

EMILIE Wind S.r.l.

Parco Eolico “EMILIE” sito nel Comune di Casalfiumanese (BO)

Relazione idrologica e idraulica

Luglio 2023

Committente:

EMILIE Wind S.r.l.

EMILIE Wind S.r.l.

Via Sardegna, 40

00187 Roma

P.IVA/C.F. 16181131000

Titolo del Progetto:

Parco Eolico "EMILIE" sito nel Comune di Casalfiumanese (BO)

Documento:

**Relazione idrologica e
idraulica**

N° Documento:

IT-VesEMI-PGR-SPE-TR-03

Progettista:

**Dott. Geol Antonio CONSOLE****Dott.ssa Geol. Chiara GUGLIOTTI**

Rev	Data Revisione	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato
00	Luglio 2023	Prima emissione	A. Console/C. Gugliotti	M. Agostinone	D. Teta

Sommario

1. PREMESSA	5
2. ASPETTI IDROLOGICI DELL'AREA	6
2.1. Descrizione sottobacino	8
2.2. Regime delle precipitazioni	9
2.3. Deflussi	13
2.4. Deflussi - Afflussi.....	14
3. ASPETTI IDRAULICI	16
3.1. Determinazione altezza critica delle piogge.....	16
3.2. DETERMINAZIONE PORTATA DI MASSIMA PIENA E CURVA DI PROBABILITA' PLUVIOMETRICA	18
4. CONCLUSIONI	20

Acronimi

RTN	Rete di trasmissione nazionale
SE o SSE	Stazione Elettrica o Stottostazione Elettrica
WTG	Wind Turbine Generator

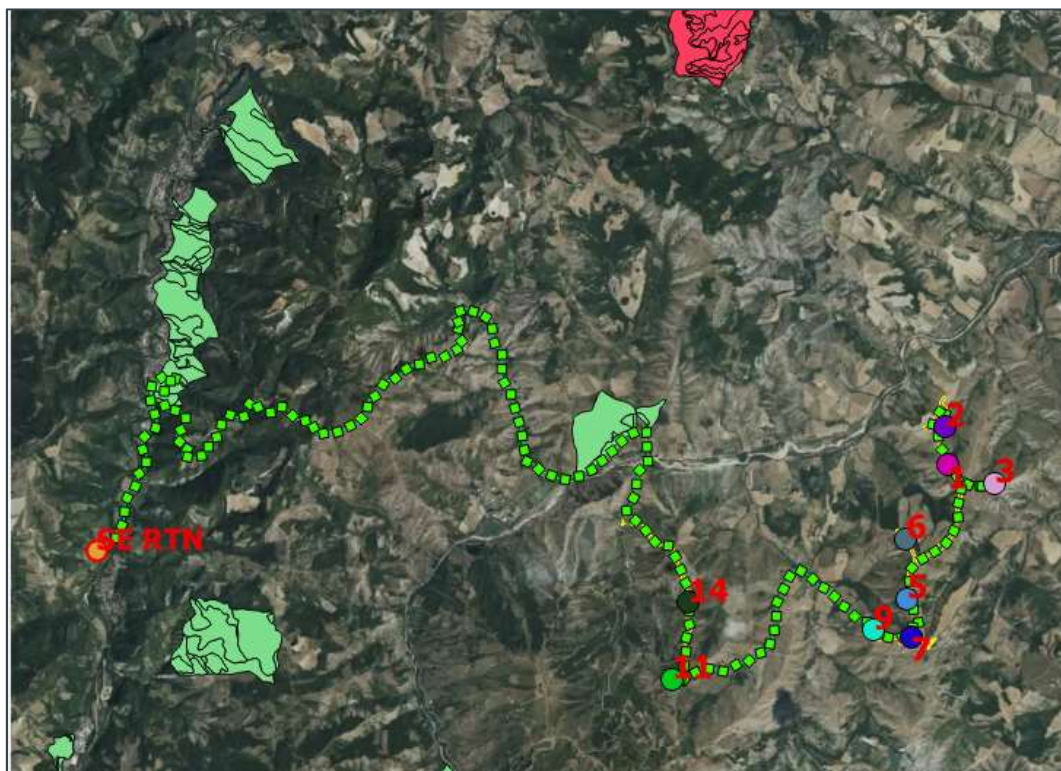
1. PREMESSA

La seguente relazione idrologica e idraulica preliminare è stata redatta per la realizzazione del parco eolico “Emilie”, sito nel Comune di Casalfiumanese (BO) e relative opere di connessione e la sottostazione sita nel Comune di Monterenzio.

Il presente studio ha lo scopo di fornire, sulla base dei dati bibliografici, le informazioni idrologiche e idrauliche del bacino che interessa l’area di studio.

I dati utilizzati sono stati ricavati dal portale dell’Agenzia prevenzione e Ambiente della Regione Emilia Romagna per quanto concerne i dati relativi agli annali idrologici, e dall’Autorità di bacino del Reno.

Figura 1: mappa aerofotogrammetrica con ubicazione aree di indagini WTG, opere di connessione e Sottostazione SE RTN



2. ASPETTI IDROLOGICI DELL'AREA

L'area di interesse si inserisce nel contesto del Bacino idrografico del Fiume Reno. Il bacino del Fiume Reno, compreso tutti i suoi affluenti, si estende per un totale di 5.040 km², dall'Appennino emiliano-romagnolo alla pianura fino alla costa adriatica. Di questi, 2.540 km² fanno parte del bacino idrografico montano, ossia il territorio in cui le acque di pioggia scorrono sui versanti e si raccolgono in reticoli idrografici minuti (rii, fossi), fino ad alimentare le portate dei corsi d'acqua principali. Circa 580 km² del bacino montano fanno parte del territorio toscano (appartenenti a Firenze, Pistoia e Prato), mentre la rimanente superficie è suddivisa tra le province emiliano-romagnole di Bologna 3.450 km², Ravenna 900 km², Modena 60 km² e Ferrara 50 km².

