



REGIONE CAMPANIA
PROVINCIA DI CASERTA
COMUNE DI CASTEL VOLTURNO



Soggetto Responsabile:

MYT RENEWABLES DEVELOPMENT 5 S.R.L.

Piazza Fontana, 6
Milano (MI) Cap. 20122
P.Iva 13075240963
mytdevelopment5srl@legalmail.it

IMPIANTO FV C_049

Progettazione di un impianto agro-fotovoltaico di potenza complessiva 20.384,00 kWp e di tutte le opere ed infrastrutture connesse, sito nel comune di Castel Volturno

RELAZIONE IDROLOGICA, IDROGEOLOGICA E IDRAULICA

Progettazione:  Via Leonardo da Vinci, 78
80040 S. Sebastiano al V. (NA)
P.IVA 07857041219 Via Alessandro Nunziante, 1
www.mari-ingegneria.it 81049 Mignano Monte L. (CE)

Il Tecnico

Ing. Riccardo Mai



	Ing. R. A. Rossi						
	Ing. V. Villano						
	Ing. G. Sbriglia						
	Geom. S. Martino	Ing. G. Ponente	Ing. R. Mai	emissione	11/2023		
PROTOCOLLO	REDATTO	CONTROLLATO	AUTORIZZATO	CAUSALE	DATA	REVISIONE	

Doc	C_049_DEF_RS_02	Formato	A4	Scala	-
-----	-----------------	---------	----	-------	---

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MYT RENEWABLES DEVELOPMENT 5 S.R.L., non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MYT RENEWABLES DEVELOPMENT 5 S.R.L. si riserva il diritto di ogni modifica.

Sommario

1. UBICAZIONE DELL'AREA D'INTERVENTO	2
2. CARATTERISTICHE DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO	5
3. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	9
3.1. Caratteri litologici e strutturali generali dell'area in esame.....	9
3.2. Idrologia ed idrogeologia generale dell'area in esame	14
3.3. Idrometria	16
3.4. RETICOLO IDROGRAFICO	20
4. PERICOLOSITÀ E RISCHIO IDROGEOLOGICO DEL TERRITORIO	22
5. COMPATIBILITÀ GEOMORFOLOGICA.....	32
5.1. VERIFICA DI COMPATIBILITÀ GEOMORFOLOGICA	35
6. ANALISI IDROLOGICA.....	37
6.1. METODO VAPI	38
6.1.1. Generalità	38
6.1.2. Leggi di variazione dei coefficienti di crescita con il periodo di ritorno	39
6.1.3. Stima del valore medio	41
7. CALCOLO DELLA PORTATA	47
8. VERIFICA DELLA PORTATA DI PROGETTO.....	52

PREMESSA

La presente relazione riporta la valutazione di compatibilità geomorfologica, idrologica ed idraulica redatto al fine di valutare gli effetti previsti sul regime idraulico a monte e a valle dell'area interessata, relativa al progetto per la realizzazione di un nuovo un impianto agro - fotovoltaico di potenza complessiva di 20.384,00 kWp e di tutte le opere ed infrastrutture connesse, ricadente nel comune di Castel Volturno (CE).

Le scelte progettuali sono state condotte in modo tale da avere opere ad "impatto zero" sull'esistente reticolo idrografico, recapitando le acque superficiali convogliate dai fossi di guardia presso gli impluvi ed i solchi di erosione naturali o canalizzazioni artificiali già esistenti.

L'obiettivo che si vuole raggiungere è quello di intercettare e allontanare tempestivamente le acque di scorrimento superficiale all'interno del parco fotovoltaico, al fine di garantire la vita utile delle opere civili, riducendo le operazioni di manutenzione al minimo indispensabile e quindi di valutare la compatibilità idrogeologica ed idraulica al fine di valutare gli effetti previsti sul regime idraulico a monte e a valle dell'area interessata.

1. UBICAZIONE DELL'AREA D'INTERVENTO

Il progetto proposto ha come finalità la realizzazione di un impianto di produzione di energia elettrica tramite conversione fotovoltaica, costituito dall'insieme di due campi FV denominati A (coordinate 41°05'14.54"N - 13°58'24.49"E) e B (coordinate 41°03'37.4"N - 13°57'06.0"E) ed avente una potenza di picco complessiva pari a **20.384,00 kWp**, di cui **12.152,00 kWp** prodotti dal campo FV A e **8.232,00 kWp** dal campo FV B, sito nel Comune di **Castel Volturno (CE)**.

La potenza elettrica dell'Impianto FV in immissione, pari a **20.000,00 kW**, sarà erogata in alta tensione per mezzo di una cabina di impianto, dalla quale partirà un **cavidotto interrato in AT a 36 kV**, di lunghezza pari a circa **12'277 ml**, che si collegherà su una futura stazione elettrica (SE) della RTN da realizzarsi nel comune di Cannello ed Arnone, coordinate 41°02'24.72"N-14°01'54.89"E

	Relazione idrogeologica, idrologica ed idraulica	Codice Elaborato: C_049_DEF_RS_02
	Progettazione di un impianto agro-fotovoltaico di potenza complessiva di 20.384 kW e di tutte le opere ed infrastrutture connesse, nel comune di Castel Volturno	Data: 11/2023

L'**impianto FV** che si intende realizzare si estende complessivamente su una **superficie** pari a **383.861 mq**, dei quali 90'447 mq saranno occupati dai moduli fotovoltaici, 12'742 mq saranno occupati dalla viabilità, 18'321 mq dalla mitigazione e circa 452 mq saranno occupati dalle cabine contenenti le apparecchiature elettriche, per una superficie complessiva pari a circa il 30% sul totale dell'area di intervento.

