Firmato digitalmente da: PAOLELLA LUCA C=IT

DAVINCI ENGINEERING & INNOVATION S.R.L.

PI GRECO
Ingegneria Sostenibile

COMUNI DI MONTALTO DI CASTRO (VT) E MANCIANO (GR)

RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA

"Progetto di impianto eolico nel comune di Montalto di Castro (VT)"

COMMITTENTE:

Switch Engineering
via Francesco Benaglia, 13, 00153
ROMA (RM)

Ing. Luca Paolella, Ph. D.
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Frosinone.
Albo A, n. 2591.

Ing. Fabrizio Patriarca
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Frosinone.
Albo A, n. 2817.

Ing. Matteo Gentile
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Frosinone.
Albo A, n. 2843.

Firmato digitalmente da: PATRIARCA FABRIZIO
Firmato il 31/10/2023 09:27
Seriale Certificato: 1330876
Valido dal 06/04/2022 al 06/04/2025
InfoCamere Qualified Electronic Signature CA

MATTEO GENTILE
31.10.2023 09:41:24
GMT+01:00

Sommario

1. Premessa e oggetto 3
2. Morfometria e individuazione del bacino 7
3. Proprietà lineari 9
4. Proprietà areali 10
5. Studio idrologico 12
6. Calcolo delle portate al colmo di piena 18
7. Conclusioni 25
8. Appendice 27

1. PREMESSA E OGGETTO

La presente relazione riguarda il progetto di un impianto eolico ubicato nel Comune di Montalto di Castro (VT) e ha la finalità di valutare gli impatti, dal punto di vista idraulico, derivanti dall'impermeabilizzazione di alcune porzioni di terreno che fungeranno da piazzale per gli aerogeneratori del suddetto impianto; in particolare, si avranno n. 6 aerogeneratori (individuati nel prosieguo della trattazione dal codice ID "MO0X" in cui la "X" sarà sostituita dalla cifra identificativa) e per ognuno di essi verranno realizzate delle piazzole di servizio aventi la caratteristica di essere costituite da materiale stabilizzato drenante; in merito a queste, per la valutazione dell'incidenza della trasformazione sull'aumento delle portate defluenti nello stato post operam, verrà considerata una superficie quasi totalmente impermeabile (φ = 0,90).

Oltre alle piazzole di cui sopra, è prevista la realizzazione di un Cavidotto max 30 e 36 kV, che non incide sulle caratteristiche idrologico/idrauliche dell'area poiché non comporta modifiche nell'uso del suolo, di una Stazione Elettrica d'Utenza, di un impianto di Storage e di un Impianto di Rete per la connessione, questi ultimi ubicati nel territorio comunale di Manciano (GR) e aventi aree di ingombro complessivamente pari a circa 5'000,00 mq.

Vengono tuttavia indicati, per completezza di trattazione, tutti gli attraversamenti previsti per la realizzazione del cavidotto, con indicazione del nominativo dei corpi idrici interessati dagli stessi e con le loro coordinate geografiche (Sistema di riferimento WGS84, EPSG:4326):

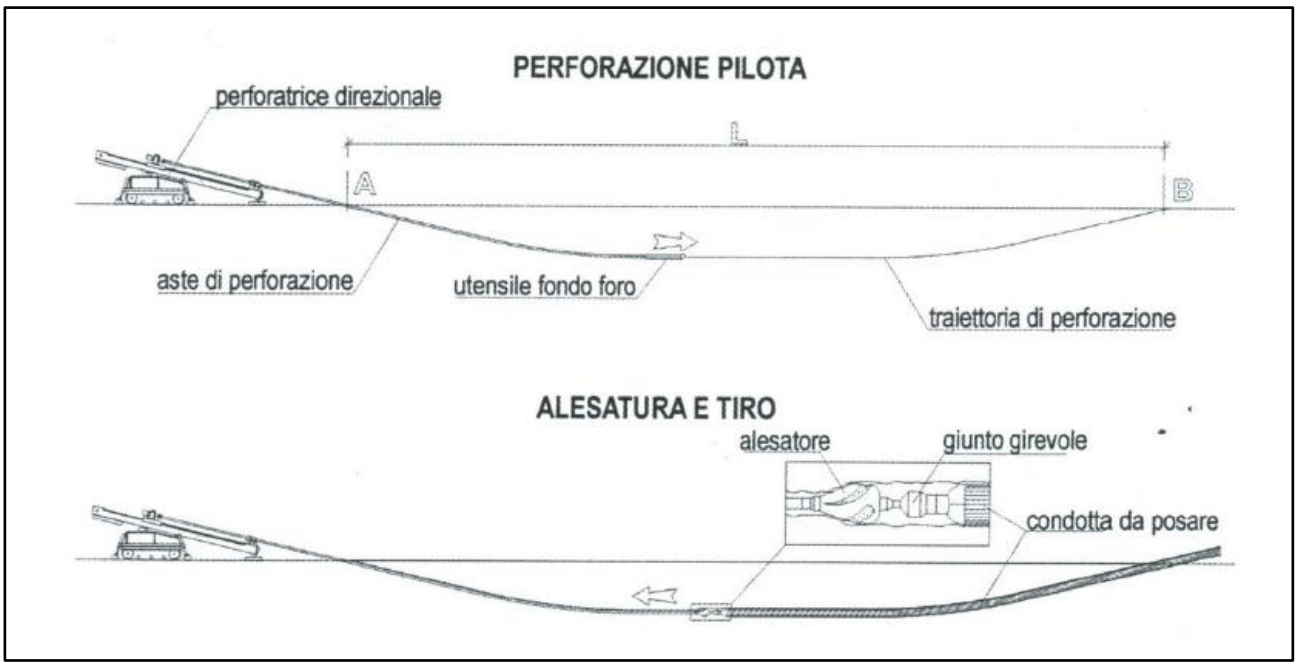
id	x	y	id_corso d'acqua attraversato (DA SIT)
1	11.538	42.418	Asta secondaria
2	11.545	42.417	Fosso del Tafoncino
3	11.56	42.439	Fosso del Tafone
4	11.575	42.437	Fosso dell'Acqua Bianca
5	11.585	42.437	Fosso di Ponte Rotto
6	11.586	42.433	Fosso di Ponte Rotto/Asta secondaria
7	11.583	42.411	Fosso di Ponte Rotto
8	11.564	42.406	Asta secondaria
9	11.605	42.436	Asta secondaria
10	11.613	42.414	Asta secondaria

In particolare, la posa del cavidotto avverrà mediante la tecnica di Trivellazione Orizzontale Controllata, consistente nel sottopasso dei corsi d'acqua del reticolo idrografico senza che sia necessario eseguire alcuno scavo preliminare e garantendo l'inalterabilità delle condizioni idrauliche degli stessi anche in fase di cantiere; nello specifico, tale tecnica prevede la perforazione del terreno con sonda teleguidata a sua volta ancorata ad aste metalliche.

Le fasi principali del processo di Trivellazione Orizzontale Controllata sono le seguenti:

- Delimitazione delle aree di cantiere;
- Realizzazione del foro pilota;
- Alesatura del foro pilota e contemporanea posa dell'infrastruttura.

