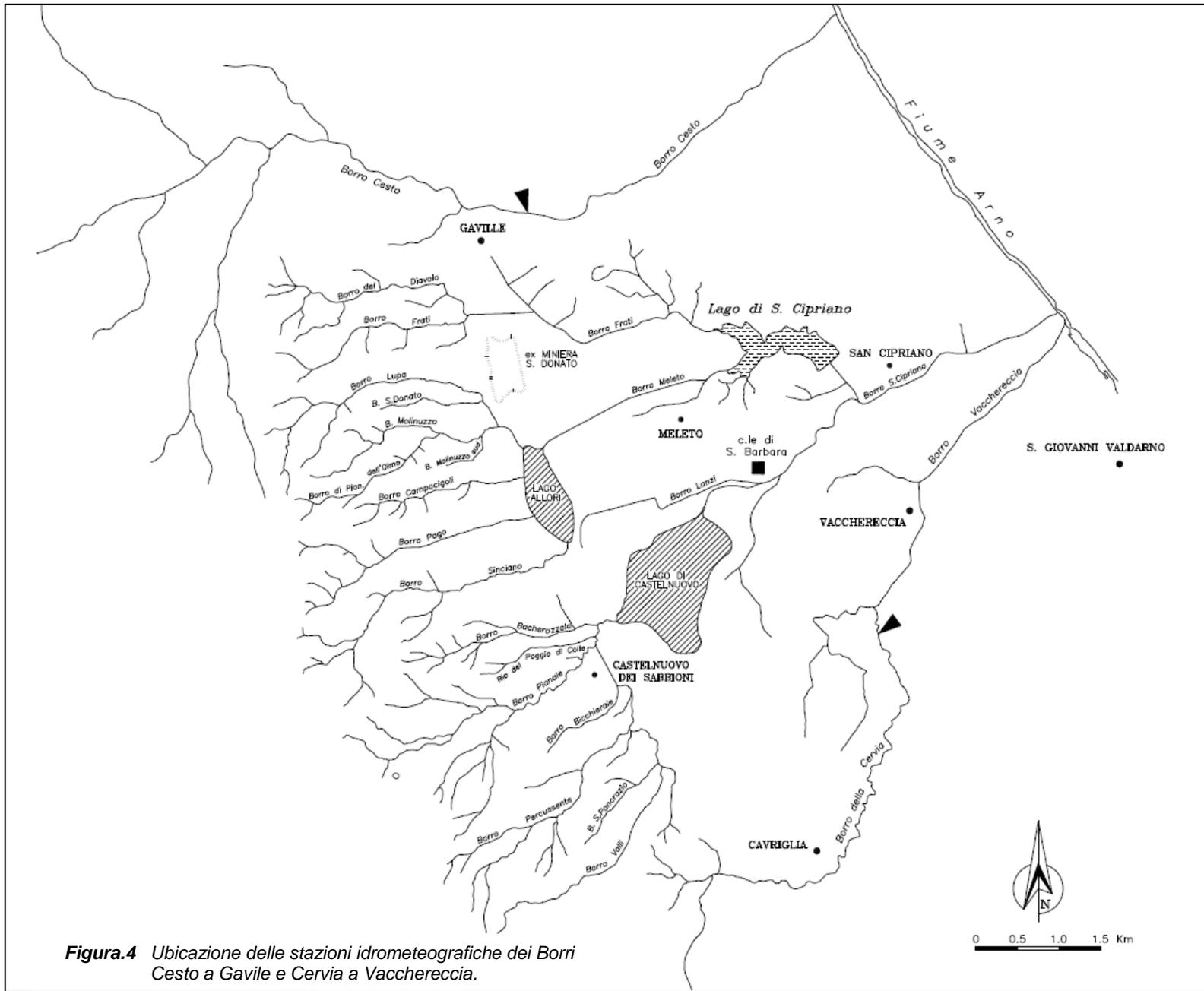
**Figura.1** Comprensorio minerario S. Barbara: Assetto idrografico esistente al 2003.