Il campo FV A è raggiungibile tramite una strada locale con cui confina ad Ovest, dalla strada provinciale denominata "SP158", mentre il campo FV B dalla strada provinciale "SP161" con cui confina a nord.

L'impianto è ubicato a nord-est del centro abitato di Castel Volturno e dista in linea d'aria dallo stesso circa 2,96 km per il campo B e 6,32 km per il campo A.

Attualmente i terreni sono utilizzati come seminativo, presentano un andamento tipico dei paesaggi pianeggianti locali, caratterizzato quindi dall'assenza di pendenze rilevanti, in cui si riscontra l'assenza di ombreggiamenti di alcun tipo.



Immagine 1 - Inquadrimento su ortofoto

Il suolo, classificato dal PRG comunale vigente come Zona E (agricola) risulta privo di vincoli sia di natura urbanistica che ambientale.

2. CARATTERISTICHE DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO

L'impianto FV sarà costituito: da un totale di **29.120 moduli** fotovoltaici da 700 W disposti su 1040 tracker mono-assiali ancorati direttamente al suolo tramite pali infissi nel terreno senza utilizzo di fondazione in cemento; da n. **9 cabine di campo**; da **1 cabina di raccolta** nel campo FV A; da n. **1 cabina di impianto** e utente nel campo FV B;

Inoltre, il campo sarà suddiviso in **18 isole totali**;

CAMPO A:

- **Isola 1 - (potenza tot. installata: 1.215,2 kWp)**
n° moduli installati: 1.736
- **Isola 2 - (potenza tot. installata: 1.215,2 kWp)**
n° moduli installati: 1.736
- **Isola 3 - (potenza tot. installata: 1.215,2 kWp)**
n° moduli installati: 1.736
- **Isola 4 - (potenza tot. installata: 1.195,6 kWp)**
n° moduli installati: 1.708
- **Isola 5 - (potenza tot. installata: 1.195,6 kWp)**
n° moduli installati: 1.708
- **Isola 6 - (potenza tot. installata: 1.195,6 kWp)**
n° moduli installati: 1.708
- **Isola 7 - (potenza tot. installata: 1.234,8 kWp)**
n° moduli installati: 1.764
- **Isola 8 - (potenza tot. installata: 1.234,8 kWp)**
n° moduli installati: 1.764
- **Isola 9 - (potenza tot. installata: 1.274 kWp)**
n° moduli installati: 1.820
- **Isola 10 - (potenza tot. installata: 1.176 kWp)**
n° moduli installati: 1.680

CAMPO B:

- **Isola 11 - (potenza tot. installata: 1.019,2 kWp)**
n° moduli installati: 1.456
- **Isola 12 - (potenza tot. installata: 1.019,2 kWp)**
n° moduli installati: 1.456
- **Isola 13 - (potenza tot. installata: 1.019,2 kWp)**

n° moduli installati: 1.456

- **Isola 14 - (potenza tot. installata: 1.019,2 kWp)**

n° moduli installati: 1.456

- **Isola 15 - (potenza tot. installata: 1.019,2 kWp)**

n° moduli installati: 1.456

- **Isola 16 - (potenza tot. installata: 1.038,8 kWp)**

n° moduli installati: 1.484

- **Isola 17 - (potenza tot. installata: 1.038,8 kWp)**

n° moduli installati: 1.484

- **Isola 18 - (potenza tot. installata: 1.058,4 kWp)**

n° moduli installati: 1.512

Le isole saranno costituite da 2.080 stringhe composte da **14** moduli.



Figura 2 - Layout di Impianto

La tecnologia scelta per i moduli è di tipo **monocristallino**, con potenza di picco pari a **700 Wp** che saranno posizionati su tracker orientati all'asse nord-sud, in grado di ruotare lungo detto asse, così da massimizzare la produzione. Tale utilizzazione è la più idonea al fine di massimizzare la resa

dell'impianto incrementando il rendimento di c.ca il 18%. Il posizionamento dei pannelli sarà eseguito in modo da mantenere il fattore di riduzione delle ombre pari a 0,95, garantendo così che le perdite di energia derivanti da fenomeni di ombreggiamento non siano superiori al 5% su base annua.

Nell'impianto saranno inoltre presenti complessivamente:

- n. 9 cabine di campo: trattasi di cabine prefabbricate, oppure container delle stesse dimensioni, ciascuna con superficie lorda complessiva pari a 6,058x2,896 m² ed altezza pari a 2,44 m costituite da più vani e al loro interno saranno installati:
 - Trasformatore elevatore;
 - Quadro 36 kV;
 - Trasformatore per i servizi ausiliari;
 - Quadri BT;
 - Inverter;
- n.1 cabina di raccolta a 36 kV: con all'interno gli apparati per la gestione e il controllo dell'impianto;
- n.1 cabina d'impianto e utente.
- rete elettrica interna a 36 kV per il collegamento tra le varie cabine di trasformazione e le cabine di generale;
- rete elettrica interna a 1050 V tra i moduli fotovoltaici e gli inverter.
- rete elettrica interna circa a 360 V per il Campo A e 300 V per il Campo B tra gli inverter e i trasformatori elevatori;
- impianto di terra (posizionato lungo le trincee dei cavi di potenza) e maglia di terra delle cabine.

