

## 4. LE ANALISI IDROLOGICHE

Per determinare con il maggior dettaglio possibile gli effetti ambientali (ma anche i costi indotti) degli scenari in esame si è costruito un modello di simulazione dei deflussi del bacino montano del F. Reno, in modo da poter ricostruire per un numero di almeno 10 anni quali sarebbero state le portate naturali, quale è stata la gestione delle opere di invaso e regolazione esistente, e cosa sarebbe accaduto con l'introduzione delle opere previste negli scenari (adduttore, diga o entrambi). Il modello è stato predisposto su una scala temporale giornaliera in relazione alla necessità di approfondire le tematiche relative alle condizioni di rispetto del "deflusso minimo vitale" (D.M.V.) [4].

### 4.1. Il quadro gestionale esistente delle acque del bacino del Reno

Gli scenari in analisi interessano la regolazione della parte montana di bacino in particolare:

- l'alto Reno dalla traversa di derivazione di Molino del Pallone fino a Casalecchio,
- l'affluente di destra denominato T. Limentra di Sambuca con lo sbarramento di Pavana,
- l'affluente di destra denominato T. Limentra di Treppio con l'esistente diga di Suviana ovvero con l'ipotizzata diga di Castrola a valle della precedente,
- l'affluente di destra denominato T. Setta con lo sbarramento di Brasimone e l'opera di derivazione idropotabile che conferisce attualmente la maggior parte delle acque superficiali al sistema acquedottistico

L'impianto del modello ha dovuto tener conto dei seguenti vincoli legati alla gestione del sistema:

- Il livello dell'acqua dell'invaso di Suviana è legato a quote convenzionate durante i mesi estivi per permetterne la fruizione turistico ricreativa ed il relativo volume (di 8.000.000 mc) è riservato all'irrigazione;
- Attualmente ed in via sperimentale, in deroga ai disciplinari di derivazione che non ammettono lo spostamento di risorsa tra bacini, un volume di circa 4.000.000 mc viene sollevato da Suviana ed immesso nel Setta a mezzo dell'esistente collegamento tra Suviana e Brasimone (impianto di Bargi);

[4] Criterio di regolazione delle portate in alveo, così come definito dall'Autorità di Bacino del Fiume Po.

- Alle sezioni di interesse deve essere garantito almeno la seguente portata di D.M.V. (indicata nel SIA dell'adduttore e in accordo con le indicazioni dell'ARPA):

a monte di Pavana	0,11 mc/s
a monte di Molino del Pallone	0,28 mc/s
a monte di Suviana	0,17 mc/s
a Vergato	1,28 mc/s
a Casalecchio di Reno	1,93 mc/s (valore si discosto da quello ARPA, che indica 2,5).

#### 4.2. I dati idrologici utilizzati

Per le analisi idrologiche effettuate nel presente lavoro si sono utilizzati i dati di registrazione di portata forniti dall'Ufficio Idrografico.

Con riferimento alla carta successivamente riportata i dati di base sono i seguenti:

- *Registrazioni giornaliere di portata sul fiume Reno a Pracchia: anni di registrazione 1958-1960, 1963-1972 e 1993*
- *Registrazioni giornaliere di portata sul fiume Reno a Molino del Pallone: anni di registrazione 1963-1972*
- *Registrazioni giornaliere di portata sul Limentra di Sambuca a Taviano: anni di registrazione 1958-1960*
- *Registrazioni giornaliere di portata sul Limentra di Treppio a Stagno: anni di registrazione 1963-1972*
- *Registrazioni giornaliere di portata sul fiume Reno a Casalecchio: anni di registrazione 1963-1970 e 1997-2000*
- *Registrazioni giornaliere di portata sul Canale di Reno a Casalecchio: anni di registrazione 1963-1970 e 1997-2000*
- *Registrazioni giornaliere di portata sul fiume Reno a Vergato: anni di registrazione 1997-2000*

Oltre ai dati di registrazione delle portate nei corsi d'acqua si sono utilizzate le seguenti misure ricavate dal progetto di massima della diga di Castrola:

- Quote dell'invaso sul serbatoio di Suviana al primo giorno di ogni mese dal 1963 al 1972
- Energia prodotta (kWh) mensilmente dalla centrale idroelettrica di Suviana dal 1963 al 1972
- Volume sfiorato dalla diga di Suviana dal 1963 al 1972

Per le simulazioni relative al 1993 si sono infine considerati i seguenti valori forniti da ENEL:

- Livello al primo del mese del serbatoio di Suviana
- Energia mensile prodotta dalla centrale di Suviana
- Volume d'acqua mensile consumato dalla centrale di Bargi
- Volume d'acqua mensile pompato dalla centrale di Bargi

Oltre ai dati sopra descritti, relativi a misurazioni idrologiche o legati alla gestione delle centrali idroelettriche esistenti, si sono considerati per le simulazioni degli scenari futuri i seguenti parametri:

- Livelli dell'invaso di Suviana imposti dal disciplinare di concessione
- Deflussi minimi vitali indicati nel SIA dell'acquedotto SEABO Suviana – Sasso Marconi
- Volume dei prelievi medi mensili per l'acquedotto Castel di Casio indicati nel SIA dell'acquedotto SEABO Suviana – Sasso Marconi
- Fabbisogno idropotabile medio mensile da soddisfare con la realizzazione dell'acquedotto SEABO (indicati nel SIA)
- Prelievo minimo da falda per usi idropotabili

Infine sono stati presi in esame i dati pluviometrici medi mensili delle precipitazioni nelle stazioni pluviometriche dell'alto Reno forniti dalla Autorità di Bacino del Fiume Reno.

#### **4.3. Ricostruzione delle portate naturali sui corsi d'acqua**

Il primo step per l'implementazione del modello di simulazione idrologica-idraulica è la quantificazione delle portate giornaliere presenti nei corsi d'acqua. Tale dato costituirà infatti l'input di tutte le successive elaborazioni.

Come si può constatare dalla sottostante tabella, nelle stazioni idrometriche dell'alto Reno, non si ha la contemporaneità delle misure se non in alcuni anni; per ricostruire una serie storica continuativa si sono pertanto ricercate delle correlazioni tra i dati disponibili in modo da poter estrapolare, tramite leggi matematiche determinate, i dati mancanti.