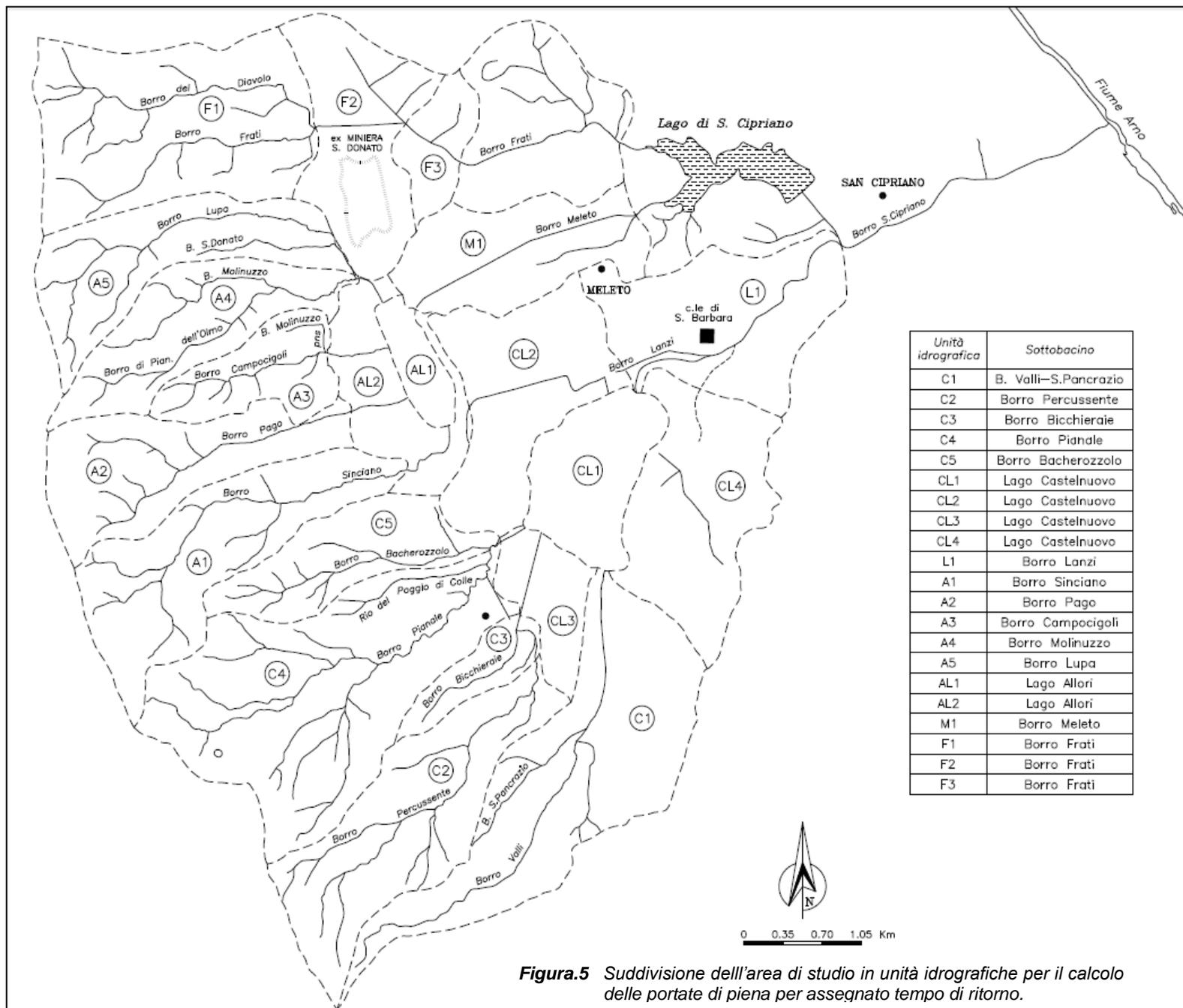
**Figura.2** Comprensorio minerario S. Barbara: nuovo assetto idrografico previsto nel progetto di sistemazione della rete drenante esistente.



**Figura.3** Comprensorio minerario S. Barbara: ubicazione delle 16 sezioni idrografiche.



**Figura.4** Ubicazione delle stazioni idrometeorografiche dei Borri Cesto a Gaville e Cervia a Vacchereccia.



**Figura.5** Suddivisione dell'area di studio in unità idrografiche per il calcolo delle portate di piena per assegnato tempo di ritorno.

 GGE/ Italy TS	Relazione Tecnica	PR020RE04IC10	20/06/2016
	Realizzazione emissario Lago Castelnuovo		Pagina 38/48
			Usa Pubblico

## 8.2. Allegato 2 –Tabelle dei dati disponibili per lo studio idrologico

**Tabella.1** Massime portate medie giornaliere annue ( $m^3/s$ ) ricavate mediante equazione di bilancio all'invaso di S. Cipriano.

Anno	Portata ( $m^3/s$ )
1966	20.0 <sup>*</sup> 27.8 <sup>**</sup> 97.8 <sup>***</sup>
1970	8.4
1971	0.6
1972	1.4
1973	1.7
1974	4.2
1975	2.3
1976	3.6
1977	9.8
1978	6.9
1979	8.0
1980	10.3
1981	8.5
1982	4.4
1983	9.7
1984	9.9
1985	6.1
1986	4.3
1987	6.8
1988	2.4
1989	1.8
1990	4.9
1991	6.8
1992	8.4
1993	14.9
1994	2.8
1995	3.7
1996	4.3
1997	3.4
1998	1.8
<b>Numero dati: 30</b>	
<b>Valore medio: 6.1 <math>m^3/s</math></b>	

- (\*) Il valore è riferito alla portata media fra le ore 8.00 del 3 Nov. e le 8.00 del giorno successivo  
(\*\*) Valore massimo di portata media di durata 24 ore  
(\*\*\*) Valore al colmo

 GGE/ Italy TS	Relazione Tecnica	PR020RE04IC10	20/06/2016
	Realizzazione emissario Lago Castelnuovo		Pagina 39/48
			Usa Pubblico