	Relazione idrogeologica, idrologica ed idraulica	Codice Elaborato: C_049_DEF_RS_02
	Progettazione di un impianto agro-fotovoltaico di potenza complessiva di 20.384 kW e di tutte le opere ed infrastrutture connesse, nel comune di Castel Volturno	Data: 11/2023

3. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA

3.1. Caratteri litologici e strutturali generali dell'area in esame

Dal punto di vista geologico generale l'area in esame è rappresentata nel Foglio 172 "Caserta" della Carta Geologica d'Italia. Il territorio comunale di Castel Volturno è ubicato in un'area pianeggiante in piena piana alluvionale della parte terminale del Volturno quota variabile, da circa 6 m a circa - 2 m s.l.m. L'area, di forma poligonale allungata in senso SSE-NNO, presenta una morfologia, determinata dalla storia tettonica recente e dalla messa in posto (della serie ignimbratica flegrea) di materiale di deposizione alluvionale nonché dall'evoluzione della linea di costa. Si evidenziano sempre pendenze di molto inferiori al 1% ad esclusione delle marginali aree dunali, delle scarpate e/o gli argini degli alvei e degli innumerevoli specchi di acqua presenti (sia essi naturali che di origine antropica). Le pendenze si attestano, in queste piccole aree, su valori del 6-8 %.

La morfologia, come detto, è subpianeggiante con quote che non superano i 9 m s.l.m. (verso SSE) e che in taluni casi arrivano a circa - 2 m s.l.m. in alcune zone depresse. E' da considerare che la quasi totalità del territorio comunale è compresa in una fascia altimetrica tra m. 0,0 e 3,0 m s.l.m. ed è da segnalare la presenza un'area leggermente in "rilievo" (3÷9 m s.l.m.), parallela alla linea di costa e larga circa 1 km, corrispondente al cordone dunare. I morfotipi caratterizzanti alla dinamica fluviale e quelli di origine antropica. vesuviana. I morfotipi caratterizzanti il territorio sono rappresentati essenzialmente da quelli tipici della morfologia costiera, quelli legati alla dinamica fluviale e quelli di origine antropica.

Nel settore della Piana Campana di precipuo interesse gli elementi che maggiormente, ed in tempi più recenti, hanno improntato la morfologia dell'area sono stati:

- l'arrivo della potente coltre ignimbratica del Tufo Grigio Campano;
- l'azione deposizionale esercitata del F. Volturno.

Il Fiume Volturno penetra nella Piana Campana attraverso la stretta di Triflisco (a nord-est di Capua) e prima che le attività antropiche intervenissero significativamente sul suo corso, il fiume trascinava elevate quantità di materiale solido; si trattava però di elementi dalle dimensioni assai

	Relazione idrogeologica, idrologica ed idraulica	Codice Elaborato: C_049_DEF_RS_02
	Progettazione di un impianto agro-fotovoltaico di potenza complessiva di 20.384 kW e di tutte le opere ed infrastrutture connesse, nel comune di Castel Volturno	Data: 11/2023

ridotte in quanto quelli più grossolani (sabbie e sabbie grosse) si erano già depositati nella piana di M.te Verna a est di Trisflisco (BIGGIERO et alii,1994). I sedimenti trascinati dalla corrente idrica e scaricati a mare hanno determinato imponenti fenomeni di protrazione della foce.

Negli ultimi 150 anni quest'ultima ha però subito una progressiva regressione, per fattori legati alla realizzazione di dighe lungo il corso del fiume (che di fatto trattengono pressocchè totalmente il trasporto solido) e al prelievo di inerti dal letto fluviale (attività durate dalla fine degli anni '50 al 1974). Durante la fase di protrazione della foce si verificavano anche formazioni di barre dunari e, talvolta, l'occlusione degli sbocchi a mare delle acque superficiali nelle aree in sinistra e in destra rispetto al dosso del Volturno.

Si segnala altresì che gran parte della costa risulta in arretramento ed in particolare quasi tutta la porzione posta a meridione della foce del Volturno, escludendo l'area immediatamente in destra e sinistra della foce dei Regi Lagni ove si evidenzia un avanzamento della linea di costa. Da aggiungere che lì dove sono state realizzate opere di difesa litoranee (siano esse longitudinali che trasversali) il fenomeno è stato contrastato e si evidenzia un avanzamento. Continuando verso meridione e fino ai limiti comunali si segnala un tratto litoraneo ancora in arretramento. Attualmente negli ambienti costieri ora descritti troviamo i morfotipi caratteristici cioè quelli di duna (con la tipica deposizione sabbiosa) e interdunali lagunari che si conservano in pochi tratti, ovviamente a ridosso della linea di costa ed in larga parte nella porzione Sud Est del territorio. Riguardo i morfotipi legati alla dinamica fluviale si riconoscono: aree golenali, cuspidi deltizie e meandri abbandonati. Ovviamente le aree golenali sono presenti nelle immediate vicinanze del Volturno, mentre per i Regi Lagni e Canale Agnena il corso è rettilineo e nel primo caso risulta ampiamente cementificato sulle sponde. Si rilevano, all'interno dell'area golenale (quindi oramai parte integrante del paesaggio agricolo predominante, ovviamente nei dintorni del Volturno) vari meandri abbandonati che in alcuni casi presentano specchi d'acqua (lago di meandro anche dell'ordine di un ettaro di superficie) ed in altri fanno Una volta giunte nella Piana Campana, le acque del Volturno procedevano incassate e con tendenza a divagare. Le esondazioni delle portate di piena dall'alveo provocarono nel tempo il sopralzo dei terreni limitrofi: attualmente il Volturno si presenta pertanto, da Capua fino al mare, con

	Relazione idrogeologica, idrologica ed idraulica	Codice Elaborato: C_049_DEF_RS_02
	Progettazione di un impianto agro-fotovoltaico di potenza complessiva di 20.384 kW e di tutte le opere ed infrastrutture connesse, nel comune di Castel Volturno	Data: 11/2023

l'alveo incassato nel tratto più alto di un largo ed esteso conoide da lui stesso realizzato nel corso dei millenni. Si sono evidenziati, per taluni tratti del Fiume Volturno, fenomeni di erosione delle sponde che sono stati segnalati nella carta geomorfologica.