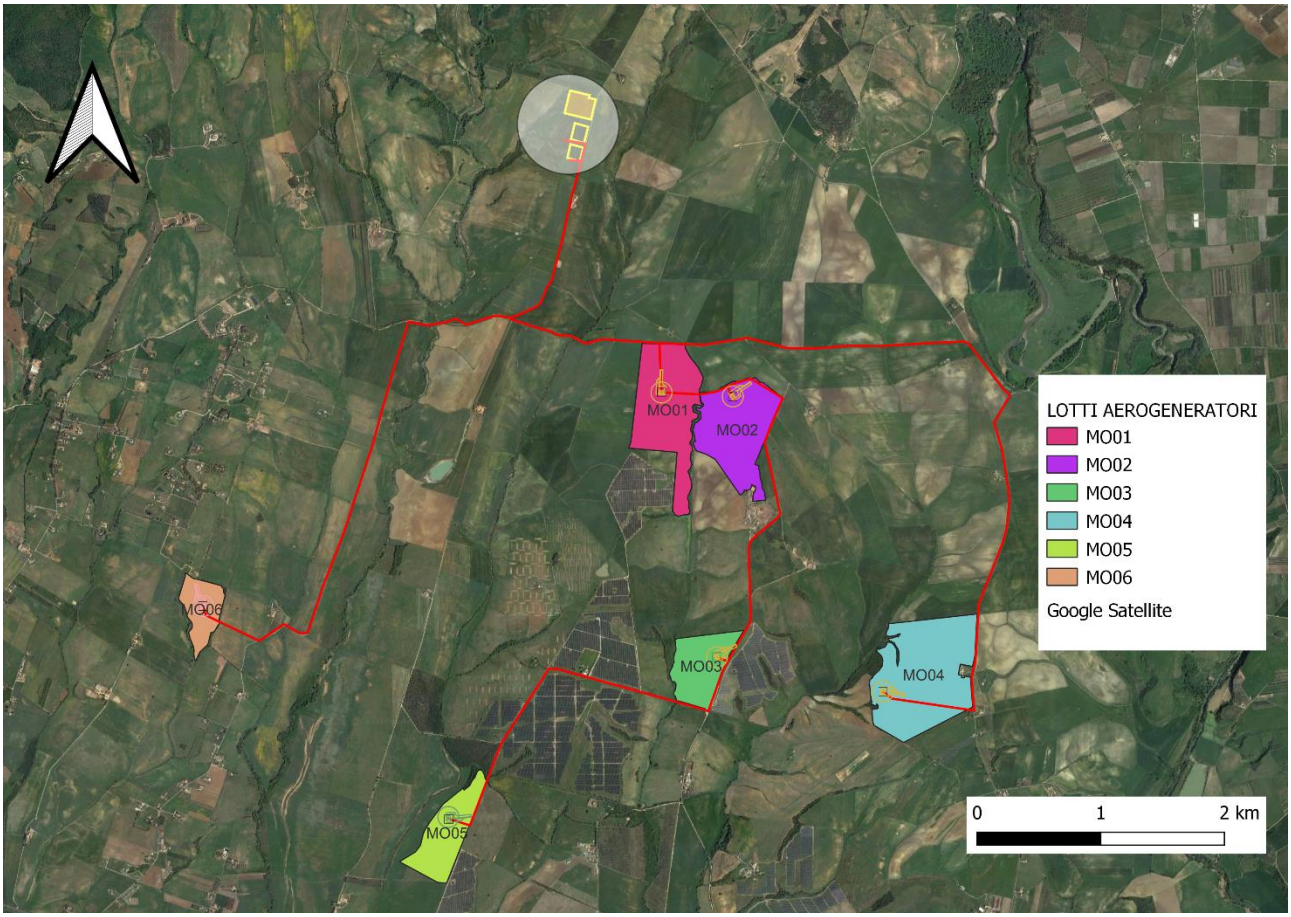
Si riporta di seguito un'immagine esplicativa delle modalità di posa in opera di cavi mediante TOC:



Principali fasi realizzative di attraversamento mediante TOC

L'impianto eolico oggetto della presente trattazione ricadrà in parte nel territorio comunale di Montalto di Castro (VT), in parte (porzione occupata solo da un tratto del cavidotto, dalla Stazione Elettrica d'Utenza, dall'impianto di Rete per la connessione e dall'accumulo) su terreni di competenza del Comune di Manciano (GR). Come accennato sopra, tutti gli aerogeneratori e le piazzole degli stessi ricadono nel territorio di competenza del Comune di Montalto di Castro (VT), quindi si specificano le coordinate WGS84 di ciascuno dei 6 aerogeneratori (per maggiori dettagli si veda All. R01 – Relazione Tecnica Generale).

- MO01: Latitudine = 42.4334; Longitudine = 11.5825;
- MO02: Latitudine = 42.4329; Longitudine = 11.5895;
- MO03: Latitudine = 42.4140; Longitudine =11.5872;
- MO04: Latitudine = 42.4111; Longitudine = 11.6034;
- MO05: Latitudine = 42.4029; Longitudine = 11.5603;
- MO06: Latitudine = 42.4189; Longitudine = 11.5368.



Localizzazione delle singole particelle su base satellitare e del cavidotto di collegamento alle aree SE/SSEU/BESS (indicate dal cerchio in bianco).

La presente relazione ha lo scopo di valutare le variazioni di portata che si possono avere a seguito dell'esecuzione dell'intervento, pertanto è stato scelto di effettuare dapprima un'analisi d'insieme individuando un unico bacino idrografico considerando come sezione di chiusura la foce del Fosso del Tafone e calcolando le differenze di portate di picco nei vari periodi di ritorno considerati (50, 100 e 200 anni); la variazione delle portate tra gli stati ante e post operam sono influenzate dall'impermeabilizzazione del territorio su cui ricadrà l'impianto, pertanto si è posta una notevole attenzione alla quantificazione dei coefficienti di afflusso globali del bacino analizzato. A tal proposito, avendo fatto riferimento alla procedura di Valutazione delle Piene in Italia (i.e. procedura VAPI), si è notato che il bacino così individuato ricadeva in tre sottozone differenti, quindi, come dettagliatamente descritto nel capitolo "*Studio Idrologico"*, sono state adottate delle semplificazioni al fine di poter studiare adeguatamente le caratteristiche idrologiche del bacino nella sua interezza.
Come sopradescritto, nella presente relazione si svolge un'analisi globale (su scala di bacino idrografico) dell'incidenza idraulica della trasformazione territoriale, mentre per un'analisi di dettaglio, facente riferimento al principio dell'invarianza idraulica (ai sensi della DGR 117/2020) si deve far riferimento all'elaborato "*I.2 Relazione sull'invarianza idraulica*" allegato alla presente, in cui verranno calcolati i volumi minimi da invasare per garantire la verifica d'invarianza idraulica per ogni singolo piazzale degli aerogeneratori.

2. MORFOMETRIA E INDIVIDUAZIONE DEL BACINO

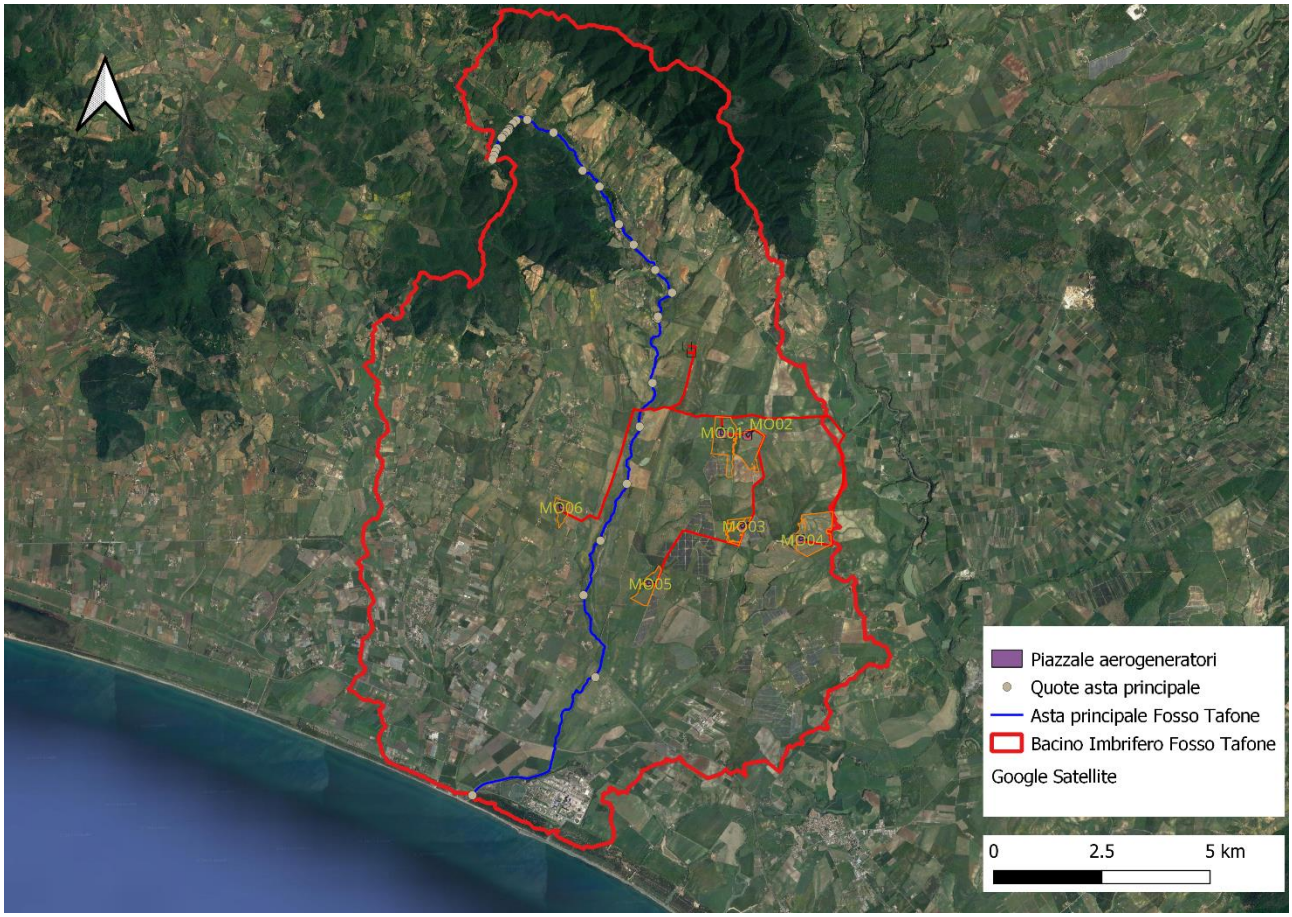
Le modellazioni idrauliche svolte hanno portato alla definizione probabilistica dei valori delle portate che potenzialmente defluiranno in corrispondenza della sezione di chiusura dell'alveo analizzato, vale a dire il Fosso del Tafone, la cui sezione di chiusura è stata posta in corrispondenza della sua foce, scelta che ha consentito di analizzare il bacino nella sua totalità; nel seguito della trattazione del presente paragrafo, verranno illustrate le caratteristiche morfometriche a cui si è addivenuti.