Il Fiume Reno, dalla sorgente in territorio Toscano allo sbocco in Mare Adriatico è lungo 212 km, di cui 83 km fanno parte del bacino imbrifero montano, circa 6 km del tratto compreso tra la Chiusa di Casalecchio e il ponte della ferrovia Bologna-Milano ed i restanti 123 km si sviluppano interamente in pianura e scorrono dentro alte arginature. Il bacino montano del Fiume Reno, con chiusura alla Chiusa di Casalecchio, ha una superficie di 1.061 km². Il reticolo idrografico montano, piuttosto ramificato e denso, è composto da 8 corsi d'acqua "principali", 12 "secondari" e da 600 "minori" e ancora altre centinaia di piccoli corsi d'acqua "minuti" (piccoli rii e fossi). In base alla pianificazione di bacino sono stati classificati come "principali" i corsi d'acqua con bacino di superficie maggiore o uguale a 40 km², come "secondari" quelli con area compresa fra 40 e 13 km² e come "minori" e "minuti" tutti i torrenti e rii non ricadenti nei due gruppi precedenti (con bacino idrografico minore di 13 km²).

Tabella 1: Reticolo idrografico nell'area di bacino

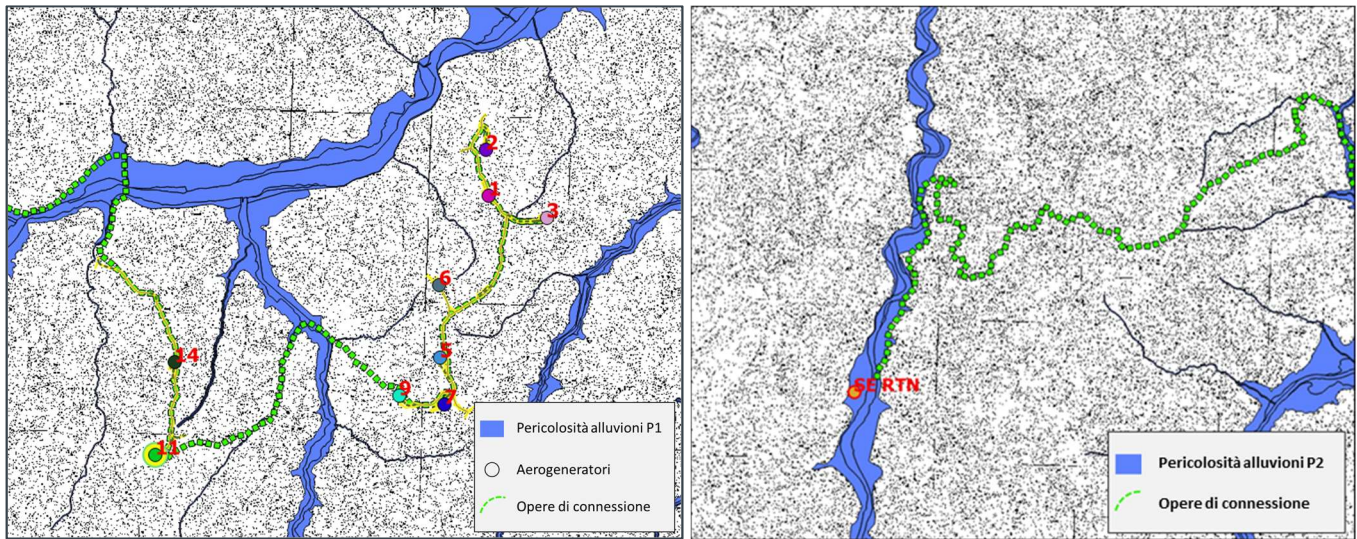
	CORSO D'ACQUA	AREA BACINO IDROGRAFICO (km²)	LUNGHEZZA COMPLESSIVA (km)	TIPO
1	Fiume Reno	1.061	212	principale
2	Torrente Setta	319	47	principale
3	Torrente Limentra di Treppio	145	31	principale
4	Torrente Silla	85	18	principale
5	Torrente Brasimone	74	22	principale
6	Torrente Vergatello	52	9	principale
7	Torrente Limentra di Sambuca	45	19	principale
8	Torrente Gambellato	43	11	principale

	CORSO D'ACQUA	AREA BACINO IDROGRAFICO (km²)	LUNGHEZZA COMPLESSIVA (km)	TIPO
1	Torrente Sambro	38	14	secondario
2	Rio Sasso	32	4	secondario
3	Torrente Limentrella	25	7	secondario
4	Torrente Venola	24	13	secondario
5	Torrente Aneva	20	7	secondario
6	Torrente Maresca	20	7	secondario
7	Torrente Marano	19	12	secondario
8	Torrente Vezzano	19	6	secondario
9	Rio Maggiore	16	8	secondario
10	Torrente Orsigna	16	8	secondario
11	Rio Croara	15	9	secondario
12	Torrente Randaragna	14	6	secondario

Come riportato nella Relazione geologica e geotecnica, DOC. IT-VesEMI-PGR-SPE-TR-02, le aree relative ai WTG non ricadono in aree di ripetto; viceversa l'area della sottostazione ricade nella fascia di Pericolosità P2.

Pertanto in ottemperanza a quanto previsto dalle norme tecniche dell'Autorità di bacino del Reno, nelle aree potenzialmente interessate da alluvioni poco frequenti (P2), le amministrazioni comunali, in ottemperanza ai principi di precauzione e dell'azione preventiva, dovranno sviluppare le azioni amministrative di aggiornamento dei Piani di emergenza ai fini della Protezione Civile, conformemente a quanto indicato nelle linee guida nazionali e regionali, specificando lo scenario d'evento atteso e il modello d'intervento per ciò che concerne il rischio idraulico.

Figura 2: stralcio mappa della pericolosità idrogeologica relativa ai WTG, opere di connessione, sottostazione SE RTN



2.1. Descrizione sottobacino

L'area di studio si localizza nel dettaglio nel sottobacino del Fiume Sillaro. La sorgente del Torrente Sillaro è in Toscana e dopo circa 6,5 km, in località Giugnola, entra in territorio romagnolo. E' lungo complessivamente 75 km con gli ultimi 7,5 km in Provincia di Ferrara. Il bacino imbrifero totale sotteso a monte della confluenza con lo Scolo Consorziale Correcchio (a valle di Castel Guelfo), dopo un percorso di 53 km, è di 212 km².