		Anno																					
		1968	1969	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	73-92	1993	94-96	1997	1998	1999	2000
Corso d'acqua	Stazione																						
Reno	Pracchia	■	■	■		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		■		■	■	■	■
Reno	Molino del Pallone					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		■		■	■	■	■
Reno	Vergato					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		■		■	■	■	■
Reno	Casalecchio					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		■		■	■	■	■
Canale di Reno	Casalecchio					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		■		■	■	■	■
Limentra di Sambuca	Taviano	■	■	■		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		■		■	■	■	■
Limentra di Treppio	Stagno					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		■		■	■	■	■

In particolare si sono ricercate le correlazioni esistenti tra le registrazioni del Reno a Pracchia (stazione per la quale si ha la serie storica più completa) e le registrazioni sulle altre stazioni, con la seguente procedura:

- suddividere le portate naturali del Reno a Pracchia in tre fasce: portate di magra, intermedie e di piena (i limiti delle suddivisioni sono stati scelti in modo da massimizzare il grado di correlazione ottenibile);
- per ogni fascia si è ricercata la legge di correlazione lineare con le portate registrate nelle altre stazioni minimizzando lo scarto quadratico medio tra i valori misurati e quelli ricostruiti a mezzo di tali relazioni.

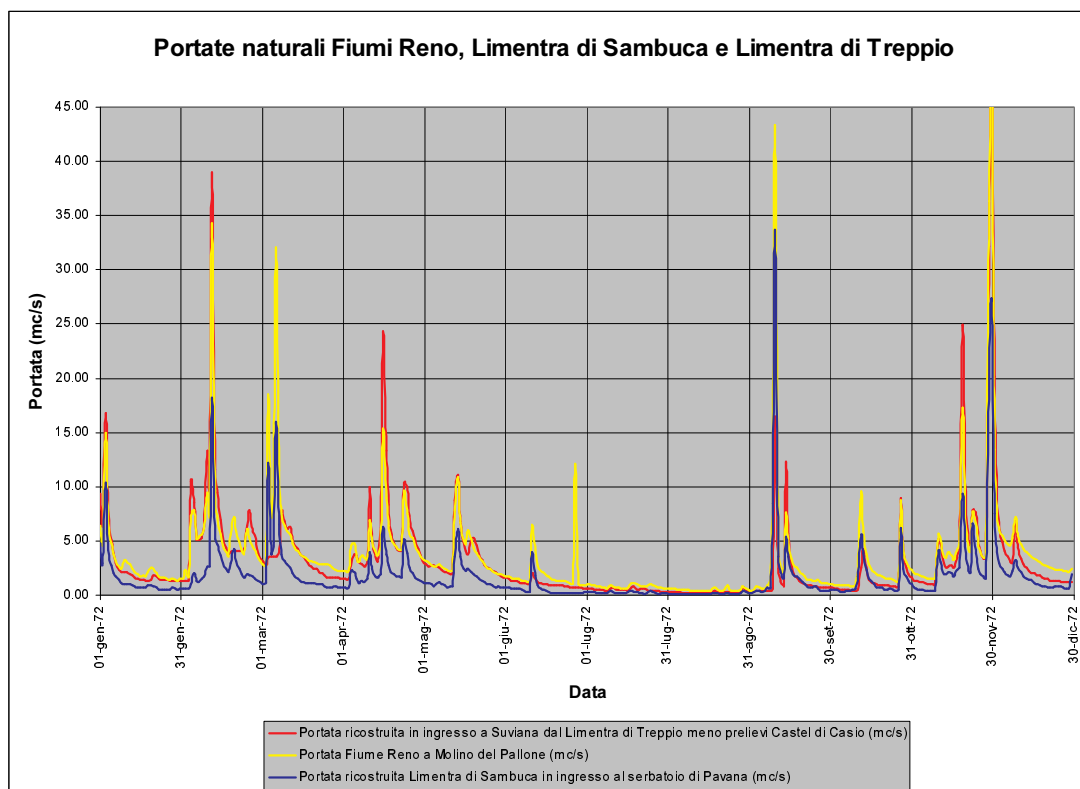
Si sono inoltre ricercate le correlazioni tra le misure del Reno a Vergato ed a Casalecchio.

Con tale procedimento si è pertanto ricostruita la serie storica completa delle portate giornaliere negli anni 1963-1972 e nel 1993.

Infine le portate del Limentra di Treppio in ingresso al serbatoio di Suviana si sono estrapolate a partire dalle portate a Stagno mediante rapporto lineare sulla base dei bacini imbriferi sottesi dalle sezioni di chiusura considerate.

Nel seguente grafico si riportano le portate giornaliere per l'anno 1972 (anno idrologico tipo tra quelli considerati) per alcune stazioni di misura.

Dall'analisi dell'andamento dei deflussi si evince come i corsi d'acqua analizzati siano caratterizzati da un regime estremamente torrentizio con elevati picchi di portata (decine di mc/s) che si esauriscono in tempi molto ridotti (qualche giorno); si può notare inoltre come i deflussi siano alquanto scarsi nel periodo estivo Giugno-Agosto.



#### 4.4. Simulazione idrologica dello stato pregresso

Preliminarmente alla simulazione degli scenari futuri di realizzazione di opere acquedottistiche, si è simulato lo stato pregresso ovvero gli andamenti dei deflussi nei corsi d'acqua e dell'invaso di Suviana che si sono verificati negli anni in cui è stata effettuata la ricostruzione (serie storica 1963-1972 e anno 1993 che risulta essere quello più magro dalla data di inizio delle registrazioni).

L'analisi è stata svolta su base giornaliera basandosi come dato di input sulle portate naturali ricostruite con la metodologia evidenziata nel precedente capitolo.

Poiché i dati di registrazione dei livelli nell'invaso di Suviana e delle produzioni idroelettriche della relativa centrale sono disponibili solamente a livello mensile, per la ricostruzione degli andamenti giornalieri si è seguita la procedura sotto descritta:

- ricostruzione dei volumi mensili turbinati dalla centrale di Suviana tramite l'applicazione della legge linearizzata di trasformazione portata/energia riportata nel Progetto di massima della diga di Castrola