**Tabella.2** Massime piogge orarie (mm) rilevate alle stazioni pluviografiche utilizzate nello studio.

Stazione H (m s.l.m.) Durata (ore)	Montevarchi 163					S.G. Valdarno 132					Renacci (Fattoria) 223				
	1	3	6	12	24	1	3	6	12	24	1	3	6	12	24
	1928	33.4	33.8	39.8	63.0	80.2									
1929	19.2	30.4	30.8	47.8	73.2										
1930															
1931	16.0	24.0	31.2	39.4	53.4										
1932															
1933	38.2	45.6	51.0	59.8	64.5										
1934	41.8	61.5	70.3	80.6	90.6										
1935	63.2	74.4	87.2	103.4	129.8										
1936	18.0	24.2	30.0	43.4	58.0										
1937	23.2	32.8	36.2	61.0	67.3										
1938	33.2	51.8	51.8	52.0	52.0										
1939	17.6	26.0	32.0	33.6	38.4										
1940	19.2	36.2	37.2	37.4	51.0										
1941	23.0	30.6	37.4	44.4	55.2										
1942	27.0	35.8	11.6	55.0	58.6										
1943	20.0	32.4	33.2	33.2	48.6										
1944															
1945	6.4	9.0	10.2	13.4	13.4										
1946															
1947	21.2	27.0	39.0	54.2	69.4										
1948	26.0	32.0	32.0	40.0	46.6						40.0	52.8	52.8	71.6	73.8
1949	20.0	26.0	27.9	40.6	46.6						31.0	41.0	44.8	62.4	70.4
1950	22.8	30.0	38.4	41.8	41.8						15.0	31.2	40.0	43.4	43.4
1951	20.4	33.0	53.2	53.6	53.6						18.0	31.6	47.4	47.6	47.6
1952	17.0	23.0	24.2	28.0	29.0						12.0	24.0	28.6	31.4	31.4
1953	40.0	52.6	53.0	53.0	55.0						30.2	30.2	30.2	34.8	38.4
1954	23.0	32.6	32.6	32.6	38.6						27.0	45.2	45.2	45.2	45.2
1955	20.0	33.8	36.2	36.4	50.0						22.4	28.0	34.2	37.4	41.2
1956	12.0	20.0	33.6	45.6	55.0						12.0	20.0	31.6	36.6	52.4
1957	23.4	25.0	31.8	39.6	43.2						15.0	21.0	26.6	36.0	36.6
1958	17.6	25.0	33.6	51.0	72.0						18.4	20.0	28.0	50.6	57.0
1959	21.2	33.8	35.6	38.0	53.0										
1960	28.0	29.6	47.0	47.0	47.4										
1961	17.0	32.0	45.2	53.6	65.2										
1962															
1963											20.2	24.6	42.8	50.8	60.0
1964											35.0	76.4	102.4	106.4	109.6
1965											80.0	143.0	145.2	145.2	145.6
1966											36.0	74.0	102.0	155.0	227.0
1967											16.0	26.4	33.6	40.0	43.8
1968											21.6	28.2	38.0	38.4	38.4
1969											33.0	60.0	75.4	86.0	89.8
1970											19.0	22.6	23.2	26.4	30.6
1971						20.4	24.6	28.6	28.8	31.6	16.2	22.6	32.8	33.0	36.0
1972						14.4	14.4	16.8	23.8	40.2	18.4	20.0	24.8	31.6	47.8
1973						40.6	54.0	56.8	57.0	59.4	41.2	53.0	55.8	56.0	56.0
1974						17.0	26.0	26.0	31.2	46.6	18.8	26.4	34.8	44.8	57.4
1975						17.8	25.4	27.2	38.2	49.8	22.0	27.0	36.0	44.0	51.4
1976	20.0	31.6	33.2	39.0	59.0	19.6	22.6	32.0	47.8	64.8	23.2	33.0	40.8	50.8	64.8
1977	20.0	31.8	36.2	36.2	36.2	32.8	32.8	32.8	33.0	33.0	19.0	21.6	29.0	33.2	33.2
1978	19.6	26.6	27.4	42.6	49.0	20.0	24.6	24.6	35.8	42.2	13.6	18.8	24.0	38.8	44.4
1979	16.2	24.2	33.8	41.0	43.2	18.2	31.8	47.8	56.6	58.8	18.8	34.0	46.2	54.4	54.8
1980	21.2	40.8	68.4	90.4	96.0	19.6	29.8	44.8	65.8	71.2	20.0	38.8	43.6	54.4	61.6
1981	23.4	32.0	46.8	60.2	74.6	34.0	40.8	52.8	55.6	68.0	30.4	37.2	51.2	54.2	66.4
1982	21.4	22.0	30.0	50.4	54.4	37.8	39.6	39.6	49.6	52.6	22.0	39.0	39.0	40.0	51.4
1983	19.6	29.4	30.0	44.2	60.6	28.6	39.6	40.2	42.2	62.0	17.4	22.0	26.2	36.2	52.6
1984	21.2	35.0	54.0	79.2	79.4	30.0	40.8	43.0	43.0	46.8	22.4	31.2	31.2	31.4	33.6
1985	19.0	30.0	40.4	46.6	70.0	23.0	24.8	27.6	40.4	64.4	12.0	17.2	18.6	33.0	53.0
1986	10.2	22.4	25.2	36.4	55.0						19.8	25.0	29.8	41.2	58.6
1987	22.6	33.2	33.2	46.2	60.6	26.2	36.0	42.2	58.4	77.8	24.6	39.2	39.2	62.4	77.0
1988	6.4	16.4	20.0	20.6	28.6	17.8	26.4	26.4	46.2	47.8	13.4	18.6	18.8	35.0	35.7
1989	10.8	16.0	17.0	27.4	28.2	28.7	40.2	43.4	59.7	64.8	30.3	35.2	45.9	57.1	61.2
1990	20.4	28.0	31.4	42.8	52.4	6.6	15.6	25.8	42.0	54.4					
1991	13.2	32.2	50.0	72.0	75.2	21.8	23.8	32.0	44.6	64.8					
1992	33.6	44.4	67.8	71.0	104.6	29.0	44.7	56.6	77.8	119.2	33.2	47.4	56.6	96.0	124.0
N° dati	47	47	47	47	47	21	21	21	21	21	39	39	39	39	39
Media	22.3	31.9	38.3	48.3	58.0	24.0	31.3	36.5	46.5	58.1	24.1	36.1	43.5	53.1	61.6
Max	63.2	74.4	87.2	103.4	129.8	40.6	54.0	56.8	77.8	119.2	80.0	143.0	145.2	155.0	227.0