Il bacino montano del solo Torrente Sillaro è di 141 km² e si chiude alla Via Emilia dopo 37 km. I successivi 16 km presentano una morfologia ad alveo inciso (classificati opera idraulica di 3a categoria); il tratto arginato lungo circa 22 km inizia subito a valle dello Scolo Consorziale Correcchio affluendo nel Fiume Reno in località Bastia (Argenta) con immissione controllata da portoni vinciani.

L'altro significativo corso d'acqua è il Torrente Sellustra, affluente di destra del Sillaro (si immette a monte di Castel Guelfo), lungo complessivamente circa 26 km, con un bacino montano con chiusura in concomitanza dell'attraversamento della Via Emilia di 27 km² dopo un tragitto di 19 km.

Il reticolo idrografico è composto da un corso d'acqua "principale", da 5 "secondari" e da una quarantina "minori" e "minuti" (torrentelli, rii e fossi). In base alla pianificazione di bacino sono stati classificati come "principali" i corsi d'acqua con portate superiore o pari a 100 m³/s, come "secondari" quelli con portate compresa fra 100 e 30 m³/s, come "minori" quelli con portate comprese tra 30 e 5 m³/s e come "minuti" tutti i piccoli rii e fossi con portate inferiori a 5 m³/s o con lunghezza inferiore a 500 m.

Tabella 2: Reticolo idrografico nell'area di sottobacino

	CORSO D'ACQUA	AREA BACINO IDROGRAFICO (km ²)	LUNGHEZZA COMPLESSIVA (km)	TIPO
1	Torrente Sillaro	141	75	principale

	CORSO D'ACQUA	AREA BACINO IDROGRAFICO (km ²)	LUNGHEZZA COMPLESSIVA (km)	TIPO
1	Torrente Sellustra	27	26	secondario
2	Rio Sabbioso	14	11	secondario
3	Torrente dell'Acquabona	12	6	secondario
4	Rio Sassuno	8	5	secondario
5	Rio Ronco	7	8	secondario

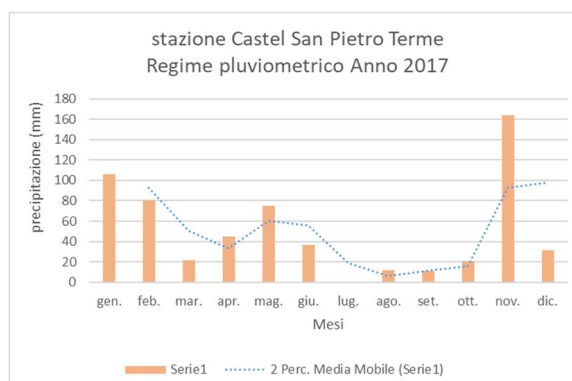
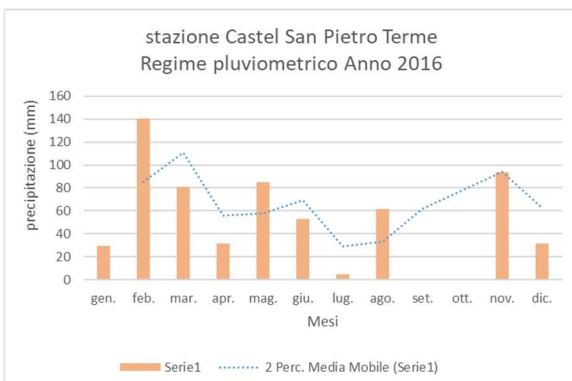
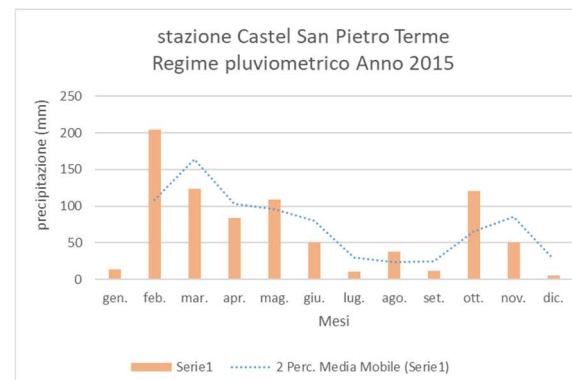
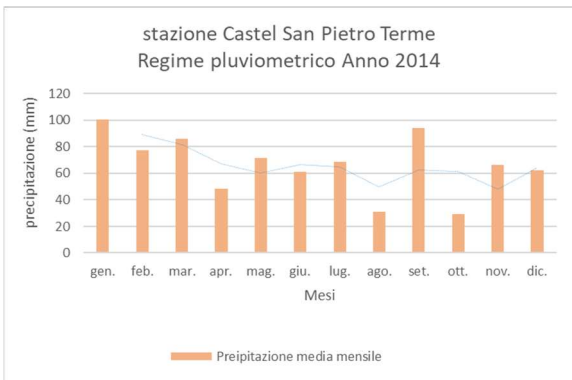
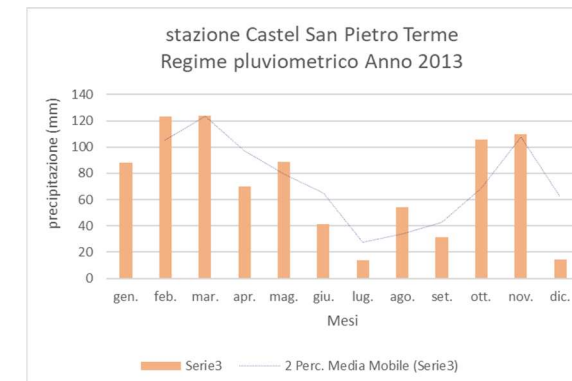
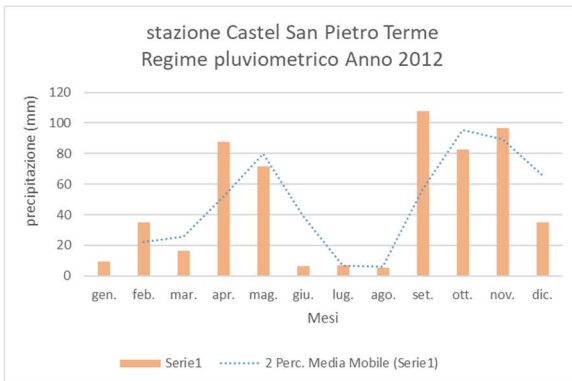
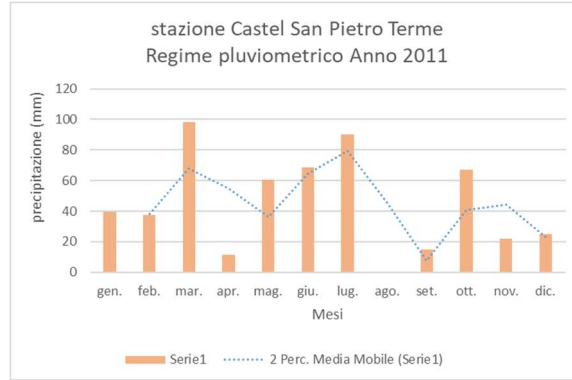
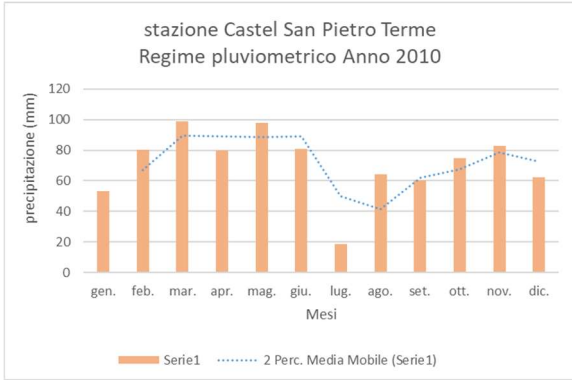
2.2. Regime delle precipitazioni