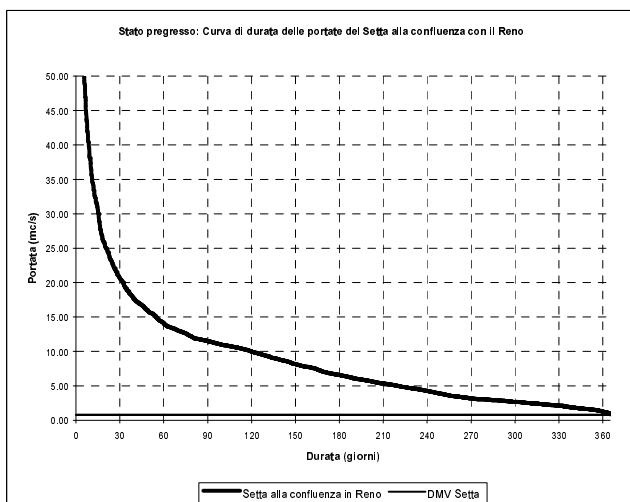
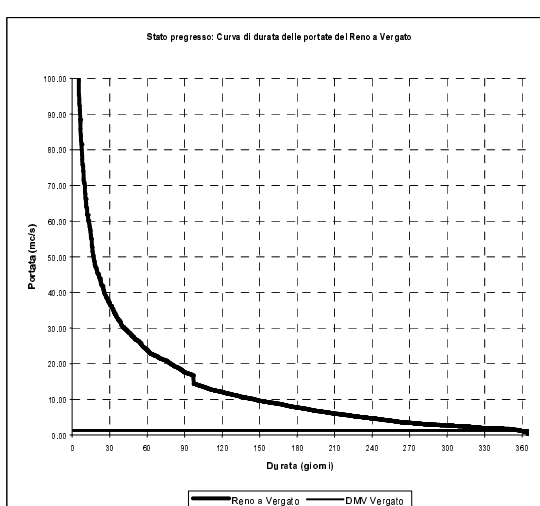
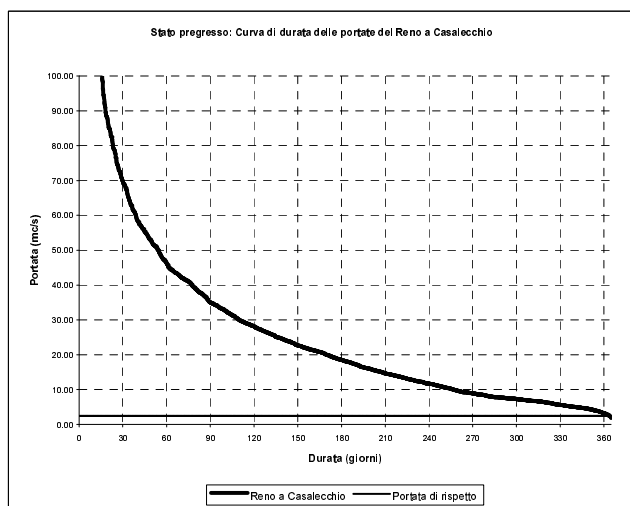
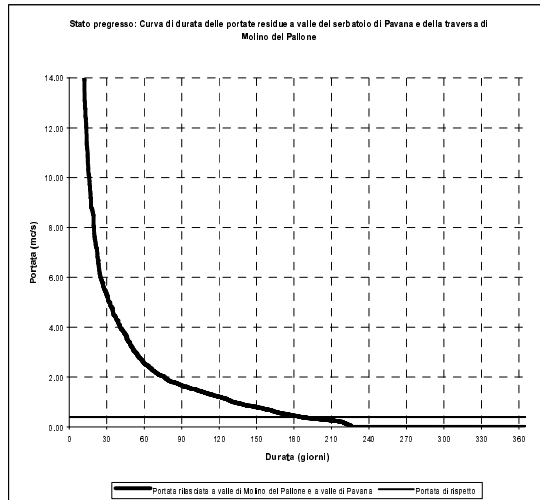
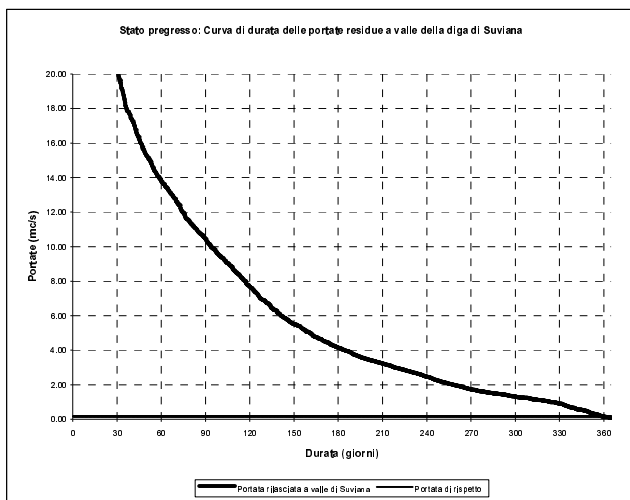
- per rispettare l'equazione di continuità tra volumi in ingresso al serbatoio di Suviana (portate naturali del Limentra di Treppio e portate addotte artificialmente dal serbatoio di Pavana) e volumi in uscita (alimentazione dell'acquedotto di Castel di Casio, volumi turbinati dalla centrale e volumi sfiorati dalla diga), si sono stimati i volumi medi mensili derivati dal Reno a Molino del Pallone e dal Limentra di Sambuca a Pavana;
- ricostruzione delle portate e dei livelli su base giornaliera nelle seguenti ipotesi:
  - proporzionalità tra le portate naturali e le portate derivate da Pavana,
  - proporzionalità tra le portate naturali e le portate turbinate,
  - limitazione della portata massima turbinabile a 28 mc/s (dato ricavato dalla massima produzione idroelettrica mensile verificatasi dal 1962),
  - limitazione della portata massima derivabile da Pavana a 15 mc/s (dato massimo ricavato sulla base del bilancio idrico mensile),
  - andamento della curva livello-volume di vaso indicato nel SIA della condotta SEABO.

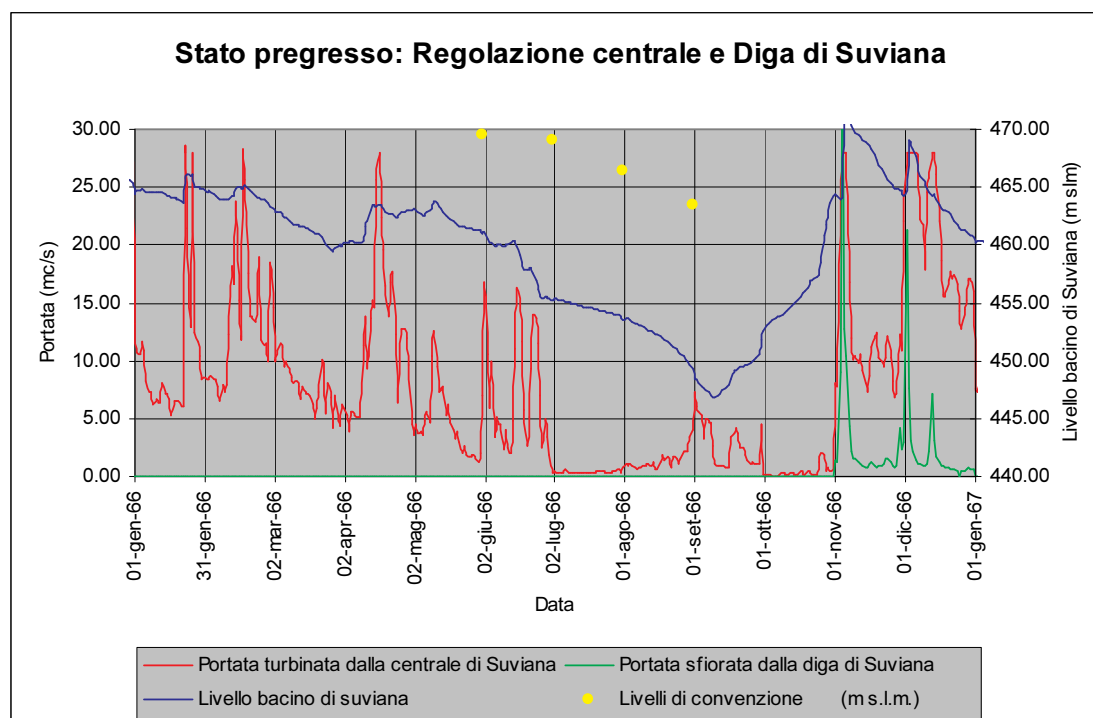
Dall'analisi dello stato pregresso emergono dubbi ragionevoli sulle gestioni passate con scostamenti, anche significativi, rispetto ai vincoli di livello imposti nell'vaso di Suviana dalla vigente convenzione.