 GGE/ Italy TS	Relazione Tecnica	PR020RE04IC10	20/06/2016
	Realizzazione emissario Lago Castelnuovo		Pagina 40/48
			Usa Pubblico

**Tabella.3** Massime piogge orarie (mm) rilevate alle stazioni pluviografiche utilizzate nello studio.

Stazione H (m s.l.m.) Durata (ore)	Serraglio 118					Vallombrosa 955					Ferrone 149				
	1	3	6	12	24	1	3	6	12	24	1	3	6	12	24
1928															
1929															
1930						36.7	53.0	53.0	54.5	56.0					
1931						19.6	23.6	30.0	43.4	56.4					
1932						36.2	36.4	42.6	45.4	64.6					
1933															
1934						38.0	68.0	71.0	120.2	146.6					
1935						39.4	62.8	78.0	108.0	144.0					
1936						33.4	53.2	53.4	87.0	120.0					
1937						29.6	40.6	40.6	43.4	71.4					
1938						36.0	41.6	41.6	41.6	50.6					
1939															
1940	39.0	51.0	52.4	52.4	53.8	18.0	45.0	50.4	50.6	54.4					
1941	28.0	28.0	39.0	55.8	74.0	20.0	27.0	37.0	52.8	66.4					
1942						20.0	34.0	46.8	58.6	58.8					
1943	21.0	30.8	35.0	56.2	63.0	22.6	38.0	49.0	77.0	77.6					
1944															
1945	11.2	12.4	13.2	13.2	25.4										
1946						35.0	41.2	56.2	84.2	87.6					
1947	17.0	20.2	26.2	30.2	40.8	22.4	38.8	52.0	65.6	77.6					
1948	41.0	48.4	49.0	64.4	66.6	51.6	78.0	79.0	97.0	110.2					
1949	21.6	39.6	62.6	72.4	82.8	25.8	45.4	68.2	103.2	156.2					
1950	54.0	61.0	61.0	76.4	82.4	40.0	44.0	53.6	58.2	91.0					
1951	29.6	35.4	52.0	71.0	71.0	28.2	50.0	66.8	88.4	90.4	28.0	38.0	53.0	81.2	83.0
1952	17.0	19.8	19.8	22.4	26.0	37.4	47.2	51.2	59.2	63.8	23.6	25.8	28.2	31.0	33.4
1953	24.0	44.8	44.8	44.8	48.6	40.0	43.0	44.6	61.4	87.0	25.0	30.2	35.0	40.4	44.2
1954	24.0	48.0	50.6	50.6	53.6	25.0	57.8	59.6	67.0	84.2	29.6	38.8	39.0	39.0	39.8
1955	22.0	32.4	50.0	60.0	79.8	26.2	30.8	42.0	61.4	81.4	19.0	29.0	31.2	37.8	53.6
1956	12.0	26.2	28.8	33.6	44.8	28.0	36.0	42.4	52.0	64.0	13.0	24.0	28.6	32.2	44.0
1957	14.2	22.2	22.2	29.8	31.6	22.0	26.2	26.8	35.6	42.2	15.6	22.0	25.4	31.8	34.8
1958	20.0	30.0	37.0	54.0	59.2	35.0	40.0	40.2	58.6	69.8	14.0	20.0	37.4	50.8	56.8
1959	40.0	66.2	66.4	70.0	76.2	54.0	91.2	115.0	115.4	133.8	21.4	21.6	40.8	43.0	43.4
1960	24.0	40.8	60.2	63.8	82.6	33.0	44.4	58.2	63.6	73.4	22.0	32.2	55.6	70.2	70.2
1961						30.0	35.8	43.2	77.8	117.4	24.2	34.0	35.2	39.6	39.8
1962						13.0	29.4	31.8	40.6	54.8	15.2	15.2	23.0	24.0	28.2
1963						28.6	32.0	43.0	49.0	58.4	48.6	48.6	49.8	49.8	49.8
1964						34.0	70.0	94.4	103.2	107.0	40.0	45.0	46.2	46.2	71.2
1965						28.0	44.6	51.0	61.0	66.8					
1966						32.6	55.0	81.4	120.0	203.0	24.0	32.0	49.0	97.0	176.4
1967						36.0	50.8	64.0	67.4	84.0	27.0	36.0	46.4	54.0	67.6
1968						36.0	36.2	36.2	38.2	56.0	26.0	39.0	40.0	40.0	42.0
1969						41.6	86.6	95.8	112.6	123.2	26.0	40.4	50.8	58.0	65.4
1970						16.8	22.0	25.0	27.0	53.0	17.4	35.4	40.6	40.6	55.2
1971						19.0	22.6	24.2	32.6	36.0	15.0	16.8	21.2	34.2	36.4
1972						20.2	21.2	28.0	29.4	46.6	18.4	23.0	26.2	27.8	35.4
1973						32.4	44.2	47.8	51.2	82.8	40.6	45.8	60.2	74.6	78.2
1974						20.8	23.2	26.2	40.0	61.2	20.6	37.8	39.6	45.8	46.0
1975						14.0	22.8	36.0	47.2	60.6	20.0	27.0	42.8	51.8	54.0
1976						18.8	34.8	37.4	50.4	63.0	65.0	110.0	110.0	110.0	110.0
1977						18.6	26.4	28.4	37.0	39.0	14.0	28.0	28.0	33.0	36.8
1978						18.2	36.2	42.8	47.6	53.8	32.4	56.2	56.2	77.8	84.2
1979						22.2	28.8	32.8	44.2	52.6	24.2	36.0	37.0	39.6	47.4
1980						27.6	38.4	66.0	88.8	105.6	24.0	25.6	28.2	34.0	49.6
1981						37.2	93.2	114.2	121.2	122.2	19.8	29.0	49.8	61.8	74.2
1982						29.8	34.0	50.0	80.0	84.8	19.6	23.0	28.8	46.0	48.0
1983						38.0	50.0	57.8	61.6	66.6	17.2	20.0	30.0	44.8	47.2
1984						21.0	32.8	36.2	47.8	70.4	14.0	25.0	29.0	30.6	42.2
1985						19.8	28.2	28.2	34.0	42.4	37.0	37.6	37.6	42.8	42.8
1986						21.8	30.2	33.0	39.6	50.8	28.0	39.2	51.4	60.6	61.4
1987						18.2	30.8	39.8	58.8	91.6	23.6	53.6	58.8	58.8	83.8
1988						52.0	57.6	57.6	57.6	58.0	17.2	25.2	25.2	25.6	25.8
1989						45.4	61.3	70.9	87.9	95.2	23.7	29.4	45.9	68.8	70.8
1990						35.2	39.0	51.6	51.8	72.0	14.4	28.4	30.2	42.4	47.9
1991						40.4	42.2	45.6	60.2	74.4					
1992						39.1	68.5	96.1	110.4	122.2	34.8	55.0	74.4	88.2	96.0
N° dati	18	18	18	18	18	59	59	59	59	59	40	40	40	40	40
Media	25.5	36.5	42.8	51.2	59.0	29.8	43.5	52.0	64.9	80.6	24.6	34.5	41.6	50.1	57.9
Max	54.0	66.2	66.4	76.4	82.8	54.0	93.2	115.0	121.2	203.0	65.0	110.0	110.0	110.0	176.4