Come già specificato, tutte le analisi idrauliche e idrologiche sono state condotte sul bacino del Fosso del Tafone in quanto quest'ultimo, che risulta essere l'asta principale dello studio condotto, è il corpo idrico superficiale che intercetta le acque defluenti sul terreno oggetto di trasformazione; la superficie del bacino in analisi è di circa 155,60 km^2, l'altezza minima è pari a 0,5 m s.l.m. (coincidente con la sezione di chiusura considerata) mentre l'altezza massima è pari a 510,76 m.

Il bacino è stato ricavato a partire dalla sezione di chiusura coincidente con la foce del Fosso del Tafone nel mar Tirreno, posta in prossimità della Centrale termoelettrica ENEL "Alessandro Volta", e avente le seguenti coordinate WGS84 (*Latitudine = 42.359013; Longitudine = 11.505390*); una volta ricavato il bacino sotteso alla suddetta sezione di chiusura, sono stati eseguiti i calcoli mediante l'ausilio del modello afflussi-deflussi e del metodo della corrivazione per poter addivenire ai valori delle portate defluenti nella sezione considerata nelle condizioni ante e post operam.

A partire dai valori di portate stimati nelle condizioni ante operam e post operam, si è proceduto a valutare la variazione delle stesse per stimare l'impatto che la trasformazione territoriale apporterà, mentre per la stima dei volumi da laminare per verificare il principio dell'invarianza idraulica, si farà riferimento a quanto riportato nell'elaborato "*I.2 Relazione sull'invarianza idraulica*".

Le successive analisi hanno riguardato il Fosso del Tafone: esso nasce in prossimità del confine tra i territori comunali di Capalbio e Manciano, ad un'altezza di circa 241 m s.l.m. su una collina della Maremma Toscana e scorre nei territori dei Comuni di Manciano (GR) e Montalto di Castro (VT) per circa 23,4 km.



Individuazione del bacino imbrifero "Fosso del Tafone" e relativa asta principale su base satellitare.

Nel seguito della trattazione verranno descritti i processi di elaborazione dati che hanno portato al tracciamento delle curve ipsografiche del bacino analizzato e le operazioni per la valutazione dei coefficienti di afflusso, dei tempi di corrivazione dello stesso e, conseguentemente, delle portate di picco defluenti nella sezione di chiusura scelta sia nella condizione ante operam che in quella post operam.

Per quanto riguarda l'analisi dei dati, si è fatto ricorso al Digital Elevation Model con maglie aventi dimensioni 10 X 10 m (DEM 10 metri) reperibile sul sito dell'INGV (Tinitaly).

3. PROPRIETÀ LINEARI

Mediante l'ausilio del DEM è stato valutato l'andamento altimetrico del Fosso del Tafone.

Il tracciamento del suddetto profilo ha consentito di valutare le pendenze idraulicamente medie mediante la formula di Taylor-Schwartz, di seguito riportata:

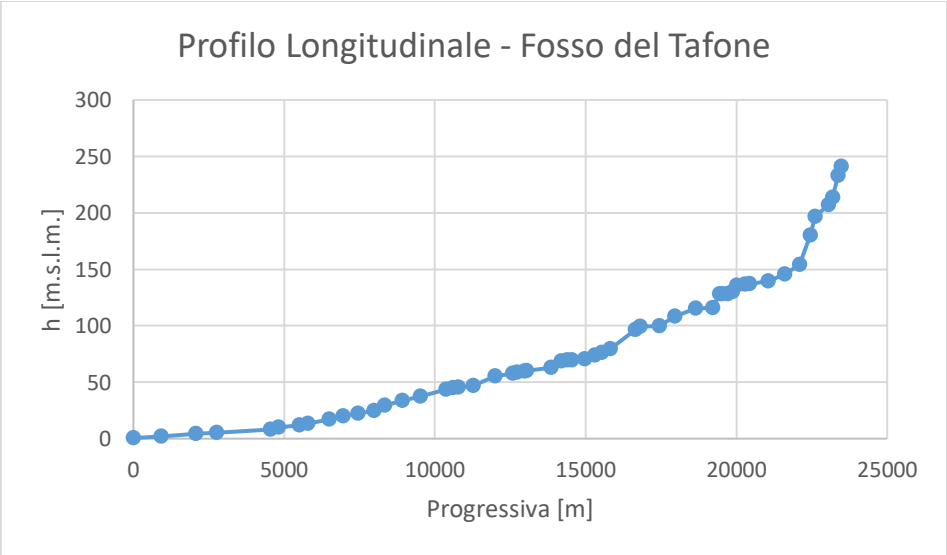
$$\sqrt{ia} = \frac{L}{\sum_{i=1}^{n} \frac{Li}{\sqrt{iai}}}$$

Dove:

- i_a = pendenza idraulicamente media dell'asta;
- L = lunghezza totale dell'asta;
- L_i = lunghezza dell'i-esimo segmento in cui viene suddivisa l'asta;
- i_{ai} = pendenza media dell'i-esimo segmento in cui viene suddivisa l'asta.

Come si evince dalla sovrastante formula, per calcolare il valore della pendenza idraulicamente media dell'asta principale, è stato necessario scomporla in n segmenti; per ognuno di questi tratti sono state calcolate le pendenze medie e le rispettive lunghezze mediante ausilio di un apposito tool sviluppato in ambiente GIS.

Si riporta di seguito il profilo longitudinale e i dati inerenti le proprietà lineari dell'asta del Fosso del Tafone:



Fosso del Tafone	
L_{asta} [km]	23,47
ia	0,0038
ia [%]	0,38%

4. PROPRIETÀ AREALI

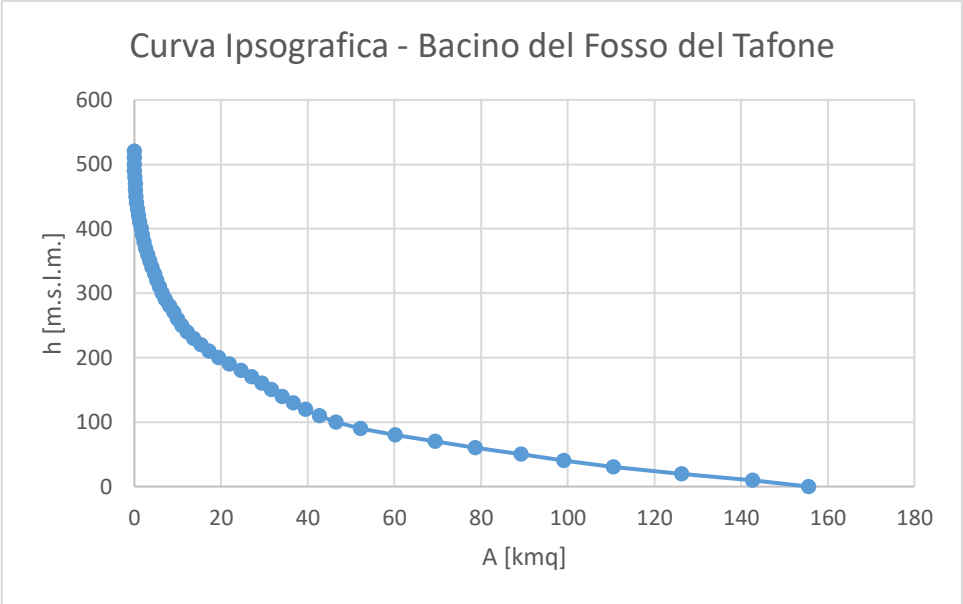
In seguito al tracciamento delle linee di displuvio mediante ausilio di software GIS dedicato, è stata misurata l'area del bacino oggetto di studio e, per la trattazione idraulica dei modelli afflussi-deflussi, si è fatto riferimento a relazioni che legano le proprietà areali a quelle altimetriche di quest'ultimo.
Lo strumento che solitamente viene impiegato per ottenere queste funzioni è la curva ipsografica, rappresentante: sull'asse delle ordinate un determinato valore di quota, sull'asse delle ascisse il corrispondente valore di superficie parziale del bacino posta al di sopra della quota considerata.
Per il tracciamento della curva ipsografica occorre disporre di dati inerenti le superfici racchiuse tra curve di livello consecutive al fine di correlarle alle rispettive quote altimetriche medie.
I procedimenti di cui sopra sono molto importanti in quanto, oltre a rendere disponibili tutti i valori che consentono il tracciamento della curva ipsografica, permettono di calcolare l'altitudine media del bacino mediante la seguente formula:

$$hm = \frac{\sum hj * Aj}{A}$$

Dove:

- hj = altezza media riferita all'area Aj;
- Aj = porzione di area racchiusa tra due isoipse consecutive;
- A = area totale del bacino.

Viene di seguito riportata la curva ipsografica e i dati relativi alle proprietà areali del bacino individuato; la tabella contenente i valori utilizzati per ricavare la suddetta curva, invece, è riportata in **Appendice**:



Il Bacino del Fosso del Tafone presenta, come grado di evoluzione, uno stadio di senilità in quanto il terreno, posto in prossimità delle coste, ha subito notevoli fenomeni erosivi.

5. STUDIO IDROLOGICO

Lo studio viene condotto applicando la metodologia prevista dal Modello di Regionalizzazione delle piogge intense secondo la procedura "VAPI" (VAlutazione delle Piene in Italia) portato avanti dalla Linea 1 del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) per l'Italia centrale.

L'adozione della legge TCEV è stata introdotta da Versace e Rossi a seguito della constatazione del fatto che in numerosi pluviometri si sono registrati alcuni eventi assolutamente straordinari, indicati nella letteratura anglosassone come *outliers*. La probabilità di questi eventi è sottostimata da una legge di Gumbel o da una legge log-normale, applicata a tutti i valori registrati.

Secondo l'approccio TCEV, i valori estremi di una grandezza idrologica provengono da due diverse popolazioni: una dagli eventi normali (componente bassa) ed un'altra dagli eventi eccezionali (outliers) legati a differenti fenomeni meteorologici.

Nel caso delle piogge intense, il numero degli eventi straordinari registrati da un singolo pluviometro è molto basso e ciò rende impossibile una stima efficace dei parametri della componente alta facendo riferimento alle singole serie di osservazioni. È necessario quindi far ricorso a metodi regionali, in modo da utilizzare per la stima dei parametri tutte le osservazioni di una regione pluviometricamente omogenea. La regionalizzazione viene eseguita sulle massime altezze giornaliere h_d, in modo da utilizzare anche i dati dei pluviometri ordinari, di cui si ha un ampio numero di registrazioni.

La distribuzione TCEV si esprime mediante la seguente formula:

$$P_X(x) = e^{-\Lambda_1 e^{-\frac{x}{\Theta_1}} - \Lambda_2 e^{-\frac{x}{\Theta_2}}}$$

dove X è la variabile indipendente, x è un generico valore di X e gli altri sono parametri da valutare in relazione ai livelli di regionalizzazione del modello; in particolare essi indicano:

- Λ_1 e Λ_2: il numero medio annuo di eventi indipendenti superiori a una soglia delle due popolazioni;
- Θ_1 e Θ_2: il valore medio dell'intensità degli eventi che appartengono rispettivamente alla componente bassa e alla componente alta.

Ponendo $\Theta^* = \Theta_1 / \Theta_2$ e $\Lambda^* = \Lambda_2 / \Lambda_1^{1/\Theta^*}$ si possono considerare per le successive elaborazioni i 4 parametri Λ^*, Θ^*, Λ_1 e Θ_1.

Secondo la procedura proposta da Versace, vengono considerati tre livelli di regionalizzazione, individuando:

- *al primo livello*, regioni omogenee rispetto ai parametri Λ* e Θ*, da cui deriva l'omogeneità rispetto al coefficiente di asimmetria;
- *al secondo livello*, zone omogenee anche rispetto al parametro Λ_b; da cui deriva l'omogeneità rispetto al coefficiente di variazione;
- *al terzo livello*, sottozone omogenee rispetto alla dipendenza del parametro $\Theta_{b,d}$ e quindi della media $\mu_{hd,}$ da alcune grandezze geografiche locali.

Per la determinazione dell'intensità di pioggia per differenti tempi di ritorno, è utilizzata la procedura proposta da Calenda G., Casentino C. (1996) relativa all'analisi regionale delle piogge brevi dell'Italia Centrale.

Le curve di crescita necessarie per correlare il periodo di ritorno *T* con il coefficiente probabilistico di crescita K_T sono definite dalla seguente relazione:

$$T = \frac{1}{1 - F_k(K_T)} = \frac{1}{1 - \exp\left(-\Lambda_1 \cdot e^{-\eta K_T} - \Lambda_* \cdot \Lambda_1^{\frac{1}{\theta_*}} \cdot e^{-\eta K_T/\theta_*}\right)}$$

I compartimenti di Roma e Pescara risultano suddivisi complessivamente in 3 zone omogenee, le quali sono suddivise ulteriormente per il terzo livello di regionalizzazione nei confronti delle precipitazioni intense secondo le aree riportate nella figura sottostante.

È emerso che il bacino oggetto di studio ricade in tre differenti sottozone VAPI: B40, A9, A4; questa situazione ha comportato delle valutazioni inerenti la scelta di una singola sottozona che potesse essere rappresentativa delle condizioni meteorologiche (dati riguardanti unicamente gli afflussi) del bacino considerato, quindi, in prima analisi sono state considerate le estensioni areali del bacino ricadenti nelle tre sottozone. Si riportano nella tabella sottostante i valori delle superfici del bacino ricadenti nelle differenti sottozone e la loro percentuale rispetto alla totale estensione areale del bacino stesso:

Bacino del Fosso del Tafone		
Sottozona	**Area del bacino [kmq]**	**Area del bacino [%]**
B40	2,36	2%
A4	53,24	34%
A9	100	64%
Totale	155,6	100%

Come si evince dalla tabella sopra riportata, la porzione di area del bacino ricadente nella sottozona B40 risulta essere modestissima rispetto alla totale estensione areale; pertanto, si è proceduto non considerando tale porzione nelle successive analisi.

A questo punto, si sottolinea che il resto della trattazione sarà suddiviso tra le modellazioni svolte in riferimento alla sottozona A4 e quelle riferite alla sottozona A9. Tale diversificazione ha condotto alla determinazione di differenti valori di portata e, per porsi in condizioni di sicurezza, verranno considerati quelli maggiori.

Per quanto sopra esposto, i valori considerati per la costruzione delle curve intensità-durata mediante la procedura Va.P.I devono essere distinti per la sottozona A4 e per la sottozona A9.