Il seguente grafico riporta la regolazione del Sistema di Suviana per l'anno 1966 nel quale si hanno i maggiori scostamenti tra i livelli reali e quelli imposti dalla convenzione di esercizio.

Per quanto concerne le portate residue sui corsi d'acqua si evidenzia la sofferenza del Limentra di Sambuca a valle di Pavana e del Reno a valle della traversa di Molino del Pallone che, per 186 giorni all'anno presentano portate residue in alveo inferiori al D.M.V. e per circa 145 giorni/anno rimangono asciutti.

Meno critica è stata invece la situazione sul Reno a Casalecchio e sul Limentra di Treppio a valle di Suviana; in tali corsi d'acqua la portata risulta inferiore al D.M.V. solamente per un periodo limitato a circa 5-6 giorni/anno.



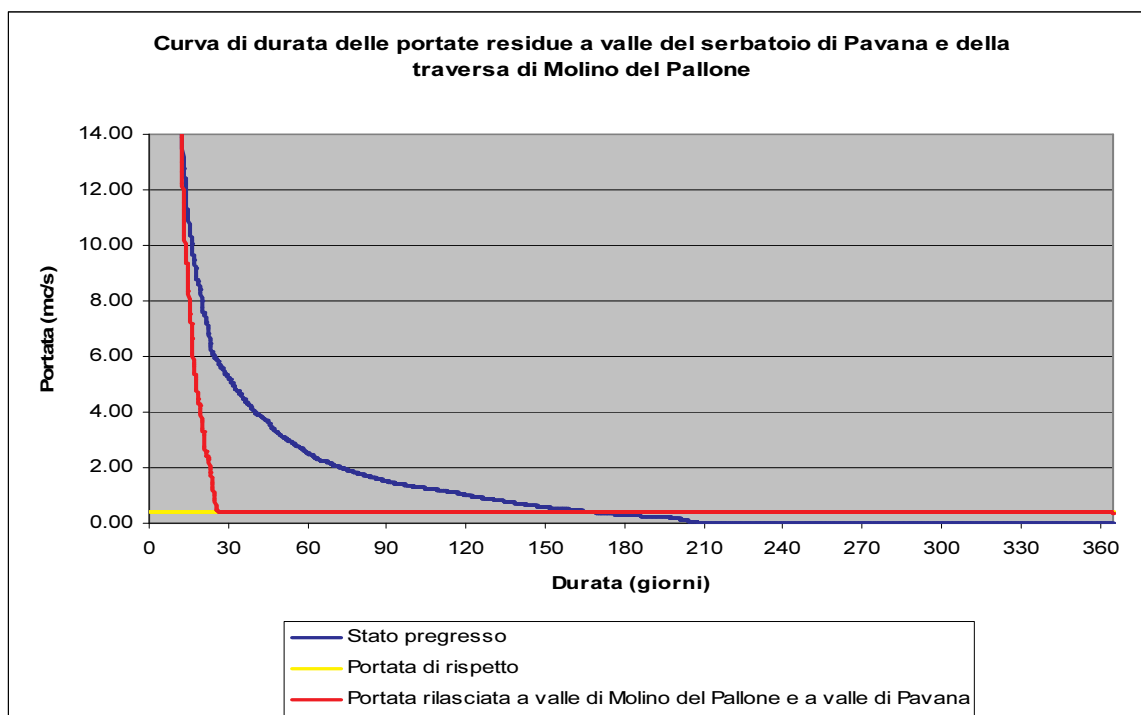


#### 4.5. Simulazione idrologica dello stato progressivo nel rispetto dei vincoli

La seconda simulazione effettuata è relativa allo stato progressivo con rispetto dei vincoli esistenti ovvero alla ricostruzione di cosa sarebbe accaduto negli anni 1963-69 e 1993 se si fossero rispettati i vincoli ambientali di rilascio del D.M.V. e di convenzione sui livelli dell'invaso di Suviana e fosse stata attivata la derivazione per usi idropotabili dal Setta.

In tale caso, per limitare le perdite di produzione di energia idroelettrica dovute alla limitata escursione dei livelli nell'invaso di Suviana ed alla necessità di rilasciare i minimi deflussi vitali sui corsi d'acqua, sarebbe stato necessario derivare una maggiore quantità d'acqua dal Reno a Molino del Pallone e dal Limentra di Sambuca a Pavana.

Di fronte ad una modesta perdita energetica (circa 3 MWh/anno) il fiume Reno a valle di Molino del Pallone ed il Limentra di Sambuca avrebbero mantenuto un minimo deflusso vitale costante per circa 340 giorni/anno ed una portata eccedente il D.M.V. solamente in caso di sfiori degli sbarramenti (con durata di circa 25 gg/anno).



Inoltre le portate presenti sul Setta non sempre risultano compatibili con la derivazione acquedottistica media di 35 Mmc/anno, nel rispetto del D.M.V. del torrente Setta stesso.