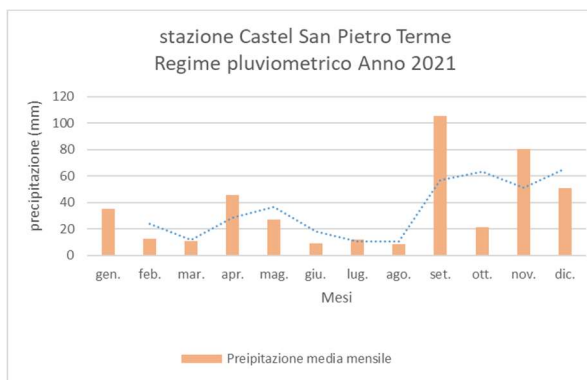
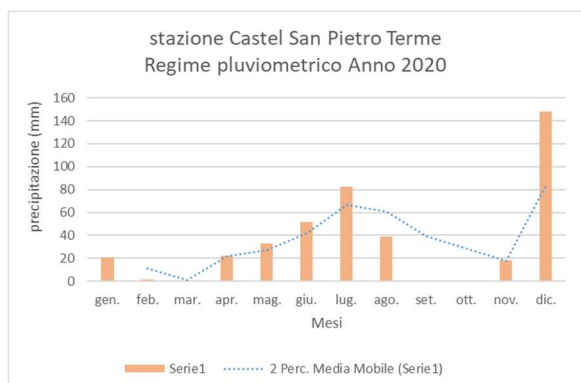
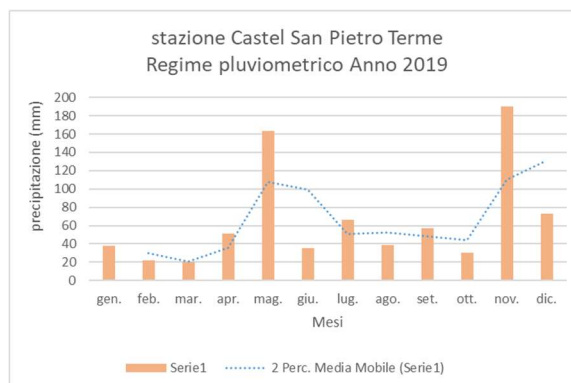
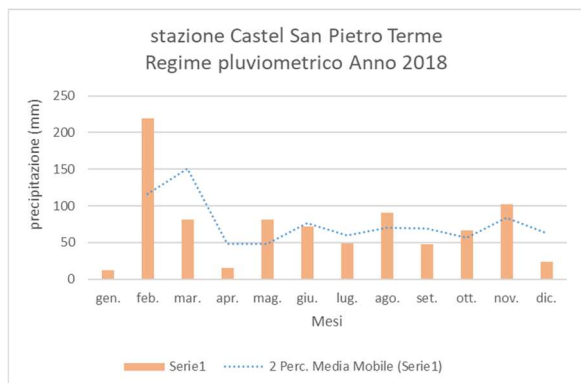
I dati relativi agli afflussi meteorici nella zona indagata, sono stati ricavati dagli annali idrologici dell'Agenzia regionale prevenzione e Ambiente dell'Emilia Romagna. All'interno del bacino del torrente Sillaro, la stazione pluviometrica più vicina all'area di indagine è quella di Castel San Pietro Terme e San Clemente. In linea generale il clima, nel dettaglio è caldo e temperato e caratterizzato da piovosità significativa durante l'anno. Anche nel mese più secco viene riscontrata molta piovosità. Il clima è stato classificato come Cfa (*C: climi temperati delle medie latitudini; f: con stagione secca assente; a: estati calde*). La temperatura media annuale di Casalfiumanese è 13.5 °C. Piovosità media annuale di 972 mm. La variazione delle precipitazioni tra il mese più secco e quello più piovoso è di 51 mm. La variazione delle temperature durante tutto l'anno è di 20,6 °C.

Di seguito si riporta un'analisi del regime pluviometrico della stazione di Castel San Pietro facendo riferimento ai valori di pioggia mensili relativi al periodo 2010-2022.