Si evidenziano, inoltre, una serie di morfotipi di origine antropica che sono stati realizzati per varie motivazioni. Per quanto riguarda la bonifica operata nella piana (sistema di canali) è noto come l'area in questione, e più in generale intere porzioni della Piana Campana, da sempre sia stata interessata da vasti impaludamenti. Gli interventi di bonifica più decisivi furono avviati dai Borboni, come l'inalveazione delle acque alte (cioè affluenti dai rilievi) per evitare che esondassero nella piana, reti di colatori di pianura, colmata di aree basse (impiegando le torbide dei corsi d'acqua), sistemazione delle foci a mare per evitare interrimenti e conseguenti esondazioni a monte. A seguito del D.R. del 1923 furono realizzati ulteriori interventi di bonifica idraulica mediante opere finalizzate a ridurre il rischio di inondazione dei terreni della piana, per mezzo di un sistema continuo di arginature del Volturno da Capua al mare, al drenaggio delle zone acquitrinose mediante una nuova rete di colatori e, lungo le fasce costiere depresse, al prosciugamento meccanico mediante idrovore.

Altro massiccio intervento antropico è quello relativo alle opere realizzate come difesa per la mitigazione del rischio idrogeologico costituito essenzialmente da argini in terra in molti casi rivestiti in calcestruzzo, come nel caso del Volturno, o alvei ampiamente cementificati, come nel caso dei Regi Lagni. Sempre esaminando forme antropiche che insistono sul territorio si segnalano una miriade di stagni, anche di grandi dimensioni (in taluni casi con superficie anche di oltre due ettari), concentrati tra il fiume Volturno ed i Regi Lagni a valle della strada a scorrimento veloce posta a monte del centro di Castel Volturno, di fatto in area urbana, creatisi per affioramento della falda in seguito all'intensa attività di escavazione per la realizzazione, in passato, di una serie di cave a fossa per lo sfruttamento, essenzialmente, di litotipi sabbiosi.

Dal punto di vista geologico l'area di studio è ubicata all'interno della Piana Campana. Essa è una vasta area pianeggiante, delimitata a Nord dal M.te Massico, a Nord-Est dai M.ti di Caserta, a Est dai M.ti di Sarno, a Sud dai M.ti Lattari e dalla Piana del Sarno e ad Ovest dal Mar Tirreno. La Piana

	Relazione idrogeologica, idrologica ed idraulica	Codice Elaborato: C_049_DEF_RS_02
	Progettazione di un impianto agro-fotovoltaico di potenza complessiva di 20.384 kW e di tutte le opere ed infrastrutture connesse, nel comune di Castel Volturno	Data: 11/2023

Campana rappresenta un grande graben, individuatosi probabilmente nel Pliocene superiore, soggetto ad un pronunciato sprofondamento durante il Quaternario.

Le linee tettoniche lungo le quali è avvenuto l'abbassamento sono ben riconoscibili ai bordi della pianura, dove si osservano faglie orientate NE-SW e NW-SE, che determinano il graduale sprofondamento delle rocce carbonatiche, appartenenti a due distinte unità tettoniche sovrapposte, affioranti tutto intorno al graben al di sotto di notevoli spessori di depositi alluvionali e vulcanici quaternari. In superficie, quindi, sono ben osservabili le strutture marginali del graben. Le strutture recenti principali sono rappresentate da faglie normali orientate NE-SW e NW-SE, che in almeno due fasi del Quaternario hanno determinato rigetti verticali dell'ordine di qualche migliaio di metri. Le strutture mioceniche, osservabili ai margini della Piana, sono connesse ai fenomeni di sovrascorrimento che hanno interessato la copertura sedimentaria triassico-miocenica e non sono legate alle deformazioni attuali del basamento cristallino. Queste ultime hanno orientamento W-E e sono costituite da una serie di monoclinali immergenti a Nord e delimitate a Sud da faglie normali, aventi rigetti verticali fino a mille metri e che tendono ad estinguersi, verso il basso, sulle superfici di sovrascorrimento. Le faglie recenti, cui sono connessi anche i fenomeni vulcanici del graben della Piana Campana, sono evidenti, con gli stessi orientamenti e sempre con notevoli rigetti verticali, in tutto l'Appennino Campano-Lucano. Le aree vulcaniche marine, antistanti la Piana Campana (Isole Pontine, Ischia), sono da mettere in relazione principalmente con strutture recenti ed antiche parallele alla catena, lungo una fascia in cui, in profondità al di sotto dei depositi del Miocene superiore, Pliocene e Quaternario, si ha il probabile contatto tra la crosta assottigliata del tipo tirrenico e quella deformata ed ispessita sottostante la catena. Lungo tale fascia, si potrebbe avere la sovrapposizione della crosta del bordo orientale tirrenico sulle unità sedimentarie ricoprenti la crosta deformata del margine continentale africano. Le strutture principali recenti che hanno controllato il vulcanismo di questa fascia, quindi, sarebbero da collegare principalmente all'assetto strutturale profondo determinatosi dal Pliocene al Quaternario. I fenomeni vulcanici dell'area Flegrea, del Roccamonfina e del Vesuvio sono connessi a strutture recenti che interessano anche la crosta,

	Relazione idrogeologica, idrologica ed idraulica	Codice Elaborato: C_049_DEF_RS_02
	Progettazione di un impianto agro-fotovoltaico di potenza complessiva di 20.384 kW e di tutte le opere ed infrastrutture connesse, nel comune di Castel Volturno	Data: 11/2023

deformatasi probabilmente per fenomeni compressivi fino al Messiniano, sostenente le unità sedimentarie della catena.