 GGE/ Italy TS	<b>Relazione Tecnica</b>	<b>PR020RE04ICIO</b>	20/06/2016
	Realizzazione emissario Lago Castelnuovo		Pagina 41/48
			Usa Pubblico

**Tabella.4** Massime piogge orarie (mm) rilevate alle stazioni pluviografiche utilizzate nello studio.

Stazione H (m s.l.m.) Durata (ore)	Antella 170					Poggio al Vento 300				
	1	3	6	12	24	1	3	6	12	24
1936	82.0	86.6	86.6	92.4	132.4					
1937	21.8	34.0	50.2	73.8	101.0					
1938										
1939										
1940	27.0	37.0	53.8	70.2	76.2					
1941	26.0	32.0	33.4	36.4	49.6					
1942	18.0	35.6	43.8	60.2	60.6					
1943										
1944										
1945										
1946										
1947										
1948										
1949										
1950	20.8	28.6	36.8	50.2	59.0					
1951	32.0	51.0	65.0	93.4	94.4					
1952	28.2	28.8	29.4	36.2	42.0					
1953	28.0	64.0	70.4	71.0	71.0					
1954	35.0	35.0	35.0	38.8	63.0					
1955	22.0	37.6	40.4	55.6	66.2					
1956	16.6	23.0	29.4	34.4	49.0					
1957										
1958	20.0	55.0	62.6	62.8	62.8					
1959	20.8	31.4	31.4	38.8	39.8					
1960	45.0	92.0	107.0	117.8	117.8					
1961	40.0	46.4	48.2	48.2	66.8					
1962	13.6	16.8	25.0	33.8	40.4					
1963	35.2	42.0	42.4	48.6	50.0					
1964	30.0	62.4	62.8	62.8	79.2	41.0	81.0	107.0	119.0	125.0
1965	20.0	38.8	41.6	46.0	51.4	93.5	145.0	152.0	152.0	152.0
1966	29.0	42.4	51.6	99.8	164.8	33.0	74.0	102.0	163.0	227.0
1967	25.0	27.6	53.8	61.0	81.0	14.0	20.0	29.0	33.5	37.0
1968	40.4	46.8	60.4	60.4	60.4	24.5	31.0	40.0	40.0	44.5
1969	39.6	47.6	60.6	68.6	74.8	29.0	38.0	55.0	69.5	75.5
1970	21.4	31.8	31.8	31.8	55.0	16.3	18.3	23.0	34.2	35.4
1971	15.0	23.6	31.0	46.0	47.4	15.1	22.8	28.0	28.2	31.3
1972	22.4	28.4	29.2	30.2	40.4	17.5	28.0	28.0	33.3	38.0
1973	38.6	50.6	53.4	77.4	92.2	15.0	23.2	30.0	35.0	45.6
1974	17.0	27.0	32.2	39.4	39.4	17.5	23.5	25.9	39.0	49.3
1975	23.0	24.4	35.0	46.8	50.0	18.7	19.8	30.5	43.3	48.6
1976	30.6	32.6	33.0	41.8	47.6	25.0	32.0	34.0	43.0	61.4
1977	22.0	22.0	22.0	27.6	28.0	13.7	17.0	28.4	29.5	31.8
1978	19.4	33.0	50.6	59.2	66.6	23.0	28.5	30.0	41.0	58.0
1979	27.2	29.8	40.6	61.6	61.8	21.8	57.0	73.0	78.8	83.0
1980	38.2	60.8	74.0	95.0	98.8	32.0	47.0	56.8	69.0	76.4
1981	17.6	33.0	41.8	54.2	68.9	21.0	41.2	53.0	60.0	70.0
1982	24.2	26.0	34.6	47.6	49.8	50.0	92.5	93.1	93.1	93.1
1983	18.0	23.2	29.0	50.0	60.4	31.8	39.0	43.2	52.3	62.0
1984	25.8	28.2	30.4	34.8	43.8	21.0	33.0	36.5	37.2	42.8
1985	39.0	39.0	39.2	43.0	43.2	19.0	22.3	24.4	33.0	54.0
1986	16.8	35.2	56.8	60.6	82.4	22.0	37.0	41.2	47.0	60.3
1987	31.6	43.6	44.6	48.6	69.2	25.0	37.5	48.3	71.5	96.2
1988	24.8	52.8	53.2	53.2	53.2	14.5	28.5	32.7	32.7	34.7
1989	33.2	58.2	58.2	59.2	61.1	28.5	40.0	40.0	43.5	55.5
1990	26.0	50.6	61.4	61.4	68.2		56.4	59.2	59.2	72.2
1991	18.8	38.8	68.0	72.2	81.8	25.0	26.0	40.0	63.0	86.6
1992	18.0	37.8	45.8	60.0	66.4	25.0	35.0	54.0	77.3	107.4
1993						35.6	73.1	102.0	106.4	106.4
1994						48.6	50.0	50.4	50.4	50.4
1995						20.6	21.4	21.4	30.5	30.5
1996						30.2	33.1	40.2	40.4	42.3
1997						29.6	51.0	51.0	51.0	52.6
1998						22.8	24.8	35.0	36.4	38.2
N° dati	47	47	47	47	47	34	35	35	35	35
Media	27.3	39.8	47.2	56.7	66.6	27.1	41.4	49.7	58.2	67.9
Max	82.0	92.0	107.0	117.8	164.8	93.5	145.0	152.0	163.0	227.0