Figura 3: ubicazione aree di studio e stazione pluviometrica Castel San Pietro**Tabella 3. tabella di sintesi precipitazioni mensili 2010-2021**

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
gen.	53.4	39.4	9.6	88	100.4	13.8	29.4	106	12.6	37.6	20.6	35.2
feb.	80.4	37.4	34.8	123	77.6	204.2	140.6	80	219.8	21.6	1.4	12.6
mar.	99	98.2	16.2	123.6	86	123.4	80.8	21.6	80.8	20.4		10.8
apr.	79.6	11.6	87.8	70.2	48.6	83.4	31.2	45.2	15	51.4	22.2	45.8
mag.	97.8	60.8	71.8	88.6	71.6	109.4	85	75	81.4	163.4	32.8	27.2
giu.	80.8	68.4	6.4	41.2	61.2	50.6	53.2	37	71.4	35	51.6	9.2
lug.	18.6	90.2	7	13.8	68.4	10.6	4.8	0.4	48.6	66	82.2	12.2
ago.	64.4	0.6	5.6	54	31.2	37.8	61.8	12.2	91.2	38.4	39.2	8.8
set.	60	14.8	107.8	31.6	94	11.4		11	47.6	57.4		105.4
ott.	74.6	67	82.8	105.4	29.2	120		21.2	66.8	30.2		21.4
nov.	82.8	21.8	96.6	110	66.6	50.2	93.8	164	101.8	190.4	18.2	80.6
dic.	62.4	25	35	14.6	62.2	5	31.6	31.4	24.2	72.6	148	50.8



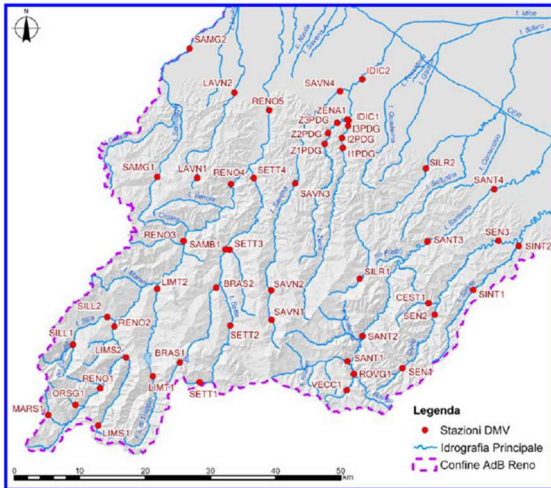


Come si può notare dal regime pluviometrico degli anni analizzati, i picchi massimi delle precipitazioni si registrano a partire dai mesi di settembre/ottobre sino agli inizi della primavera, aprile/maggio. Viceversa i picchi minimi si registrano nei periodi caldi, da giugno ad agosto. La tendenza sopra descritta, seppure con qualche lieve oscillazione è costante nel tempo.

2.3. Deflussi

L'autorità di Bacino del Reno mette a disposizione uno studio effettuato su 51 stazioni che ha avuto lo scopo di stimare il deflusso minimo vitae. Tutte le indagini sperimentali sono state condotte nei tratti e nei bacini indicati nella mappa sottostante.

Figura 4: bacini area di studio



Per quanto concerne il sottobacino SILLARO è stata presa di riferimento la stazione SILR1. Il tratto scelto per l'esecuzione delle indagini sperimentali si trova a 362 m s.l.m., a 7,3 km dalla sorgente e il territorio del bacino a monte di questa sezione ha una superficie di 16,33 km². La naturalezza della vegetazione che si sviluppa nel corridoio fluviale è media (IVN=0,54), di poco superiore a quella del bacino imbrifero (IVN=0,50). L'habitat dell'alveo fluviale è, in base all'indice QHEI, di I classe di qualità e anche l'indice IFF individua una "ottima" funzionalità fluviale. La naturalezza delle rive (indice WSI) è di II classe di qualità e la funzione tampone (indice BSI) solo di III classe. Le comunità di invertebrati bentonici sono esclusivamente costituite da organismi raccoglitori e sono risultate povere per varietà tassonomica. Anche i valori delle densità e biomasse sono alquanto limitati. L'indice QIC relativo alla fauna ittica è di II classe e sono 7 le specie rilevate, fra le quali il Cavedano è quella dominante e quindi è stata scelta come organismo bersaglio per l'applicazione del modello Phabsim. Nel bacino imbrifero sotteso non sono state censite né derivazioni né carichi e sono presenti solo 4 sorgenti, tutte non derivate. Le portate misurate nel corso dell'indagine sono le seguenti:

Tabella 4: portate misurate nell'area di indagine

giorno	Q (m ³ /s)	giorno	Q (m ³ /s)	giorno	Q (m ³ /s)
05/05/2003	0,094	07/07/2003	0,006	03/09/2003	0,018

Il DMV individuato da ARPA (1997) con il metodo Valtellina discretizzato è di 0,02 m³/s (1,4 l/s/km²). Con i risultati delle indagini sperimentali si sono, invece, conseguiti i seguenti valori di deflusso relativi alla conservazione del 10% della fauna ittica ed alla diversificazione morfoidrologica dell'alveo bagnato del T. Sillaro.

Tabella 5: valori di deflusso

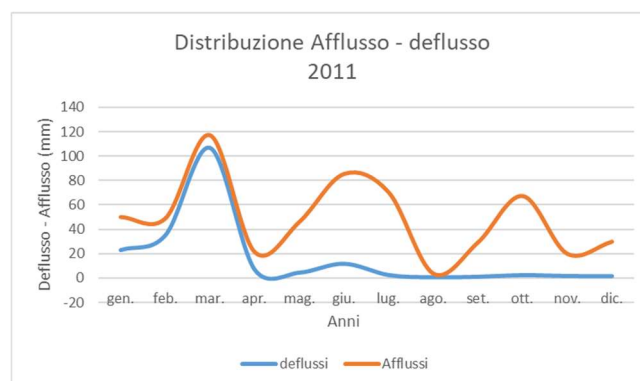
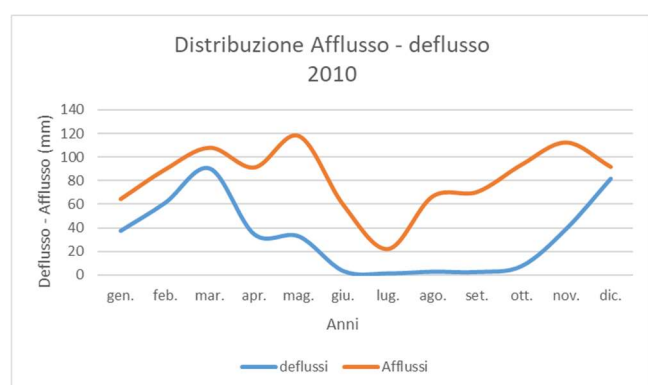
Cavedano		Substrato		Velocità		Profondità	
l/s/km ²	m ³ /s	l/s/km ²	m ³ /s	l/s/km ²	m ³ /s	l/s/km ²	m ³ /s
13,47	0,22	5,51	0,09	6,12	0,10	6,12	0,10