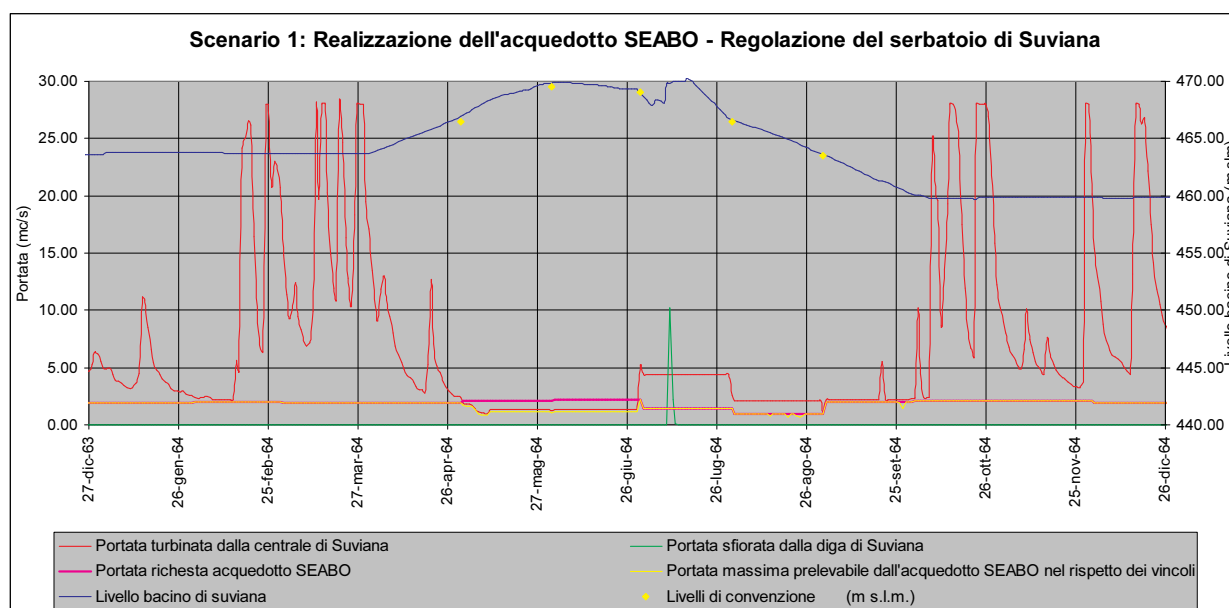
La modifica della curva di durata è riportata nel precedente grafico.

#### 4.6. Simulazione idrologica dello Scenario 1: realizzazione dell'acquedotto Suviana – Sasso Marconi

Il primo scenario futuro analizzato è stato quello della realizzazione dell'acquedotto Seabo per il convogliamento delle acque da Suviana (a valle della diga) al potabilizzatore di Sasso Marconi. L'analisi giornaliera ha evidenziato come l'imposizione dei vincoli di livello ed il rilascio dei D.M.V. non siano compatibili con la derivazione per usi idropotabili nelle quantità previste da SEABO (la probabilità di non poter derivare quanto previsto e contemporaneamente rispettare i vincoli è stimabile nel 4% all'anno, concentrato nei periodi estivi).

Per poter derivare i volumi ad uso potabile anche nei periodi maggiormente siccitosi sarebbe pertanto necessario prevedere un cambio del disciplinare di esercizio dell'invaso di Suviana acconsentendo ad un maggior svuotamento nei mesi estivi; in particolare la situazione più critica si è verificata nei mesi di Maggio e Giugno del 1964.

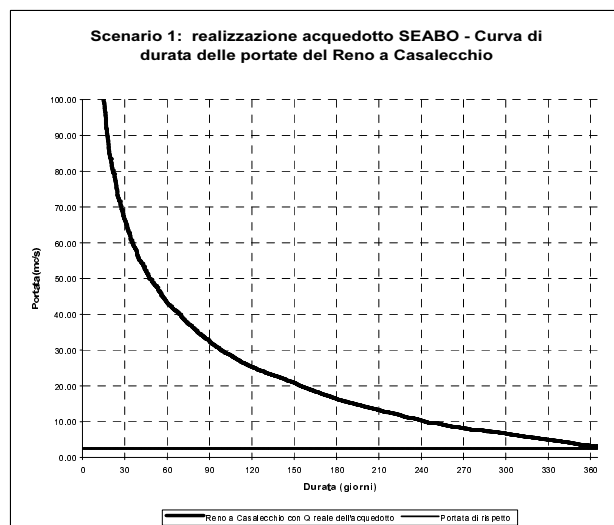
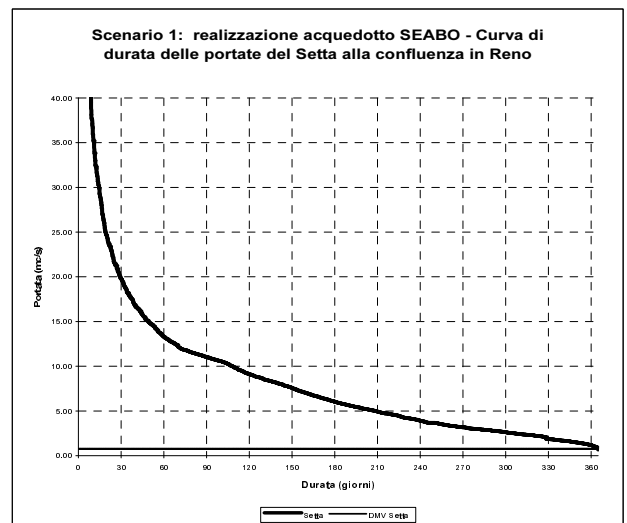
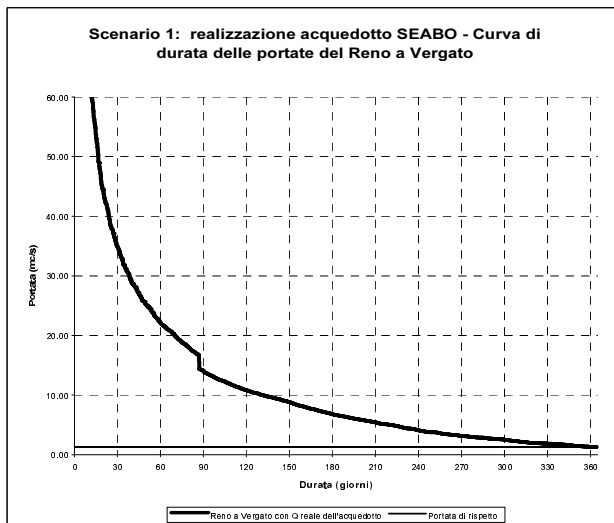
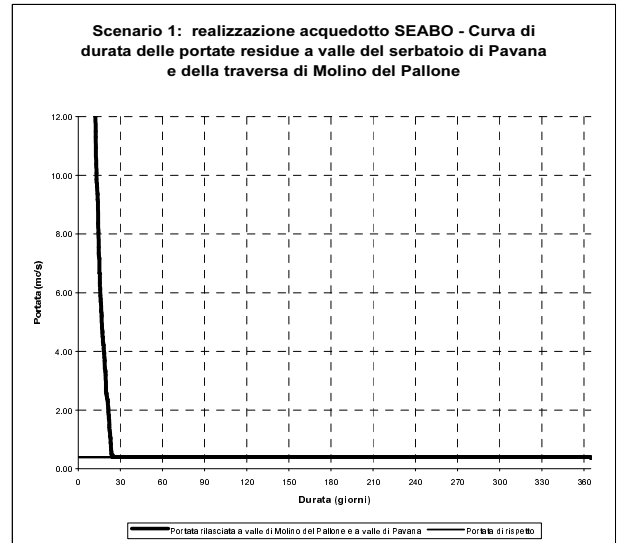
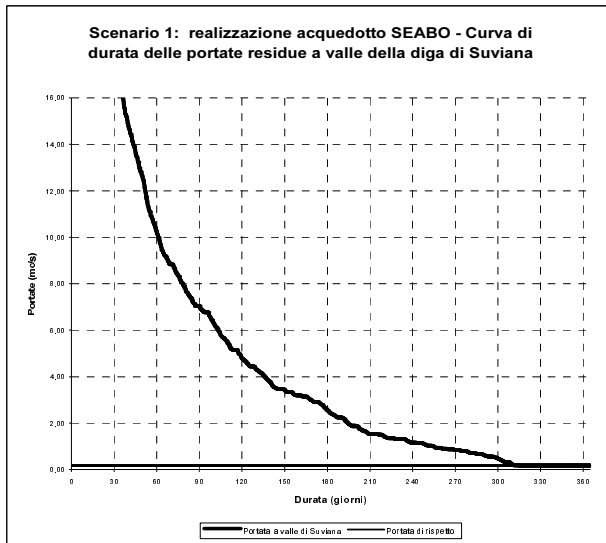
In tale periodo il deficit idrico tra le portate richieste dall'acquedotto SEABO e le portate che è possibile fornire nel rispetto dei vincoli imposti è pari a 5.035.000 mc; per supplire a tale fabbisogno idrico sarebbe necessario uno svasso del lago di Suviana quantificabile in un abbassamento di circa 4 metri, ovvero emungere una pari quantità di risorsa dalla falda. Il seguente grafico riporta gli andamenti del sistema di Suviana per l'anno 1964 che risulta essere il più critico tra quelli esaminati.