Queste zone vulcaniche sono ubicate in corrispondenza dei graben delimitati da faglie orientate NE-SW e NW-SE, là dove si individuano le zone di massimo sprofondamento. I dati pubblicati in letteratura (Celico, 1983; CIVITA et Alii, 1973; Corniello et Alii, 1990; Ortolani & Aprile, 1978; 1985) (De Riso, 1990) indicano, un sottosuolo così articolato, a partire dai terreni più recenti a quelli più antichi:

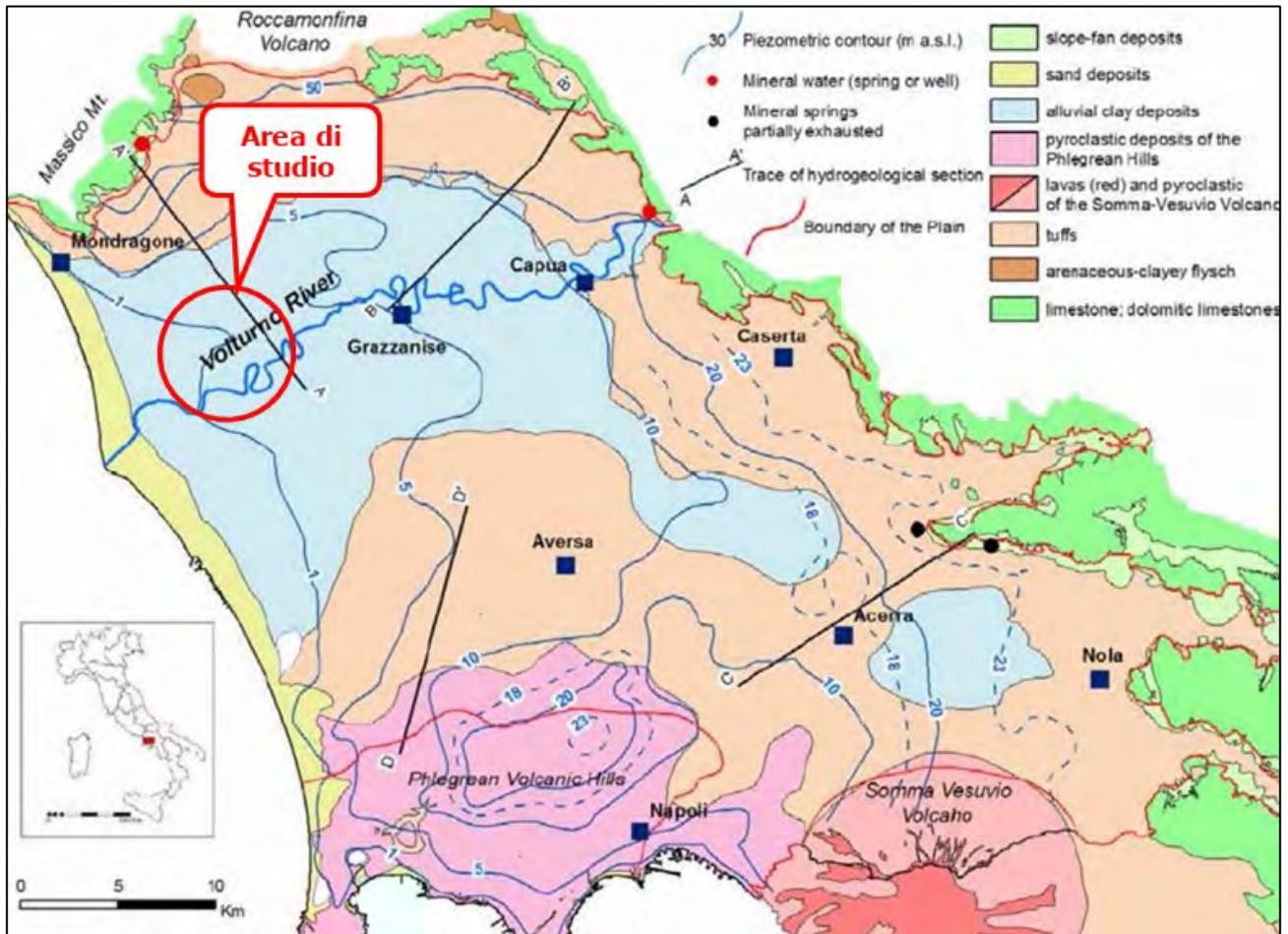
- terreni prevalentemente sabbiosi, dunari e di spiaggia e depositi limo-argillosi di interduna, affioranti in una fascia larga circa 1-2 km prospiciente il mare;
- depositi limo-sabbiosi fluvio-palustri associati a depositi torbosi, che affiorano nella maggior parte dell'area in esame e raggiungono i massimi spessori (30 m) in prossimità del corso del Volturno; ed a luoghi è assente per locali fenomeni erosivi;
- tufo grigio campano, spesso sormontato da piroclastiti sciolte, affiorante nel settore a nord del T. Savone; il banco di tufo si approfondisce e si assottiglia via via che ci si approssima al corso del Volturno; infatti lo spessore complessivo varia dai 40÷45 m alle pendici del M.te Massico ai 2÷3 m in prossimità del F. Volturno dove sovente il tufo ha consistenza "terrosa"
- terreni sabbioso-limoso-ghiaiosi di ambiente marino, rinvenuti in perforazione alla base del tufo, che talora passano lateralmente o poggiano (in destra Volturno) su terreni granulometricamente affini ma di origine piroclastica; lo spessore è di 50÷60 m;
- terreni a granulometria fine (da limo-sabbiosi a limo-argillosi), anch'essi di probabile ambiente marino, con spessori di qualche centinaio di metri;
- depositi vulcanici antichi (tufi e lave andesitiche e basaltiche attribuibili ad attività preflegrea) con spessori notevoli;
- depositi clastici di età mio-pliocenica (profondità 3÷5 km) affioranti localmente sul versante meridionale del M. Massico;
- terreni carbonatici di piattaforma, affioranti al M.te Massico e mai raggiunti dalle perforazioni profonde eseguite nel settore baricentrico della Piana Campana poichè ribassati da "ripide" gradonate di faglia.