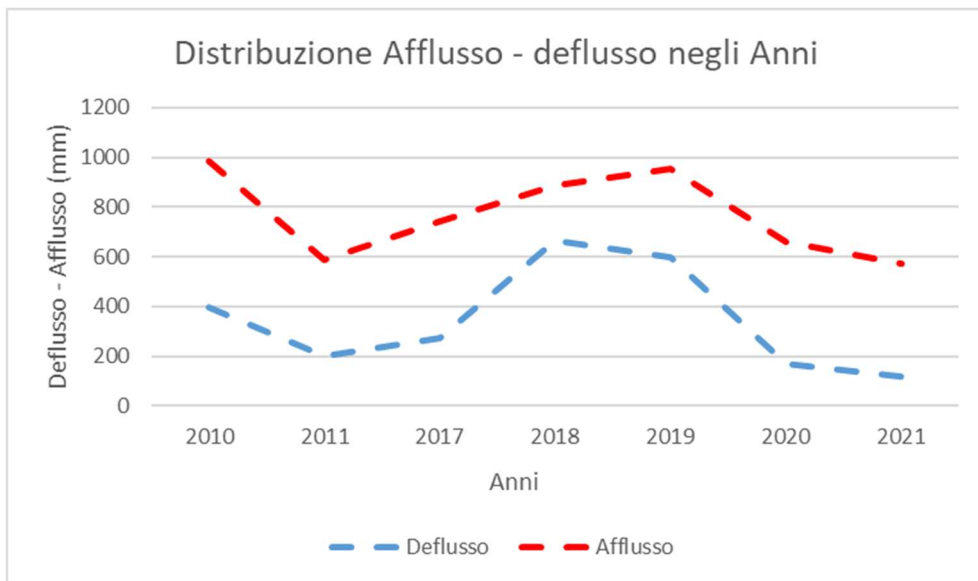
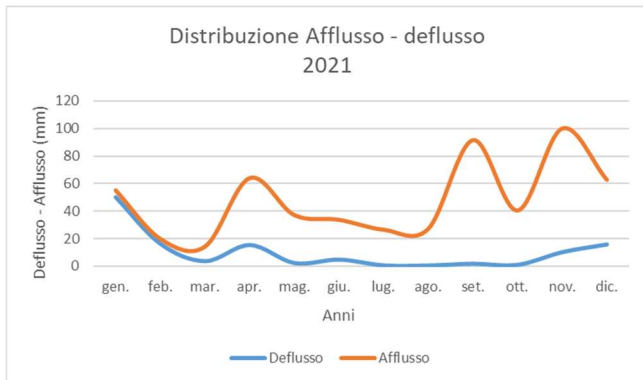
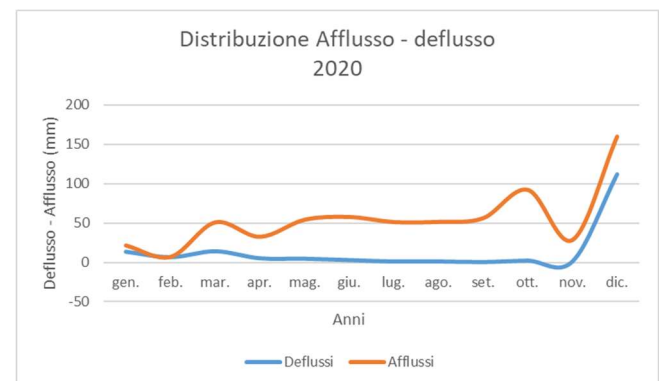
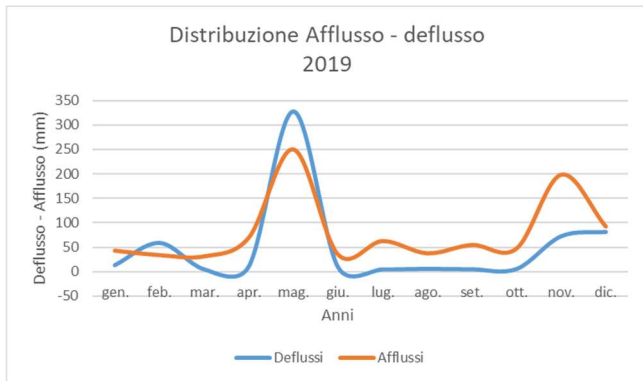
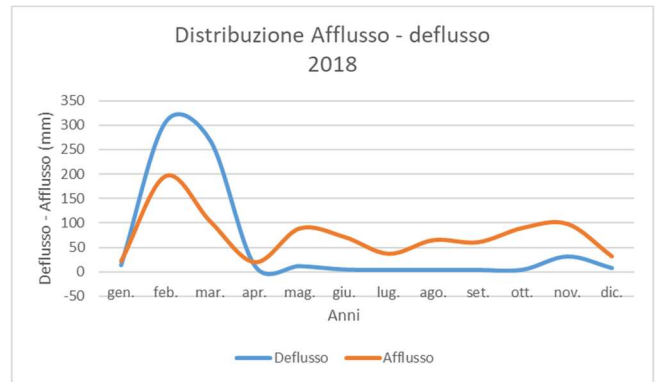
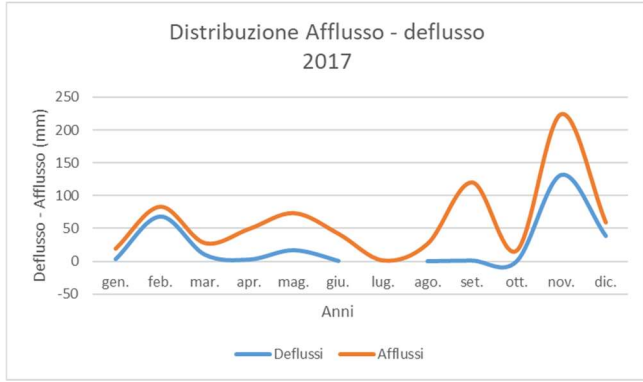
In considerazione del modestissimo deflusso misurato il 7/7/2003 in una condizione che si può considerare naturale, per la completa assenza di alterazioni antropiche, pare opportuno definire un valore di DMV inferiore a quello individuato sperimentalmente: DMV di tutela pari a 0,05 m³/s (3,1 l/s/km²) con un identico valore di allerta.