I parametri del primo e del secondo livello di regionalizzazione coincidono per le due sottozone analizzate e sono riportati nella tabella sottostante:

	1° livello di regionalizzazione		2° livello di regionalizzazione	
Zone	Λ^*	θ^*	Λ_1	β
A4, A9	0.174	3,49	29,314	4,48

La stima dell'intensità di precipitazione puntuale (terzo livello di regionalizzazione) di durata *d* e tempo di ritorno *T* si ottiene moltiplicando il fattore di crescita (K_T) con l'intensità indice [$m(i_t)$] definita dalla legge intensità-durata a tre parametri:

$$m(i_t) = m(i_0) \times \left(\frac{b}{b+t}\right)^m \left[\frac{mm}{h}\right]$$

dove:

- $m(i_o)$, media del massimo annuale dell'intensità istantanea;
- b, parametro di trasformazione della scala temporale indipendente dal tempo di ritorno (T) e dalla durata (t);
- m, parametro adimensionale compreso tra 0 e 1 espresso secondo la seguente espressione.

$$m = \frac{\ln[m(i_g)] - \ln[m(i_o)] + \ln[\delta]}{\ln\left[\frac{b}{b+24}\right]}$$

Con $\delta = m(i_{24})/m(i_g) = 1.15$ - rapporto tra l'intensità media nelle 24 ore e quella giornaliera, dove $m(i_g)$ è la media del massimo annuale dell'intensità giornaliera; essa dipende linearmente dalla quota della stazione pluviometrica (z) e vale:

$$m(i_g) = (c \times z + d) / 24$$

Le intensità di pioggia, considerato un determinato periodo di ritorno, si calcolano mediante la seguente formula (di seguito esplicitata per la porzione di bacino ricadente nella sottozona A4):

$$i_t(T) = K_T * m(i_t) = K_T * 168.20 \left(\frac{0.1705}{0.1705 + t}\right)^{0.7881}$$

Per quanto riguarda i valori inerenti il terzo livello di regionalizzazione delle piogge, occorre riportare le tabelle riferite singolarmente alle due sottozone analizzate; per quanto riguarda la sottozona A4 avremo:

	C	d	b	$m(i_o)$ /$m(i_{24})$
Zona	(mm/m)	(mm)	(h)	
A4	0.0339	67,67	0.1705	49,62

Per quanto riguarda la sottozona A9 avremo:

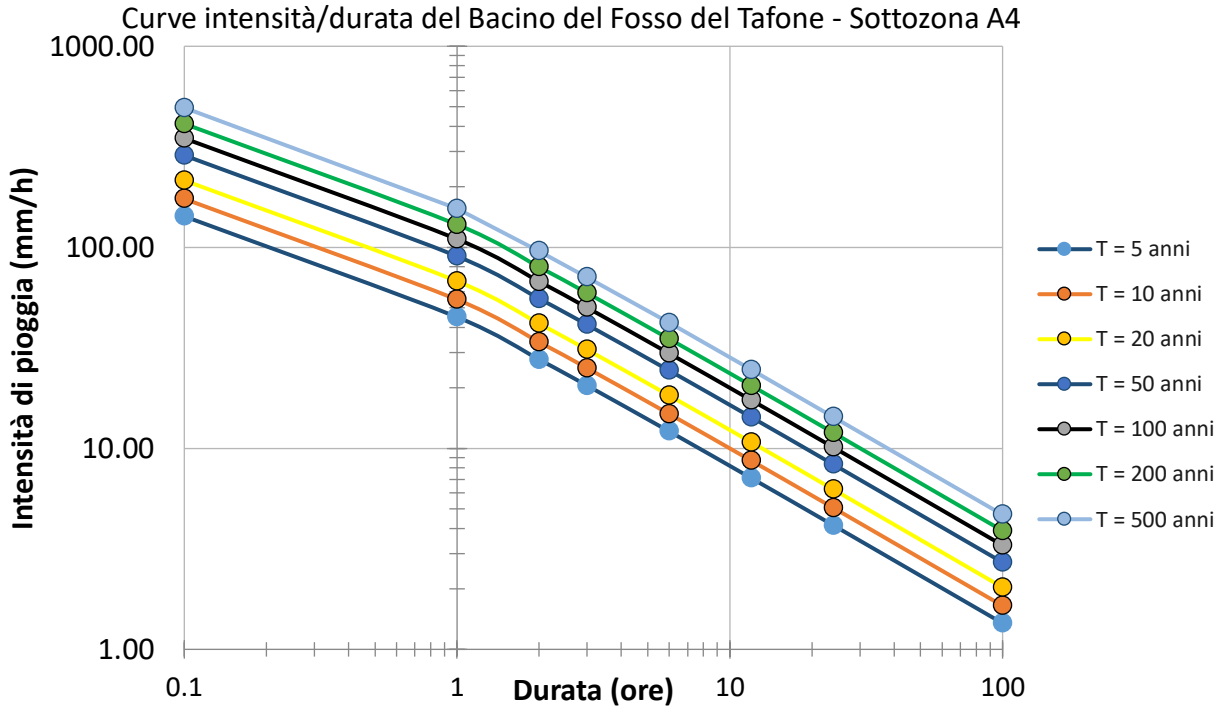
	C	d	b	$m(i_o)$ /$m(i_{24})$
Zona	(mm/m)	(mm)	(h)	
A9	0.02671	61,61	0.1502	46,45

La trattazione prosegue differenziando i valori relativi al terzo livello di regionalizzazione per il bacino analizzato in relazione alle due sottozone in cui ricade (A4, A9) e i corrispettivi valori di intensità di pioggia per periodi di ritorno pari a 5, 10, 20, 50, 100, 200 e 500 anni e per durate di pioggia pari a 0.1, 1, 2, 3, 6, 12, 24,100 ore.

Bacino Fosso del Tafone – Sottozona A4

Z	$m(i_g)$	$m(i_{24})$	$m(i_o)$	m
(m.s.l.m.)	(mm/h)	(mm/h)	(mm/h)	
90,60	2,95	3,39	168,20	0.7881

T	5	10	20	50	100	200	500
KT	1,22	1,49	1,84	2,45	2,98	3,52	4,23
Durata (h)	Intensità di pioggia (mm/h)						
t	it(T=5)	it(T=10)	it(T=20)	it(T=50)	it(T=100)	it(T=200)	it(T=500)
0,1	142,63	174,19	215,11	286,43	348,39	411,52	494,53
1	44,96	54,91	67,81	90,29	109,82	129,72	155,88
2	27,63	33,75	41,68	55,50	67,50	79,73	95,82
3	20,50	25,04	30,92	41,17	50,07	59,15	71,08
6	12,13	14,81	18,29	24,36	29,63	35,00	42,06
12	7,10	8,67	10,71	14,26	17,35	20,49	24,62
24	4,14	5,05	6,24	8,30	10,10	11,93	14,34
100	1,35	1,65	2,03	2,71	3,29	3,89	4,68

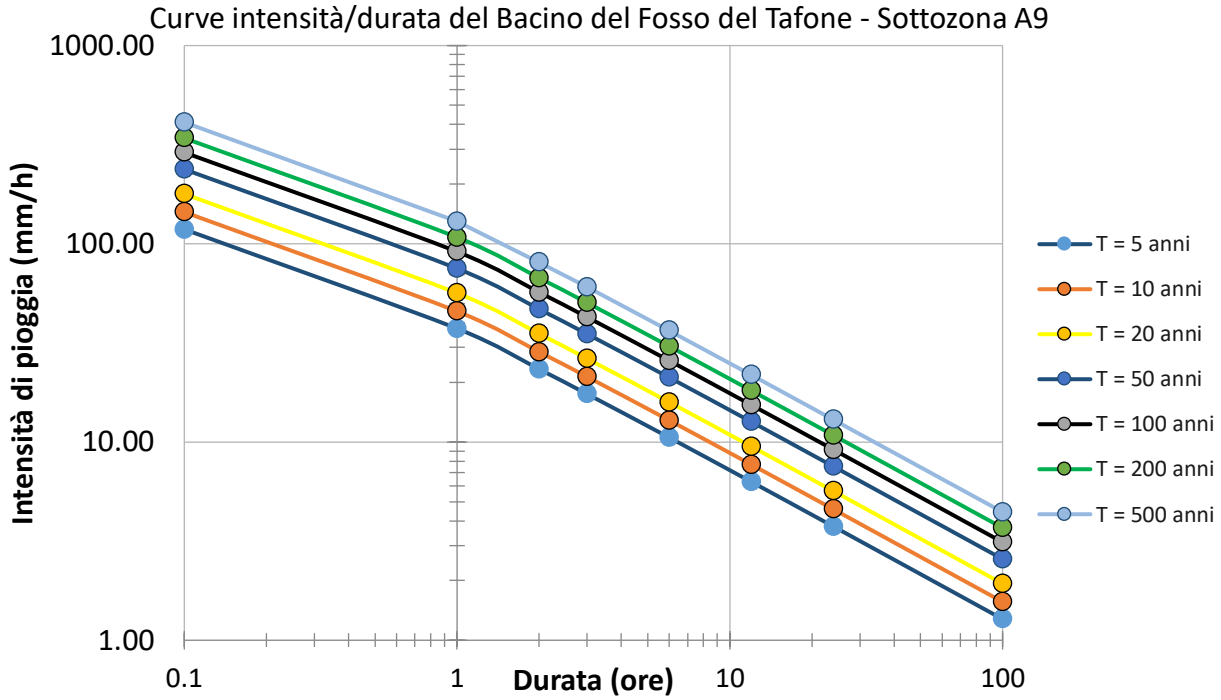


Rappresentazione in scala logaritmica dell'intensità di pioggia afferente il Bacino del Fosso del Tafone – Sottozona A4, in funzione della durata di pioggia e per i diversi periodi di ritorno.