 GGE/ Italy TS	Relazione Tecnica	PR020RE04IC10	20/06/2016
	Realizzazione emissario Lago Castelnuovo		Pagina 42/48
			Uso Pubblico

### 8.3. Allegato 3 – Tabelle dei parametri morfometrici delle unità idrografiche

**Tabella.1** Parametri morfometrici delle unità idrografiche afferenti all'invaso di Lago di Castelnuovo.

Unità Idrografica	Sottobacino	Note	S (km <sup>2</sup> )	Hmax (m s.l.m.)	Hmed (m s.l.m.)	Ho (m s.l.m.)	L (km)	s (%)	t <sub>r</sub> (ore)
C1	Borro Valli+S.Pancrazio	Bacino del borro Valli+S.Pancrazio chiuso a monte dell'immissione nel lago di Castelnuovo	4.21	810	200	146	4.7	13.9	1.4
C2	Borro Percussente	Bacino drenato dal borro Percussente sino alla confluenza con il borro Bicchierate	2.71	810	513	251	3.5	15.1	1.2
C3	Borro Bicchieraie	Bacino drenato dal borro Bicchieraie sino alla confluenza con il borro Percussente	0.63	499	329	218	1.4	14.2	0.9
C4	Borro Pianale	Bacino drenato dal borro Pianale a monte della confluenza con il borro Bacherozzolo	4.37	779	493	190	4.2	12.1	1.4
C5	Borro Bacherozzolo	Bacino drenato dal borro Bacherozzolo sino alla confluenza con il borro Pianale	1.41	669	376	193	2.5	16.2	1.1
CL1	Lago Castelnuovo	Superficie propria del lago alla quota di massima ritenuta	1.35	146	146	146	-	-	-
CL2	Lago Castelnuovo	Superficie circumlacuale Nord e Ovest L. di Castelnuovo. L rappresenta la lunghezza media del versante	2.16	235	184	146	1	6.3	0.9
CL3	Lago Castelnuovo	Superficie circumlacuale Sud-Ovest L.di Castelnuovo. L rappresenta la lunghezza media del versante	0.48	269	185	146	0.6	20.5	0.6
CL4	Lago Castelnuovo	Superficie circumlacuale Sud e Sud-Est L. di Castelnuovo. L rappresenta la lunghezza media del versante	2.13	308	198	146	1.2	7.8	0.9
L1	Borro Lanzi	Bacino direttamente drenato dal borro Lanzi sino alla confluenza con il borro S.Cipriano	2.34	238	174	135	2.8	2.3	1.6

 GGE/ Italy TS	Relazione Tecnica	PR020RE04ICIO	20/06/2016
	Realizzazione emissario Lago Castelnuovo		Pagina 43/48
			Uso Pubblico