2.4. Deflussi - Afflussi

Inoltre, mediante la consultazione degli stessi annali idrologici, è stato possibile effettuare un confronto tra afflussi e deflussi relativi al periodo 2010 – 2021 relativi alla stessa stazione pluviometrica di Castel San Pietro. La serie è mancante di alcune annualità in quanto a seguito della revisione del 2020 la stazione di riferimento è stata invalidata. Nell'analisi si mettono a confronto i dati relativi agli afflussi meteorici e quelli dei deflussi. Come si può notare dai seguenti grafici, nella serie analizzata, gli afflussi meteorici sono maggiori rispetto ai deflussi.

Figura 5: afflussi e deflussi registrati nella stazione di Castel San Pietro (periodo 2010 – 2021)





3. ASPETTI IDRAULICI

3.1. Determinazione altezza critica delle piogge

Per la determinazione delle altezze critiche di pioggia con il metodo di Gumbel, relative al bacino idrografico B1, del Sillaro, si è provveduto alla individuazione, dall'esame degli Annali regionali dell'Agenzia Regionale Prevenzione e Ambiente, delle altezze massime di pioggia registrate per la durata di 1, 3, 6, 12, 24 ore.

I dati si riferiscono alla stazione pluviometrica di Castel San Pietro e riguardano 11 anni di osservazioni, dal 2010 al 2021.

Nel seguito si riportano i dati pluviometrici tabellati e quelli ottenuti, dall'elaborazione statistica effettuata con il metodo di Gumbel, relativi alle altezze massime (H_{max}) e critiche (H_{crit}) di pioggia.

Dopo una breve descrizione del metodo "Gumbel", si riportano nel seguito le formule adottate per il calcolo delle altezze di pioggia citate.

Nella progettazione di opere idrauliche orientate al controllo delle portate di piena, è prioritariamente indispensabile procedere alla stima della portata massima prevedibile che le solleciterà nel corso della loro vita prevista.

La portata, nella maggior parte dei casi, è originata dalle precipitazioni meteoriche e, più in generale, dipenderà dalle caratteristiche molto variabili, sia nel tempo che nello spazio, delle trasformazioni che l'acqua subisce durante il suo ciclo idrologico. In siffatte condizioni, è praticamente impossibile calcolare la massima portata prevedibile in senso deterministico e bisognerà, quindi, affrontare il problema nel solo modo possibile, e cioè in termini probabilistici. Significa, cioè, che la portata di piena va considerata come una variabile casuale, la quale, conseguentemente, dovrà essere stimata relativamente ad un livello di probabilità che essa ha di non essere superata o, meglio ancora, relativamente ad un periodo di tempo (detto tempo di ritorno) che intercorre, in media, tra due eventi in cui il valore di tale portata viene superato. In genere, è possibile riconoscere due tipi di problemi, a seconda del tipo di informazioni di cui si dispone:

1. stima della portata di piena di progetto direttamente dall'analisi probabilistica di osservazioni dirette di portata fatte in passato nel sito;
2. stima della portata di piena di progetto attraverso l'analisi probabilistica preliminare delle precipitazioni nel bacino idrografico interessato e la simulazione conseguente del processo della loro trasformazione in deflussi.

Il calcolo che seguirà si occupa del secondo caso, quello cioè riguardante, in particolare, i bacini idrografici non monitorati e di non eccessive dimensioni. Pertanto, in numerosi casi pratici si dispone solo delle precipitazioni meteoriche in alcuni punti del bacino. In tali casi la portata sarà stimata simulando, attraverso un modello matematico, il processo di trasformazione afflussi-deflussi nel bacino idrografico. Nel seguito viene affrontato il calcolo mediante l'analisi probabilistica delle precipitazioni adottando le formule appresso riportate.

$$H_{\max}(t, T) = m - \frac{\left(\ln \left(- \ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right) \right)}{k} \quad (1)$$

$$H_{\text{crit}}(t, T) = a \times t^n \quad (2)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (H_i - \bar{H}_i)^2}{n - 1}}$$

$$k = \frac{1}{0,78 \times s}$$

$$m = \bar{H}_i - \frac{0,577}{k}$$

Per la (2) il coefficiente "a" e l'esponente "n" sono stati determinati con il metodo dei minimi quadrati, secondo le seguenti relazioni matematiche:

$$n = \frac{\sum (\log t - \overline{\log t}) \times \log H_{\max}(t, T)}{\sum (\log t - \overline{\log t})^2}$$

$$a = 10^{(\overline{\log H_{\max}(t, T)} - n \cdot \overline{\log t})}$$

I valori delle Hcrit (t,T) calcolate, unitamente agli altri parametri idrologici, sono riportati, in appendice, in appositi diagrammi e tabelle.