Bacino Fosso del Tafone – Sottozona A9

Z	$m(i_q)$	$m(i_{24})$	$m(i_o)$	m
(m.s.l.m.)	(mm/h)	(mm/h)	(mm/h)	
90,60	2,67	3,07	142,51	0.7555

T	5	10	20	50	100	200	500
KT	1,22	1,49	1,84	2,45	2,98	3,52	4,23
Durata (h)	Intensità di pioggia (mm/h)						
t	it(T=5)	it(T=10)	it(T=20)	it(T=50)	it(T=100)	it(T=200)	it(T=500)
0,1	118,25	144,41	178,34	237,46	288,83	341,17	409,98
1	37,35	45,61	56,33	75,00	91,23	107,76	129,50
2	23,28	28,43	35,11	46,75	56,87	67,17	80,72
3	17,45	21,31	26,31	35,03	42,61	50,34	60,49
6	10,52	12,85	15,87	21,13	25,71	30,36	36,49
12	6,29	7,68	9,49	12,64	15,37	18,15	21,82
24	3,74	4,57	5,65	7,52	9,15	10,80	12,98
100	1,28	1,56	1,93	2,57	3,12	3,69	4,43



Rappresentazione in scala logaritmica dell'intensità di pioggia afferente il Bacino del Fosso del Tafone – Sottozona A9, in funzione della durata di pioggia e per i diversi periodi di ritorno.

6. CALCOLO DELLE PORTATE AL COLMO DI PIENA

Per valutare le portate al colmo di piena si procede dapprima con il calcolo dell'intensità di pioggia in funzione del tempo di ritorno, considerando come durata di pioggia il tempo di corrivazione dei sottobacini idrografici studiati.

Il calcolo della portata al colmo di piena avviene secondo la Formula Razionale:

$$m(Q) = (\varphi \cdot i \cdot A) / 360$$

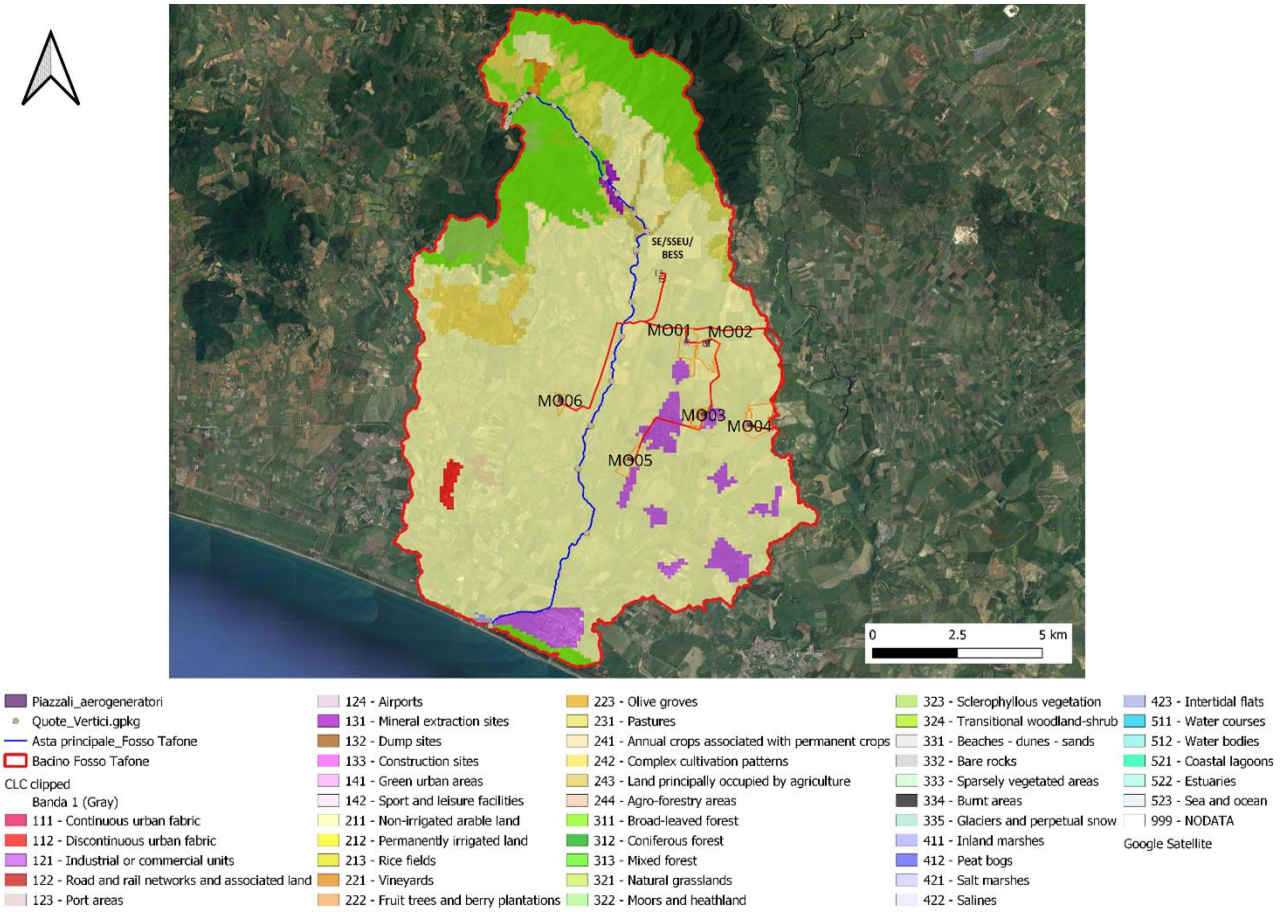
dove:

- m(Q) = portata al colmo di piena (m^3/s)
- φ = coefficiente di afflusso
- i = intensità di pioggia, funzione del tempo di ritorno e del tempo di corrivazione (mm/h)
- A = area del bacino (ha)

Altra considerazione va posta nei confronti del coefficiente di afflusso φ che fornisce l'aliquota di pioggia meteorica che, ruscellando superficialmente, termina nella rete idrografica.

La scelta di tale coefficiente risulta notevolmente difficoltosa perché dipende dall'orografia del bacino, dalla natura dei terreni che lo costituiscono e da altri molteplici fattori, senza tenere poi conto che varia con il grado di umidità del terreno e con la durata dell'evento di pioggia.

Nel presente caso studio si è deciso, per ogni sottobacino, di illustrare delle tabelle riportanti i valori dei codici desunti dalla Corine Land Cover 2018 per quanto riguarda l'uso del suolo, la loro descrizione, l'area del bacino interessata da quel particolare codice, il coefficiente di afflusso scelto per ogni tipologia di uso del suolo e il coefficiente di afflusso totale, calcolato come media ponderata dei vari coefficienti avente come pesi le aree.



Carta uso del suolo (CLC, 2018) ricadente nel Bacino del Fosso del Tafone

Come già accennato nel capitolo "*Premessa e Oggetto"*, l'impermeabilizzazione delle porzioni territoriali comprese nel Bacino del Fosso del Tafone, è imputabile principalmente alla costruzione di piazzole di servizio degli aerogeneratori dell'impianto eolico. In particolare, si riporta di seguito (in tabella) il riassunto delle caratteristiche areali complessivamente interessate dall'intervento, ove per area complessiva si intende la porzione comprensiva della piazzola di cantiere e di quella definitiva. In tal senso, si intende rimarcare come tale assunto conduca a valutazioni estremamente cautelative ai fini dell'invarianza idraulica.