Per ciò che attiene i deflussi sui corsi d'acqua a seguito della realizzazione dell'acquedotto Suviana-Sasso Marconi si avranno le curve di durata riportate di seguito, dalle quali si può notare come la permanenza del D.M.V. nelle sezioni considerate sia stimabile in:

- 340 giorni/anno sul Reno a Molino del Pallone e sul Limentra di Sambuca a Pavana
- 54 giorni/anno sul Limentra di Treppio a valle di Suviana
- 1 giorno/anno sul Reno a Vergato

Per il resto dei giorni le portate saranno superiori al D.M.V.



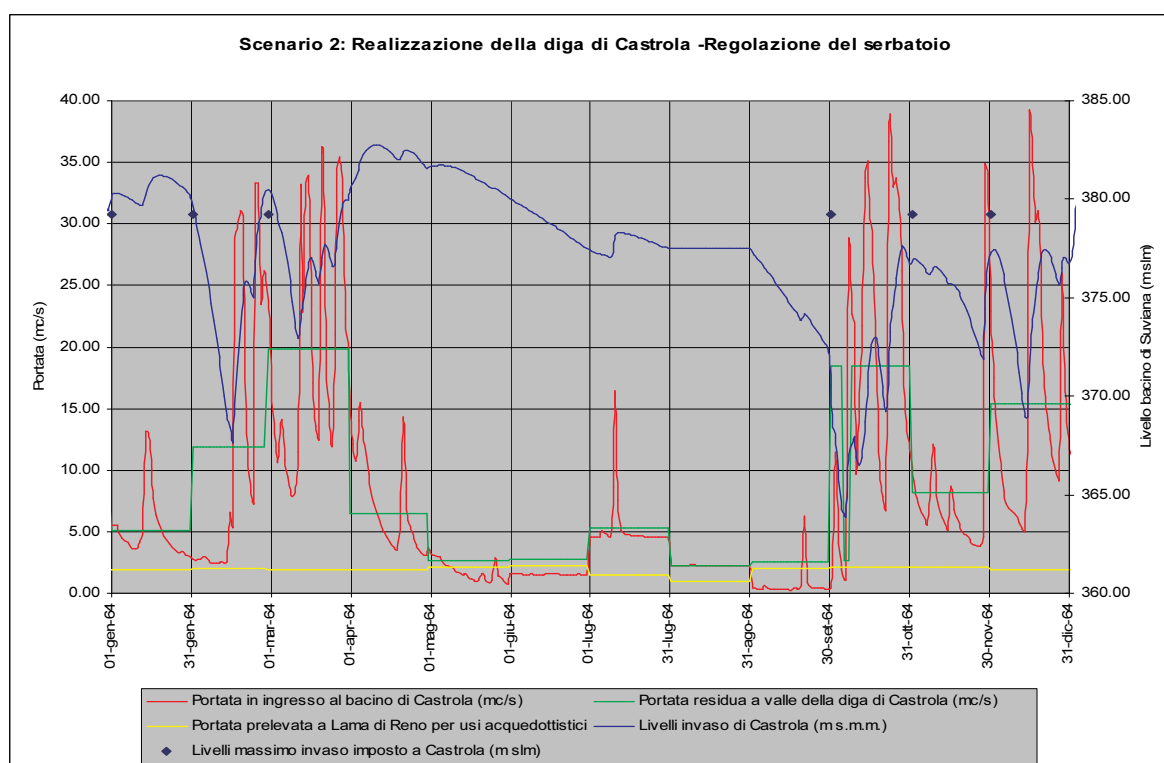
#### 4.7. Simulazione idrologica dello Scenario 2: realizzazione della diga di Castrola

Il secondo scenario analizzato è stato quello della realizzazione della diga di Castrola.