**Tabella.2** Parametri morfometrici delle unità idrografiche afferenti all'invaso di Lago di Allori.

Unità Idrografica	Sottobacino	Note	S (km <sup>2</sup> )	Hmax (m s.l.m.)	Hmed (m s.l.m.)	Ho (m s.l.m.)	L (km)	s (%)	t <sub>r</sub> (ore)
A1	Borro Sinciano	Bacino drenato dal borro Sinciano	2.63	754	545	224	3.6	13.2	1.3
A2	Borro Pago	Bacino drenato dal borro Pago	2.01	753	566	269	2.7	15.9	1.1
A3	Borro Campocigoli	Bacino drenato dal borro Campocigoli a valle della confluenza con il borro Molinuzzo Sud	1	599	401	289	1.6	16.9	0.9
A4	Borro Molinuzzo	Bacino drenato dal borro Molinuzzo a monte della confluenza con il borro Lupa	1.87	747	455	214	2.9	16.7	1.1
A5	Borro Lupa	Bacino drenato dal borro Lupa a valle della confluenza con il borro S.Donato	2.09	724	446	214	3.9	12.7	1.3
AL1	Lago Allori	Superficie propria del lago alla quota di massima ritenuta	0.41	182	182	182	-	-	-
AL2	Lago Allori	Superficie circumlacuale del Lago Allori. L rappresenta la lunghezza media del versante non esistendo un corso d'acqua chiaramente delineabile	1.2	299	20	182	0.5	13.4	0.6
M1	Borro Meleto	Bacino direttamente drenato dal borro Meleto sino alla confluenza con il lago di S.Cipriano	1.75	235	179	150	2.5	2.4	1.5

 GGE/ Italy TS	Relazione Tecnica	PR020RE04ICIO	20/06/2016
	Realizzazione emissario Lago Castelnuovo		Pagina 44/48
			Uso Pubblico

**Tabella.3** Parametri morfometrici delle unità idrografiche del Borro Frati.

Unità Idrografica	Sottobacino	Note	S (km <sup>2</sup> )	Hmax (m s.l.m.)	Hmed (m s.l.m.)	Ho (m s.l.m.)	L (km)	s (%)	t <sub>r</sub> (ore)
F1	Borro Frati	Bacino drenato dal borro Frati a valle della confluenza con il borro del Diavolo	3.38	624	379	197	2.5	16.1	1.1
F2	Borro Frati	Bacino drenato dal borro Frati all'immissione della discarica S.Donato	5.28	624	321	171	3.2	13.2	1.3
F3	Borro Frati	Bacino drenato dal borro Frati al termine della deviazione ENEL	5.89	624	307	160	3.9	11.4	1.4

 GGE/ Italy TS	Relazione Tecnica	PR020RE04IC10	20/06/2016
	Realizzazione emissario Lago Castelnuovo		Pagina 45/48
			Uso Pubblico

#### 8.4. Allegato 4 – Calcolo delle scale di deflusso delle soglie degli emissari dei laghi Allori e Castelnuovo

Per valutare correttamente il fenomeno laminativo delle onde di piena entranti nei due laghi presenti e calcolare le portate esitate dai relativi emissari, si sono dovute costruire le scale di deflusso delle soglie fisse degli emissari previsti in progetto, di forma trapezia per entrambi gli invasi, con una lunghezza di 6.0 m posta a quota 146.0 m s.l.m. per il Lago di Castelnuovo e con una lunghezza di 2.0 m, posta a quota 182.0 m s.l.m. per il Lago Allori.

La scala di deflusso è stata ottenuta prendendo in riferimento i modelli idraulici numerici definiti nelle relative relazioni idrauliche. Per il Lago Castelnuovo si prende a riferimento il modello descritto nella relazione [15] facente parte del progetto esecutivo del canale emissario, mentre per il Lago Allori si fa riferimento alla relazione idraulica allegata al progetto definitivo presentato nel 2004 [17]

Sono stati quindi valutati i profili di rigurgito dei due emissari per una serie di portate crescenti e si è applicata la seguente formula al tirante d'acqua che si instaura in corrispondenza della soglia (y).

$$H(q) = y + q \cdot \text{soglia} + (\alpha + k) \cdot v^2 / 2g \quad (1)$$

H(q) (m s.l.m.) rappresenta il valore i-esimo della scala di deflusso, ovvero il livello che si instaura nel lago in funzione della portata transitante nell'emissario, ed è dato dalla somma del tirante d'acqua y (m), dalla quota assoluta della soglia, e dal termine cinetico che tiene conto della velocità media v (m/s) sulla soglia e delle perdite di carico all'imbocco.  $\alpha$  (adimensionale) è il coefficiente di ragguaglio dell'energia cinetica e k (adimensionale) il coefficiente relativo alla perdita di carico localizzata d'imbocco; secondo quanto suggerito da [13,14] si è assunto  $\alpha=1$  e  $k=0.1$ .

I risultati sono riportati nelle Tabelle 3 – 6 dell'Allegato 5

 GGE/ Italy TS	<b>Relazione Tecnica</b>	<b>PR020RE04IC10</b>	20/06/2016
	Realizzazione emissario Lago Castelnuovo		Pagina 46/48
			Usa Pubblico

## 8.5. Allegato 5 - Tabelle dei dati caratteristici di Lago Castelnuovo e Lago Allori

**Tabella.1** Dati caratteristici del Lago di Castelnuovo.

Superficie bacino imbrifero [km <sup>2</sup> ]	19.45
Quota di sommità delle sponde del Lago [m s.l.m.]	149.2
Quota della soglia all'imbocco dell'emissario [m s.l.m.]	146.0

**Tabella.2** Curva di invaso del Lago di Castelnuovo al di sopra della soglia dell'emissario.

Quota livello [m s.l.m.]	Volume [10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ]
146.00	0
146.25	0.323
146.50	0.649
146.75	0.979
147.00	1.312
147.25	1.648
147.50	1.988
147.75	2.331
148.00	2.677
148.25	3.026
148.50	3.379
148.75	3.735