ID	Area piazzola (m^2)
MO01	9'900,00
MO02	9'900,00
MO03	9'900,00
MO04	9'900,00
MO05	9'900,00
MO06	9'900,00
SE/SSEU/BESS	5'100,00

Caratteristiche areali delle piazzole

Dal punto di vista più prettamente idrologico, per la modellazione dei deflussi mediante metodo della corrivazione, è stato scelto di porre il coefficiente di afflusso delle suddette piazzole pari a 0,9 in quanto saranno costituite da materiale stabilizzato drenante.

Nelle tabelle sottostanti vengono riportati i valori delle aree appartenenti ad una determinata categoria di uso del suolo (identificata dal codice della Corine Land Cover del 2018) e si specifica inoltre che il valore del coefficiente di afflusso è stato arbitrariamente assegnato facendo riferimento a valori desunti dalla letteratura scientifica e correlati, oltre all'uso del suolo, anche all'acclività delle aree analizzate e al periodo di ritorno considerato (nel caso in esame, è stato preso un periodo di ritorno pari a 100 anni):

Coefficienti di afflusso - Ante Operam - Bacino del Fosso del Tafone							
Condizione	**Codice**	**Descrizione**	**A [mq]**	**A [kmq]**	φ	$\varphi_i * A_i$	φ_{tot}
-	112	Zone residenziali a tessuto discontinuo e rado	550000	0,55	0,8	0,44	0,477047
	121	Aree industriali, commerciali, e dei servizi pubblici e privati	6360000	6,36	0,9	5,724	
	131	Aree estrattive	440000	0,44	0,9	0,396	
	211	Seminativi in aree non irrigue	111850000	111,85	0,47	52,5695	
	221	Vigneti	410000	0,41	0,47	0,1927	
	231	Prati stabili	6670000	6,67	0,56	3,7352	
	241	Colture temporanee associate a colture permanenti	480000	0,48	0,47	0,2256	
	242	Sistemi colturali e particellari complessi	4400000	4,4	0,51	2,244	
	243	Aree prev occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti	760000	0,76	0,35	0,266	
	311	Boschi di latifoglie	20610000	20,61	0,35	7,2135	
	323	Aree a vegetazione sclerofilla	2690000	2,69	0,4	1,076	
	324	Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione	250000	0,25	0,35	0,0875	
	411	Paludi interne	150000	0,15	0,39	0,0585	

Tabella descrittiva dell'uso del suolo delle sottoaree del Bacino del Fosso del Tafone e dei relativi coefficienti di afflusso in condizioni ante operam

Coefficienti di afflusso - Post Operam - Bacino del Fosso del Tafone - Post Operam							
Condizione	**Codice**	**Descrizione**	**A [mq]**	**A [kmq]**	φ	$\varphi_i * A_i$	φ_{tot}
Post Operam	112	Zone residenziali a tessuto discontinuo e rado	550000	0,55	0,8	0,44	0,477211
	121	Aree industriali, commerciali, e dei servizi pubblici e privati	6360000	6,36	0,9	5,724	
	131	Aree estrattive	440000	0,44	0,9	0,396	
	211	Seminativi in aree non irrigue	111790600	111,7906	0,47	52,541582	
	221	Vigneti	410000	0,41	0,47	0,1927	
	231	Prati stabili	6670000	6,67	0,56	3,7352	
	241	Colture temporanee associate a colture permanenti	480000	0,48	0,47	0,2256	
	242	Sistemi colturali e particellari complessi	4400000	4,4	0,51	2,244	
	243	Aree prev occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti	760000	0,76	0,35	0,266	
	311	Boschi di latifoglie	20610000	20,61	0,35	7,2135	
	323	Aree a vegetazione sclerofilla	2690000	2,69	0,4	1,076	
	324	Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione	250000	0,25	0,35	0,0875	
	411	Paludi interne	150000	0,15	0,39	0,0585	
	-	Piazzali degli aerogeneratori	59400	0,0594	0,9	0,05346	

Tabella descrittiva dell'uso del suolo delle sottoaree del Bacino del Fosso del Tafone e dei relativi coefficienti di afflusso in condizioni post operam

Infine, si riporta la tabella riepilogativa dei coefficienti di afflusso riferiti all'intero bacino calcolati nelle condizioni ante e post operam:

Coefficienti di afflusso			
Bacino del Fosso del Tafone	Condizione	A (kmq)	φ
	Ante Operam	155,60	0,477046915
	Post Operam		0,477209595

Tabella riepilogativa dell'estensione areale del Bacino del Fosso del Tafone e dei relativi coefficienti di afflusso nelle condizioni ante e post operam

Per la modellazione idraulica del bacino del Fosso del Tafone è stato considerato dapprima il tempo di corrivazione che comporta la maggiore portata al colmo di piena, tenendo sempre conto che le

intensità ricavate a partire dai suddetti tempi di corrivazione sono diverse in quanto si riferiscono alle due sottozone VaPI (A4, A9).
Per la stima del tempo di corrivazione sono state utilizzate le seguenti relazioni, valide soprattutto per bacini di dimensioni medie e grandi, come quelle del Fosso del Tafone:

1. Ventura:

$$t_c = 0.1272 \cdot \{A / [(H_{max} – H_{min}) / (1000 \cdot L)]\}^{0.5}$$

2. Pasini:

$$t_c = 0.108 \cdot [(A \cdot L)^{0.33}] / [(H_{max} – H_{min}) / (1000 \cdot L)]^{0.5}$$

3. Giandotti:

$$t_c = [(4 \cdot A^{0.5}) + (1.5 \cdot L)] / [0.8 \cdot (H_m - h_0)^{0.5}]$$

con
A = area del bacino (km^2)
L = lunghezza dell'asta principale (km)
H_m = altitudine media del Bacino (m)
H_{max} = altitudine massima dell'asta principale (m)
H_{min} = altitudine minima dell'asta principale (m)
h_0 = altitudine della sezione di chiusura del Bacino (m)

Al fine di poter addivenire ai valori dei tempi di corrivazione, come si evince dalle sovrastanti formule, occorre avere a disposizione i dati morfometrici del sottobacino oggetto di studio; in particolare, poiché nel caso in esame si è fatto ricorso alle formulazioni di Ventura, Pasini e Giandotti, sono stati utilizzati i seguenti valori:

Bacino del Fosso del Tafone	
Area [kmq]	155,60
L_{asta} [km]	23,47
H_{media} (m)	90,60
H_{max} (m)	510,76
H_{min} (m)	0,50
h0 (m)	0,50
ia	0,0038

Dati morfometrici del Bacino del Fosso del Tafone

Sono stati quindi ricavati i seguenti tempi di corrivazione:

Tempi di corrivazione - Bacino del Fosso Tafone		
Tc (h)	*Ventura*	10,76
	Pasini	11,28
	Giandotti	11,21

Tempi di corrivazione per il Bacino del Fosso del Tafone

I tempi di corrivazione sono fondamentali per il calcolo delle portate di pioggia defluenti in corrispondenza della sezione di chiusura del bacino oggetto d'analisi, in quanto è a partire da essi che si valuta l'intensità di pioggia da inserire nella formula razione nell'ambito del metodo della corrivazione: riferendosi alle curve di intensità di pioggia elaborate mediante il metodo TCEV e la regionalizzazione delle piogge del gruppo VA.P.I., per il "Bacino del Fosso del Tafone" sono stati ottenuti i valori riportati in tabella, distinti per sottozone:

Bacino del Fosso del Tafone - Sottozona A4					
	m(it)	**T_c**	**$i_{(T=50)}$**	**$i_{(T=100)}$**	**$i_{(T=200)}$**
Ventura	6,34	10,76	15,52	18,88	22,30
Pasini	6,11	11,28	14,96	18,20	21,50
Giandotti	6,14	11,21	15,04	18,29	21,61

Valori delle intensità di pioggia in funzione dei tempi di corrivazione e dei periodi di ritorno considerati per il Bacino del Fosso del Tafone e per la Sottozona Va.PI A4

Bacino del Fosso del Tafone - Sottozona A9					
	m(it)	**T_c**	**$i_{(T=50)}$**	**$i_{(T=100)}$**	**$i_{(T=200)}$**
Ventura	5,59	10,76	13,71	16,67	19,69
Pasini	5,40	11,28	13,23	16,10	19,01
Giandotti	5,43	11,21	13,30	16,17	19,10

Valori delle intensità di pioggia in funzione dei tempi di corrivazione e dei periodi di ritorno considerati per il Bacino del Fosso del Tafone e per la Sottozona Va.PI A9

Come si può notare, i valori di intensità massimi si ottengono dalla formula di Ventura, quindi è stato tenuto conto unicamente di questa e successivamente, facendo ricorso alla formula razionale, sono stati calcolati i valori delle portate di picco in funzione dei periodi di ritorno pari a 50, 100 e 200 anni, distinguendole nelle condizioni ante e post operam e per le sottozone Va.PI A4 e A9.