Dall'andamento del tetto del Tufo Grigio Campano, si osserva un aumento della profondità di questo ultimo dalle zone circostanti la Piana Campana verso il corso del fiume Volturno; la massima profondità si raggiunge nella parte terminale del corso (circa -20 m s.l.m.). La morfologia attuale del suolo riproduce a grandi linee l'andamento del Tufo Grigio a NW dell'allineamento Napoli-Caserta; a SE di tale allineamento ad un'immersione generale del tetto del tufo verso il Vesuvio corrisponde

un andamento topografico superficiale opposto. Nella zona del basso corso del fiume Volturno i terreni di copertura hanno spessore variabile da circa 20 m a circa 40 m. In questa zona, tra Canello Arnone e Villa Literno, a luoghi, non viene rinvenuta la formazione tufacea; questa mancanza è da attribuire all'azione di processi erosivi successivi alla messa in posto dell'ignimbrite (Ortolani & Aprile, 1985). Osservando la carta delle isopache, si nota chiaramente un andamento dello spessore della formazione ignimbritica decrescente a partire dai monti di Caserta e in un'area compresa tra il Lago di Patria e l'abitato di Giugliano e ad est di questo ultimo. Queste zone sono di massimo spessore e coincidenti, in pratica, con le zone di minore profondità del tetto. Nell'area compresa tra il M. Massico ed il corso del fiume Volturno, la base del tufo presenta la massima depressione, variando da quota +8 m s.l.m. nei pressi del Massico a circa -30-40 m s.l.m. nei pressi del Volturno. La massima depressione corrisponde alla zona con maggiori spessori dei terreni di ricopimento.

3.2. Idrologia ed idrogeologia generale dell'area in esame

La stratigrafia del sottosuolo della Piana Campana è nota con sufficiente dettaglio attraverso i dati di perforazioni eseguite in passato per vari scopi (ricerche di idrocarburi e di forze endogene; In particolare è stata accertata, nelle zone prossime ai massicci carbonatici che si snodano con continuità dal "casertano" al "sarnese", la presenza, al di sotto di uno spessore di materiale piroclastico (prima) e limo-sabbioso-ghiaioso (poi), di un substrato prevalentemente calcareo che tende ad approfondirsi abbastanza rapidamente dai -100/150 m dal p.c. (nelle zone pedemontane o nelle valli interne) ai -300/400 m dal p.c. (nelle zone distanti 2-3 Km dal piede dei rilievi). Man mano che ci si sposta verso Ovest, esso sprofonda a varie migliaia di metri, tanto vero che non è stato raggiunto dalle perforazioni eseguite in passato per ricerche di idrocarburi nel Quindici, dal punto di vista idrogeologico la Piana Campana, in cui è inserita la zona esaminata, è un'unità idrogeologica costituita da una spessa coltre di depositi vulcanici, alluvionali e marini, con caratteristiche litologiche ed idrogeologiche molto diverse tra loro. Questa configurazione lito-stratigrafica connessa alla presenza delle strutture vulcaniche dei Campi Flegrei e del Somma-Vesuvio, porta all'instaurarsi di flussi sotterranei complessi con presenza di più falde sovrapposte e molte volte intercomunicanti.



Carta idrogeologica della Piana Campana (da Ducci, 2007)

I corsi d'acqua principali che si riscontrano nell'area d'indagine sono:

- Il F. Volturno che ha una lunghezza di circa 180 km con un bacino esteso per complessivi 5.615 kmq ed è il corso d'acqua più importante dell'Italia Meridionale. Considerando il tratto da Ponte Annibale (18 m s.l.m.) alla foce, il fiume si dipana per circa 50 km, con una pendenza media dello 0,36%. In questo tratto gli spartiacque naturali del bacino del F. Volturno corrono paralleli e delimitano una fascia larga 2-4 km entro cui l'alveo è caratterizzato da numerosi meandri, con un tratto quasi rettilineo fra i centri abitati di Grazzanise e Canello Arnone. Attualmente l'alveo del corso d'acqua scorre, da Capua al mare, fra argini costruiti dal Consorzio di Bonifica del F. Volturno.