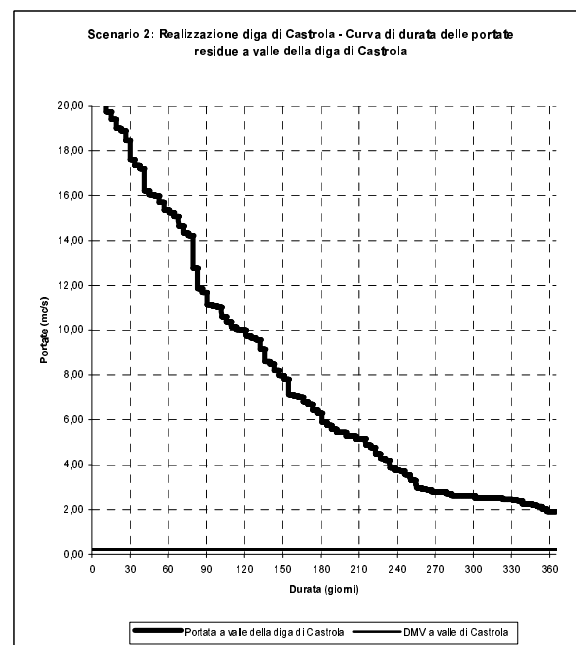
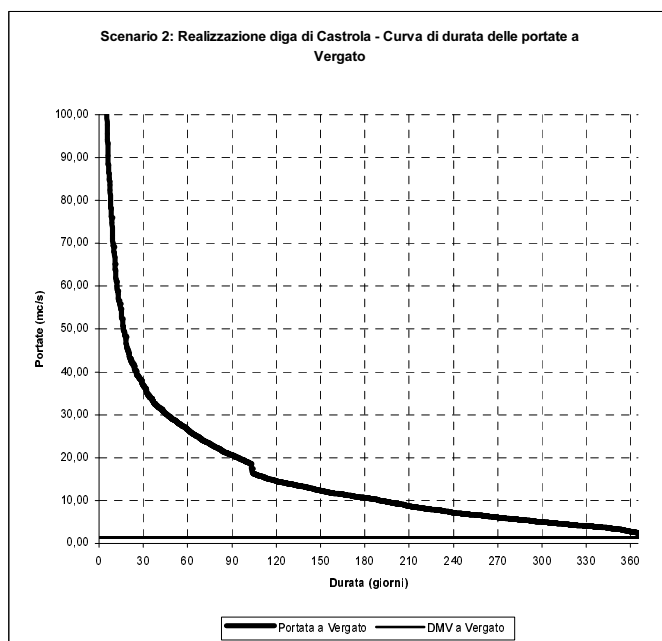
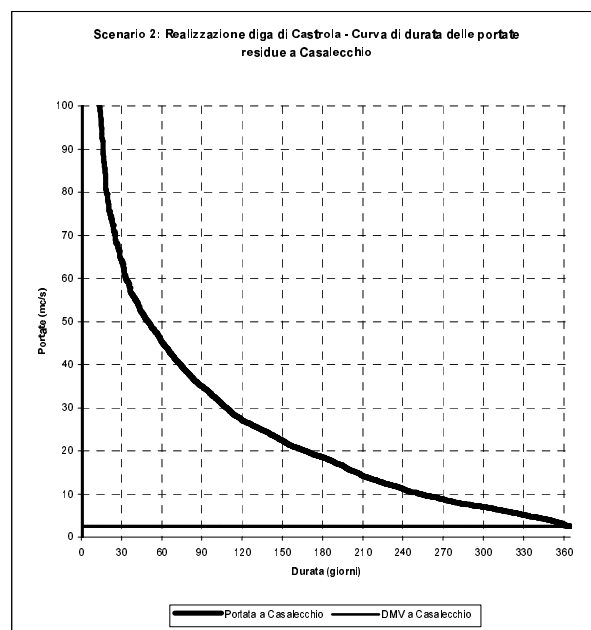
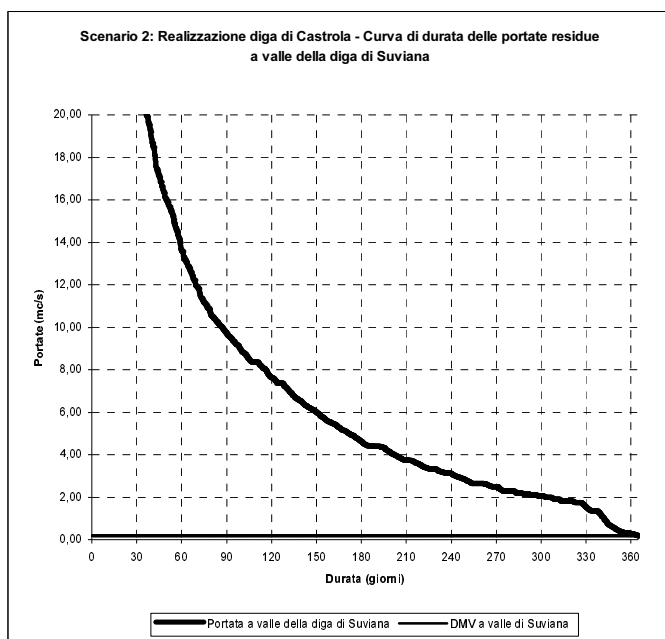
Le analisi giornaliere condotte hanno permesso di valutare la completa compatibilità dei vincoli imposti (D.M.V., livelli di regolazione dell'invaso di Suviana e di Castrola) con il fabbisogno idropotabile del sistema bolognese ricavato dai dati SEABO.

In particolare si evidenzia la possibilità di una maggiore derivazione di acque superficiali fino a limitare i prelievi da falda ad una quantità di 550 l/s per tutto l'arco dell'anno.

Il seguente grafico riporta la regolazione della diga di Castrola nel 1964 (anno critico tra quelli simulati)



Per ciò che attiene portate residue sui corsi d'acqua, rispetto allo scenario 1, rimangono inalterate le condizioni sul Limentra di Sambuca, sul Reno a Molino del Pallone e sul Setta, mentre nelle altre sezioni si ha una modifica dei deflussi evidenziata nei seguenti grafici:



Nelle altre sezioni esaminate invece la permanenza del D.M.V. è stimabile in:

- 0 giorni/anno sul Limentra di Treppio a valle di Suviana,

- 0 giorni/anno sul Limentra di Treppio a valle di Castrola,
- 1 giorno/anno sul Reno a Casalecchio (3 nel caso di massimo prelievo da acque superficiali),
- 0 giorni/anno sul Reno a Vergato.

Per il resto dei giorni le portate saranno superiori al D.M.V..

Si ha pertanto un generale aumento dei rilasci sui corsi d'acqua, particolarmente sensibile a valle della diga di Castrola dove si avrà una portata minima permanente di circa 2 mc/s.

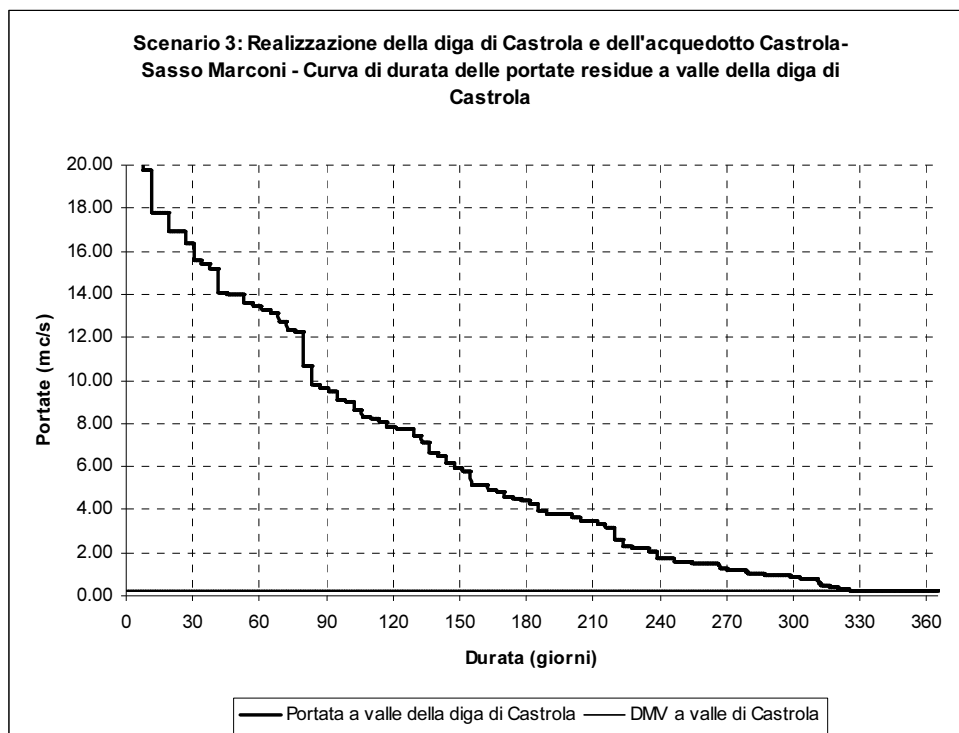
#### **4.8. Simulazione idrologica dello Scenario 3: realizzazione della diga di Castrola e dell'acquedotto Castrola – Sasso Marconi**