**Tabella.3** Scala di deflusso sulla soglia fissa dell'emissario del Lago Castelnuovo.

Quota livello [m s.l.m.]	Q [m <sup>3</sup> ]
146.00	0.00
146.28	1.00
146.49	3.00
146.64	5.00
146.82	8.00
146.93	10.00
147.19	15.00
147.41	20.00
147.61	25.00
147.78	30.00
147.94	35.00
148.09	40.00
148.22	45.00
148.35	50.00
148.49	55.00
148.61	60.00
148.88	70.00
149.11	80.00

 GGE/ Italy TS	Relazione Tecnica	PR020RE04IC10	20/06/2016
	Realizzazione emissario Lago Castelnuovo		Pagina 47/48
			Uso Pubblico

**Tabella.4** Dati caratteristici del Lago di Allori.

Superficie bacino imbrifero [km <sup>2</sup> ]	11.21
Quota di sommità delle sponde del Lago [m s.l.m.]	186.20
Quota della soglia all'imbocco dell'emissario [m s.l.m.]	182.00

**Tabella.5** Curva di invaso del Lago Allori.

Quota livello [m s.l.m.]	Volume [10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ]
169.0	0.000
174.0	0.726
179.0	2.119
182.0	3.316
184.0	4.252
186.0	5.200

**Tabella.6** Scala di deflusso sulla soglia fissa del Lago Allori.

Quota livello [m s.l.m.]	Q [m <sup>3</sup> ]
182.51	1.0
182.69	2.0
182.83	3.0
182.95	4.0
183.06	5.0
183.15	6.0
183.23	7.0
183.45	10.0
183.75	15.0
183.99	20.0
184.20	25.0
184.39	30.0
184.55	35.0
184.71	40.0
184.85	45.0

 GGE/ Italy TS	Relazione Tecnica	PR020RE04IC10	20/06/2016
	Realizzazione emissario Lago Castelnuovo		Pagina 48/48
			Usa Pubblico

## 8.6. Allegato 6 – Portata al colmo con T=1000 anni stimata a S. Cipriano

Lo studio idrologico relativo allo sbarramento di S.Cipriano (Rel.UIR 1319, [5]) perveniva alla stima di una portata al colmo attesa all'invaso nell'ordine di 103, 115, 133 e 146 m<sup>3</sup>/s, rispettivamente per T=100, 200, 500 e 1000 anni. Tali valori di portata, ottenuti nell'ipotesi di un assetto del bacino idrografico afferente il serbatoio "naturale" e considerando un'area contribuente complessiva pari a 16 km<sup>2</sup> come riportato sul vigente F.C.E.M., confermavano la sicurezza idrologico-idraulica della diga, caratterizzata da una capacità massima di scarico alla vigente quota di massimo invaso di 153.50 m s.l.m. di 294 m<sup>3</sup>/s (fonte F.C.E.M.), sicurezza in realtà ancora maggiore se si tiene in conto la rilevante capacità di laminazione esercitata dall'invaso.

Le nuove inalveazioni previste non rappresentano comunque un elemento di modifica del grado di sicurezza dello sbarramento. Le analisi idrologiche effettuate considerando la nuova sistemazione idrografica pervengono infatti alla stima di una portata al colmo millenaria alla sezione di chiusura del borro Meleto, ubicata poco a monte dell'immissione nel lago di S.Cipriano e con un'area drenata di 12.96 km<sup>2</sup>, di 66.5 m<sup>3</sup>/s, valore che tiene ovviamente conto anche del rilevante effetto laminativo esercitato dal Lago Allori.

Il borro Frati, che rappresenta l'altro bacino idrografico di alimentazione dell'invaso, produce invece alla sezione più a valle esaminata, con un'area sottesa di 5.89 km<sup>2</sup>, una portata al colmo con T=1000 anni stimata in 75.8 m<sup>3</sup>/s.

Considerando che la superficie idrografica complessivamente drenata dal serbatoio di S.Cipriano nella nuova sistemazione idraulica è pari a 23 km<sup>2</sup>, attribuendo in prima approssimazione al borro Frati la quota di superficie idrografica complementare a quella drenata dal borro Meleto (23.00 - 12.96 = 10.04 km<sup>2</sup>) ed applicando in via assolutamente conservativa il rapporto delle aree si ottiene una portata al colmo millenaria di 129.2 m<sup>3</sup>/s.

Nell'ipotesi infine più pessimistica che i due picchi di piena generati dal borro Meleto e dal borro Frati si sommino in maniera diretta, si ottiene un colmo massimo di 195.8 m<sup>3</sup>/s, assai inferiore alla massima capacità di scarico di 294 m<sup>3</sup>/s della diga.

Si sottolinea comunque che la stima di 195.8 m<sup>3</sup>/s ottenuta in base alle considerazioni precedenti è sicuramente una valutazione conservativa sia per l'ipotesi estremamente pesante che i due colmi di piena si sommino in maniera diretta, sia perché, qualora si considerasse nel calcolo degli apporti prodotti dai due bacini l'area complessiva di 23 km<sup>2</sup> afferente il bacino di S.Cipriano, l'effetto del fattore di riduzione areale della precipitazione (ARF) condurrebbe a valori delle due portate al colmo sicuramente inferiori. Si consideri infine che la rilevante capacità laminativa già evidenziata di cui dispone l'invaso di S.Cipriano costituisce un ulteriore termine aggiuntivo per la valutazione del grado di sicurezza idrologico - idraulica complessiva del serbatoio.