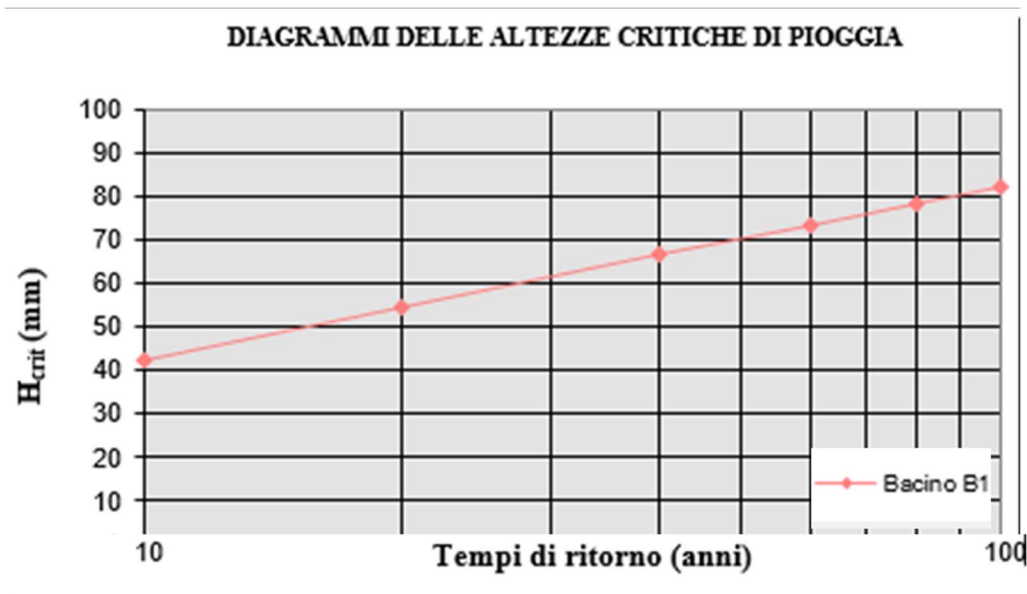
I simboli adottati nelle formule assumono i seguenti significati:

$H_{\max}(t, T)$ = altezza massima di pioggia con tempi di ritorno;

$H_{\text{crit}}(t, T)$ = altezza critica di pioggia con tempi di ritorno;

- \overline{H}_i = media aritmetica delle altezze massime di pioggia registrate per la durata di 1, 3, 6, 12, 24 ore negli anni 2010÷2021;
s = deviazione standard;
Ln = logaritmo naturale;
t = durata della pioggia di 1, 3, 6, 12, 24 ore;
T = tempi di ritorno di 100, 80, 60, 40, 20, 10 anni.

Tr(anni)	Altezza critica di Pioggia "H _{crit} " (mm)
	Bacino B1
100	82.11
80	78.29
60	73.37
40	66.41
20	54.41
10	42.18



3.2. DETERMINAZIONE PORTATA DI MASSIMA PIENA E CURVA DI PROBABILITA' PLUVIOMETRICA
 Per la stima di massima piena è stata effettuata un'analisi statistica dei dati pluviografici massimi registrati ai pluviografi per una durata di 1, 2, 3, 6, 12, 24 ore considerando un tempo di ritorno di 200 anni e come coefficiente di deflusso quello medio degli anni considerati del periodo dal 2010 al 2021 pari a 0.35.

$$Q_{max} = \frac{C * H_c * S}{3.6 * t_c}$$

C = coefficiente di deflusso

H_c = altezza critica di pioggia

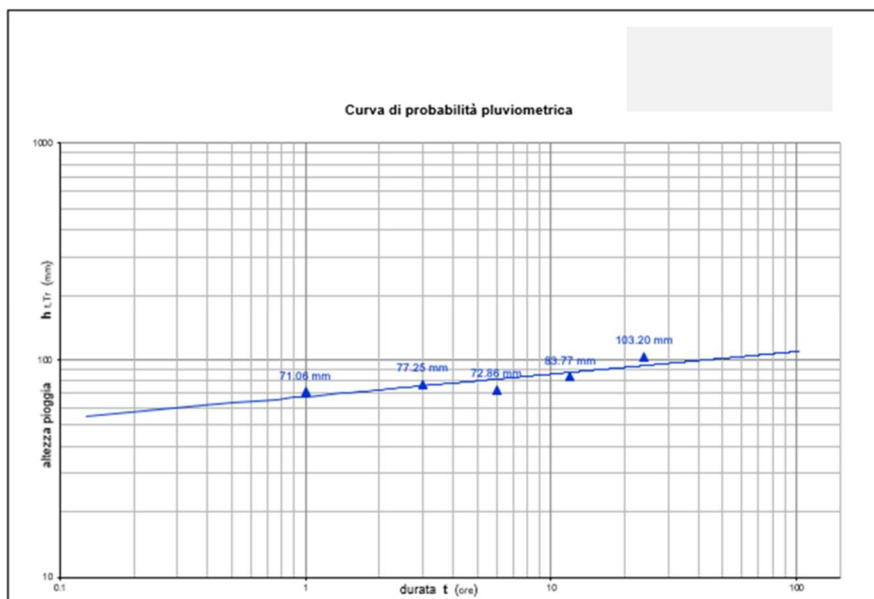
S = superficie di bacino

Tc = tempo di corrivazione

3.6 = fattore che permette di ottenere la Qmax in mc/sec

È stata stimata una Qmax per un tempo di ritorno di 200 anni pari a 120.50 mc/sec.

Mettendo in relazione le altezze di pioggia e la loro durata, per il tempo di ritorno considerato si ottiene la curva di probabilità pluviometrica.



4. CONCLUSIONI

Nel presente documento è stato effettuato uno studio dei dati pluviometrici del Bacino idrografico Sillaro, interessante l'area di indagine degli aerogeneratori, sulla base dei dati bibliografici.

È stato riscontrato quanto segue:

- Dall'analisi dei dati che vanno dal 2010 al 2021 si evince che i picchi massimi delle piogge si verificano nel periodo autunno – inverno; i picchi minimi si registrano nel periodo secco, primavera-estate;
- Per le annualità disponibili sugli annali idrologici è stato possibile eseguire un confronto tra gli afflussi meteorici e i deflussi da cui si evince che gli afflussi sono sempre maggiori dei deflussi;

TECNICI INCARICATI

Dott. Geol. Antonio Console

Dott.ssa Geol. Chiara Gugliotti