Il terzo scenario analizzato corrisponde alla realizzazione della diga di Castrola e dell'acquedotto Castrola – Sasso Marconi.

Tale ipotesi progettuale poco si discosta dalla precedente e valgono le considerazioni per essa esposte.

La sola sostanziale differenza tra i due scenari è che con la realizzazione congiunta diga – acquedotto, il rilascio sul Limentra di Treppio a valle di Castrola risulta inferiore rispetto a quello che si avrebbe con la sola realizzazione della diga, ma comunque sempre superiore od uguale al D.M.V. previsto.

Analogamente risultano inferiori le portate sul Reno a Vergato, ovvero a monte della derivazione acquedottistica di Lama di Reno.



#### 4.9. Scenario futuro con simulazione dei cambiamenti climatici ipotizzabili

A completamento delle valutazioni idrologiche effettuate con il modello si è realizzata la simulazione di un anno medio (1966) al quale vengono applicate le percentuali di riduzione delle piogge riscontrate dall'Autorità di Bacino per l'alto bacino del Reno.

Dall'analisi dei risultati è emerso come le variazioni di piovosità e quindi di deflussi sui corsi d'acqua ipotizzate non influenzino il quadro idrologico degli scenari progettuali prospettati.

La sostanziale differenza si ripercuote però sulla producibilità traibile dagli impianti idroelettrici che risulta inferiore del 20 % circa, essendo le portate future ipotizzate più modeste delle attuali principalmente nei periodi di maggior afflusso meteorico, ovvero nei periodi in cui risulta maggiore la produzione elettrica delle centrali.

Dal punto di vista acquedottistico, essendo le precipitazioni ipotizzate maggiori nel periodo estivo, si può concludere che lo scenario idrologico futuro previsto, risulti più adatto dell'attuale per la definizione di scenari di soddisfacimento del fabbisogno idropotabile.

#### 4.10. La laminazione delle piene

Per quanto attiene alla possibilità di laminazione delle piene del Reno con l'invaso di Castrola sono stati esaminati i seguenti documenti:

- *Le piene più significative del F. Reno nel XX secolo* a cura dell'Autorità di Bacino del F. Reno
- La relazione idraulica (El. n° IDR001) del progetto di massima della diga di Castrola predisposto da Bonifica S.p.A. per IDROSER nel 1988.

Nel progetto di massima della diga di Castrola, viene esaminata la potenzialità del bacino di invaso per la laminazione della piena.

Vengono infatti svolte alcune verifiche di tipo idrologico ed idraulico basate sulle ricostruzioni di alcune piene significative (1937, 1940 e 1966) che portano gli autori del progetto alla seguente conclusione:

Dedicando un volume di 5.6 Mm<sup>3</sup> dell'invaso disponibile si otterrebbe una riduzione compresa tra il 15% ed il 19% (a seconda della durata della piena) del picco di piena del Reno a Casalecchio per gli eventi invernali.

La conclusione, pur meritando un approfondito studio idrologico ed idraulico con la costruzione di un modello dedicato al fenomeno, è almeno in parte condivisibile; risulta infatti ragionevole pensare che un volume disponibile a Castrola permetta la laminazione della piena a Casalecchio di Reno. Infatti analizzando le tabelle allegate dove sono riportate le portate di piena (m<sup>3</sup>/s) negli anni citati alle stazioni di misura dove i dati sono stati registrati ed alcuni dati ricostruiti idrologicamente (su fondo grigio) con proporzione sulle aree e sul piovuto, si possono fare le seguenti considerazioni:

- ❖ il rapporto tra la portata di piena a Castrola (ricostruite sulla base dei dati di Limentra di Riola o simulate) e la portata a Casalecchio è sempre superiore al 19% indicato come valore massimo di laminazione;
- ❖ il rapporto suddetto inoltre raggiunge valori particolarmente rilevanti per gli anni nei quali l'evento di piena è stato caratterizzato da un importante contributo del bacino montano.

*Superficie del bacino a monte e portate di piena alle stazioni di misura (mc/sec)*

	sup. (km <sup>2</sup> )	Anno 1934	Anno 1937	Anno 1940	Anno 1951	Anno 1966
Pracchia	41	<b>70</b>	<b>191</b>	<b>160</b>	<b>214</b>	<b>140</b>
Porretta	170	n.d.	<b>1140</b>	n.d.	<b>754</b>	<b>470</b>
Calvenzano	581	<b>814</b>	<b>1570</b>	<b>1200</b>	<b>1520</b>	<b>1208</b>
Casalecchio	1051	<b>929</b>	<b>1650</b>	<b>1810</b>	<b>1940</b>	<b>1510</b>
Limentra di Treppio Castrola	106	<b>180</b>	<b>625</b>	<b>635</b>	<b>629</b>	<b>335</b>

*n.d. = dato non disponibile*

*Rapporto tra le portate di piena del Limentra di Treppio a Castrola e del Reno a Casalecchio*

Anno	1934	1937	1940	1951	1966
Valore % del rapporto	19%	38%	35%	32%	22%

Tenuto conto dei diversi tempi di concentrazione della piena alle varie sezioni si ritiene, come detto, ragionevole poter contare su un 15% di riduzione del picco nei casi in cui il rapporto valga più del doppio.

A sostegno dell'affermazione risulta anche l'analisi svolta dall'Autorità di Bacino del Reno della piena del 1937, provocata da un violento nubifragio nell'Alto Reno, e laminata in maniera importante dall'invaso di Suviana (circa il 10%) che era fortuitamente svasato per manutenzione. In tale prospettiva quindi, gli scenari 2 e 3 che prevedono la realizzazione della diga di Castrola potrebbero essere caratterizzati dalla possibilità di fornire un'utile diminuzione dei picchi di piena del Reno.