	Relazione idrogeologica, idrologica ed idraulica	Codice Elaborato: C_049_DEF_RS_02
	Progettazione di un impianto agro-fotovoltaico di potenza complessiva di 20.384 kW e di tutte le opere ed infrastrutture connesse, nel comune di Castel Volturno	Data: 11/2023

- Il canale Regia Agnena, raccoglie le acque sorgentizie (prevalenti) e superficiali della dorsale di M. Maggiore fino a Ponte Annibale. Questo canale, lungo circa 30 km con una pendenza media inferiore allo 0,1%, ha un bacino di circa 300 kmq e drena le aree depresse (quote anche di -1 m÷ -2 m s.l.m.), comprese fra il F. Savone ed il F. Volturno, con l'ausilio delle idrovore di Mazzasette e Mazzafarro, rispettivamente in sponda destra e sinistra del canale.

La Regia Agnena è stata modificata nel corso dei secoli con il progredire delle tecniche di bonifica idraulica. Nel 1846 era ormai completata la sistemazione dei terreni non depressi della piana prosciugabili per scolo naturale. del livello del mare. Durante il periodo borbonico, l'alveo della Regia Agnena fu ampliato e rettificato, munito di argini e di controfossi al fine di separare le acque "alte" provenienti dai monti circostanti, dalle acque "basse" dovute alle precipitazioni dirette, e fu predisposta una rete di canali in cui convogliare le torbide del F. Volturno allo scopo di bonificare per colmata le aree poste al di sotto. Nel periodo fra le due guerre mondiali, nell'ambito della "bonifica integrale", si decise di procedere con il sistema del prosciugamento meccanico mediante idrovore. Nel dopoguerra, ad opera del Consorzio Generale di Bonifica del Bacino Inferiore del Volturno, sono continuate le opere idrauliche: si procede al ripristino delle canalizzazioni di acque medie della Regia Agnena e dei canali tributari e viene potenziato l'impianto idrovoro di Mazzafarro; inoltre, le acque provenienti dai monti circostanti la piana vengono sottratte alle aree bonificate tramite il Canale Lanzi, che si estende per 25 km dal Rio Lanzi (affluente della Regia Agnena) al F. Savone per poi intercettare il R. Fiumarella.

3.3. Idrometria

Per fornire considerazioni riguardo le caratteristiche idrologiche che di seguito si riportano si è fatto riferimento alla bibliografia scientifica e tecnica esistente. Considerando, per ovvi motivi, il solo F. Volturno si deve valutare come il regime dei deflussi del Fiume sia direttamente collegato all'assetto climatico, e classificabile come regime pluviale. Gli innevamenti sono infatti limitati a piccole zone, la cui superficie è percentualmente irrilevante rispetto a quella dell'intero bacino. Anche l'apporto sorgentizio riveste nell'insieme un ruolo secondario perchè le copiose sorgenti perenni sono quasi integralmente captate. L'andamento dei deflussi si presenta quindi parallelo a quello delle

precipitazioni con un minimo in agosto ed un massimo in febbraio. Il F. Volturno riceve, a monte di Ponte Annibale, gli importanti afflussi sorgentizi di Triflisco, Fontana Pila e S. Sofia, con portate di magra complessive di circa 3 mc/s. Presso Ponte Annibale (17,5 m s.l.m.) il fiume presenta una portata "naturale" media, ricavata per il periodo 1924-1942, di circa 100 mc/s, pari a 17,5 l/s.kmq, per un bacino di circa 5550 kmq con piovosità media annua di circa 1200 mm, il coefficiente di deflusso è di 0,46. I valori dei deflussi "naturali" misurati a Cannello Arnone (2,6 m s.l.m), 18 km a monte della foce, per il periodo (1931-1942 e 1950-1970), sono lievemente superiori (103 mc/s di portata media, con un coefficiente di deflusso di 0,50) a seguito della azione drenante del F. Volturno rispetto alla piana omonima. Valori nettamente più bassi (83 mc/s di portata media con coefficiente di deflusso di 0,40) si riscontrano in concessioni ad uso idropotabile, irriguo ed idroelettrico a monte di Cannello Arnone. Complessi sabbiosi (CSA) rilevanti per le portate effettivamente defluite nel periodo 1954-1970, a causa delle numerose caratteristiche litologiche dei terreni è possibile dedurre il grado di permeabilità di ciascuno di essi: si è trattata di una distinzione schematica confortata dall'elaborazione e correlazione di numerosi dati ed osservazioni disponibili per l'area di studio. Dall'analisi idrogeologica generale dell'area si ricava la presenza di diversi litotipi che possono, in base alla loro permeabilità, essere suddivisi in differenti complessi idrogeologici di seguito descritti.

Complesso sabbioso (CSA): Affiora in corrispondenza della zona costiera su una fascia che è larga circa tre chilometri e risulta costituita da sabbie fini sciolte equigranulari grigie e giallastre di vario spessore; da sabbie fini e sabbie argillose, da sciolte a poco addensate con abbondanti resti di molluschi; sabbie grigie e giallastre da poco addensate a mediamente addensate di retroduna. Dai dati stratigrafici si possono riconoscere intervalli prevalentemente sabbiosi e a luoghi da quelli sabbiosi-limosi. Si riconosce una potenza di circa 16 m nella porzione nord-occidentale del territorio comunale (precisamente a Nord della foce del Volturno). Nella porzione posta a meridione dei Regi Lagni, lo spessore è almeno di 30 m, allontanandosi dalla linea di costa gli spessori vanno calando e a luoghi si segnalano interdigitazioni con terreni di transizione o francamente alluvionali. La permeabilità è medio-alta per porosità al crescere delle dimensioni dei granuli ed in presenza di scarso.