Nelle tabelle di seguito riportate, invece, sono visibili i valori delle portate di picco calcolate per il Bacino del Fosso del Tafone, utilizzando ietogrammi rettangolari con intensità in corrispondenza del

tempo di corrivazione calcolato con Ventura e ipotizzando la sua totale appartenenza nelle due sottozone considerate:

Bacino del Fosso del Tafone - Sottozona A4								
Portate di picco								
		$i_{(T = 50)}$ [mm/h]	$i_{(T = 100)}$ [mm/h]	$i_{(T = 200)}$ [mm/h]	φ	$Q_{(T=50)}$ [mc/s]	$Q_{(T=100)}$ [mc/s]	$Q_{(T=200)}$ [mc/s]
Ante Operam	*Ventura*	15,52	18,88	22,30	0,477046915	320,0293868	389,2602337	459,7973231
Post Operam	*Ventura*	15,52	18,88	22,30	0,477209595	320,1385215	389,3929772	459,9541207

Valori delle portate di picco – Bacino del Fosso del Tafone – Sottozona A4

Bacino del Fosso del Tafone - Sottozona A9								
Portate di picco								
		$i_{(T = 50)}$ [mm/h]	$i_{(T = 100)}$ [mm/h]	$i_{(T = 200)}$ [mm/h]	φ	$Q_{(T=50)}$ [mc/s]	$Q_{(T=100)}$ [mc/s]	$Q_{(T=200)}$ [mc/s]
Ante Operam	*Ventura*	13,71	16,67	19,69	0,477046915	282,5865249	343,7174874	406,0018643
Post Operam	*Ventura*	13,71	16,67	19,69	0,477209595	282,682891	343,8347001	406,1403169

Valori delle portate di picco – Bacino del Fosso del Tafone – Sottozona A9

Come si evince dalle tabelle sovrastanti, le massime portate di picco sono quelle riferite alla sottozona Va.PI **A4**: per porsi in condizione di sicurezza, si considererà l'ipotesi che l'intero bacino ricada nella suddetta sottozona.

Si sottolinea che, considerando un periodo di ritorno pari a 200 anni e la formulazione di Ventura per la sottozona Va.PI **A4**, la variazione delle portate di picco tra la condizione ante e post operam del bacino del Fosso del Tafone a seguito dell'intervento di trasformazione oggetto di analisi è pari a:

$$\Delta Q = Q_{p,200,post} - Q_{p,200,ante} = 0{,}157 \text{ mc/s}$$

A seguito dei risultati ottenuti, si nota che l'aumento delle portate di deflusso comporta la necessità di dover laminare dei volumi; le stime di questi ultimi viene riferita a ogni piazzola da realizzare e viene calcolata nell'elaborato "*I2. Relazione sull'invarianza idraulica*" allegato alla presente.

7. CONCLUSIONI

Il presente studio è stato redatto a supporto delle integrazioni alla progettazione relativa ad impianto eolico, composto da N. 6 aerogeneratori, da realizzarsi nel territorio comunale di Montalto di Castro (VT), immediatamente prima dello studio e verifica dei requisiti di invarianza idraulica (vedi relazione I.2 allegata).

In prima battuta sono stati individuati e localizzati i lotti delle particelle MO01, MO02, MO03, MO04, MO05, MO06, le aree occupate dalle stazioni di Rete per la connessione "SE", dalla stazione elettrica d'utenza "SSEU" e dall'impianto di storage "BESS" e le interferenze con il reticolo idrografico locale ed i principali attraversamenti del cavidotto di collegamento agli impianti "SE", "SSEU", "BESS".

In merito ai cavidotti si può ritenere che:

- i tracciati interferiscono (in corrispondenza di n. 9 attraversamenti) con il reticolo idrografico e dunque con l'area di attenzione, delimitata per ciascun lato del corso d'acqua con una distanza di circa 150 metri dalle sponde dell'alveo ordinario;
- le modalità esecutive di tali attraversamenti consistono in soluzioni tali da non comportare alcuna interferenza alla sezione libera di deflusso, e dunque anche al materiale inerte presente nell'alveo, nell'area di golena esterna e nella fascia di attenzione, e consentono, al tempo stesso, di proteggere il collegamento elettrico dagli effetti delle eventuali azioni di trascinamento della corrente idraulica.

Alla luce di quanto appena detto, si può asserire che per i cavidotti sussistano le condizioni di sicurezza idraulica previste da Normativa.

Quanto ai restanti elementi, le aree occupate dall'impianto eolico (aerogeneratori, piazzole e viabilità d'accesso), dalla stazione elettrica d'utenza, dall'impianto di rete per la connessione ed impianto di accumulo, non ricadono all'interno di aree classificate a pericolosità idraulica e non interferiscono con l'idrografia superficiale.

Relativamente all'intera area di progetto, sono state condotte modellazioni idrologiche ed idrauliche atte a caratterizzare il bacino imbrifero principale comprendente i 6 lotti che ospiteranno gli aerogeneratori e gli spazi di servizio propedeutici al loro funzionamento, più l'ulteriore lotto sito nel territorio comunale di Manciano (GR).

E precisamente, si individua come asta principale locale il Fosso del Tafone, che definisce un bacino imbrifero ricadente nelle sottozone B40 (in minima parte, <2% della superficie totale), A4 ed A9 individuate dalla procedura VAPI.

Dal punto di vista idrologico sono stati valutati il tempo di corrivazione del bacino e le portate di pieni conseguenti alla variazione nell'uso del suolo tra le condizioni di ante operam e post operam.

Come si evince dai risultati analitici:

- data l'estensione del bacino imbrifero del Fosso Tafone e la limitata impermeabilizzazione dei lotti interessati da aerogeneratori, non si osservano sostanziali modifiche nei coefficienti di deflusso per le condizioni di ante operam e post operam (variazione limitata alla terza cifra decimale);
- quanto detto nel periodo precedente implica che, a seguito della realizzazione dell'impianto, non vi siano incrementi apprezzabili delle portate al colmo di piena valutate per i diversi periodi di ritorno.

8. APPENDICE

Tabella per il tracciamento della curva ipsografica del Bacino del Fosso del Tafone

Bacino del Fosso del Tafone			
Valori per Curva Ipsografica			
n	**H_i [m]**	**A_i [kmq]**	**$H_i * A_i$**
1	515	0,00129961	0,66929915
2	505	0,0109967	5,5533335
3	495	0,0465859	23,0600205
4	485	0,0604818	29,333673
5	475	0,0909725	43,2119375
6	465	0,0906728	42,162852
7	455	0,118564	53,94662
8	445	0,136659	60,813255
9	435	0,198141	86,191335
10	425	0,259823	110,424775
11	415	0,284816	118,19864
12	405	0,297712	120,57336
13	395	0,312108	123,28266
14	385	0,3403	131,0155
15	375	0,400183	150,068625
16	365	0,452569	165,187685
17	355	0,487059	172,905945
18	345	0,515452	177,83094
19	335	0,533847	178,838745
20	325	0,588232	191,1754
21	315	0,596031	187,749765
22	305	0,619225	188,863625
23	295	0,745991	220,067345
24	285	0,947338	269,99133
25	275	0,943839	259,555725
26	265	0,896052	237,45378
27	255	1,01372	258,4986
28	245	1,16018	284,2441
29	235	1,4758	346,813
30	225	1,72093	387,20925
31	215	1,92188	413,2042
32	205	2,23259	457,68095
33	195	2,42604	473,0778
34	185	2,69547	498,66195
35	175	2,50201	437,85175
36	165	2,28137	376,42605
37	155	2,25357	349,30335

38	145	2,49169	361,29505
39	135	2,54907	344,12445
40	125	2,85128	356,41
41	115	3,18479	366,25085
42	105	3,8617	405,4785
43	95	5,57279	529,41505
44	85	7,98698	678,8933
45	75	9,25276	693,957
46	65	9,30235	604,65275
47	55	10,5981	582,8955
48	45	9,79835	440,92575
49	35	11,4245	399,8575
50	25	15,7619	394,0475
51	15	16,3903	245,8545
52	5	12,938	64,69
53	0	0	0