Complesso alluvionale (C_ALL): Con tale sigla sono indicati i depositi alluvionali presenti a tetto dell'Ignimbrite Campana e legati agli espandimenti fluviali del Volturno, a fasi palustri (zone della bonifica del basso Volturno), nonché ad episodi marini con terreni francamente sabbiosi. La ricostruzione dei rapporti spaziali delle componenti a diversa granulometria non è né semplice né immediata, comunque dal punto di vista areale detto complesso rappresenta una parte

preponderante nell'ambito del territorio comunale. La parte del complesso presente a ridosso del F. Volturno comprende un'alternanza irregolare di materiali di varia granulometria (argille, sabbie e talora lenti di ghiaie spesse fino a qualche metro) legati a deposizione fluviale (durante le ultime migliaia di anni, il Volturno, costretto a divagare dalla quasi raggiunta stabilità del livello di base, ha costruito un tracciato tipicamente pensile ed un piccolo delta a cuspidi). Gli spessori di questa porzione di complesso sono vari e partendo dal Volturno e procedendo verso sud, questi depositi si osservano in affioramento fino a distanza massima di 1.5 - 2 chilometri dove passano per eteropia ai materiali descritti di seguito. Questa porzione nell'insieme ha una permeabilità piuttosto bassa che tende ad innalzarsi in corrispondenza degli orizzonti più grossolani. Sempre nello stesso complesso si riconoscono terreni riconducibili ad antichi espandimenti alluvionali dei canali dei Regi Lagni a ridosso dei quali in effetti si localizza. Nei sondaggi che lo hanno attraversato si denota: il complesso appare sempre rappresentato da argille evidenziano anche i rapporti eteropici tra questo complesso e le alluvioni del Volturno. con interdigitazioni. e limi, assai spesso associati a livelli torbosi; gli spessori sono fino ad alcune decine di metri; si Per la granulometria in prevalenza fine dei materiali costituenti, il questa porzione risulta dotata di permeabilità molto ridotta. C'è da aggiungere che i sondaggi hanno rivelato, a diverse altezze stratigrafiche, livelli di materiale torboso, a luoghi caratterizzati da continuità areale e con potenze di circa 2,0 - 2,5 metri. IL passaggio con i termini precedentemente descritti, a luoghi si segnalano con interdigitazioni. La struttura del complesso è pertanto articolata: i depositi che lo costituiscono presentano, infatti, variazioni granulometriche in senso areale e lungo le verticali. E' pertanto difficile che siano presenti livelli continui di scarsa permeabilità sufficienti a frazionare il complesso in più strati distinti. In questo complesso le acque sotterranee tendono pertanto a digitarsi in più livelli, corrispondenti alla variazione dei materiali presenti e variamente interconnessi, ma conservando sempre carattere di corpo idrico unitario. Quindi complessivamente la permeabilità è in genere medio-bassa, anche se ovviamente tende a crescere con il prevalere locale di granulometrie più grossolane e poco assortite.

Complesso piroclastico (CP): E' da premettere che il complesso in questione non è mai affiorante ma che si riconosce nei sondaggi in profondità. Esso è costituito da piroclastiti, di granulometria da media a fine (piccole pomice, ceneri, lapilli etc.), quasi sempre sciolte o debolmente cementate. I diversi materiali sono spesso fra loro frammisti, anche se talora possono individuarsi livelli prevalentemente cineritici o pomice. Nel caso in specie si tratta granulometricamente di sabbie o sabbie-ghiaiose con subordinata frazione limosa. I sondaggi che hanno attraversato il complesso (anche al di fuori delle aree di pertinenza, indicano infatti una notevole variabilità granulometrica sia in senso areale che lungo le verticali investigate. Il complesso è estesamente affiorante soprattutto nella Piana Campana dove è presente con spessori assai significativi.

In termini di area vasta gli acquiferi che si evidenziano costituiscono a grande scala una falda unica (sovente pozzi attestati nei differenti acquiferi hanno fatto registrare le stesse quote piezometriche) con una circolazione idrica talora a pelo libero, talora in pressione laddove la porzione a granulometria più fine dei terreni limo-sabbiosi fluvio-palustri oppure dei livelli continui di tufo lapideo non fratturato tamponano superiormente la falda (De Riso, 1990). Sempre su area vasta, prove di emungimento effettuate nell'area (De Riso, 1990) e dati di letteratura (Corniello et Alii, 1990)

assegnano valori di trasmissività che variano fra $1 \cdot 10^{-3}$ m²/s (pozzi attestati nei depositi prevalentemente sabbiosi) ed $1 \cdot 10^{-4}$ m²/s (pozzi attestati nelle piroclastiti superficiali). Vi è da puntualizzare, sempre per gli ambiti di macroarea, che nei settori al piede dei rilievi, dove la piezometrica del corpo idrico si colloca in corrispondenza di forti spessori tufacei poco permeabili, la falda ha carattere nettamente confinato; man mano che dai rilievi si procede verso il Volturno, il complesso tufaceo si fa discontinuo, assai meno potente e diagenizzato ed a volte piroclastico/alluvionali dell'acquifero ed i sovrastanti terreni alluvionali più recenti. semiconfinato o libero. A grande scala, le curve piezometriche: mezzo; Agnena; manca del tutto. In questi casi si determina una qualche continuità idraulica tra i materiali piroclastico/alluvionali dell'acquifero ed i sovrastanti terreni alluvionali più recenti.

Dai numerosi dati bibliografici relativi a studi dell'area, dall'analisi delle stratigrafie dei sondaggi disponibili per il territorio, confermati dalle indagini geognostiche eseguite nel sito di specifico interesse per il presente lavoro, è stato possibile desumere che, in corrispondenza dell'area che sarà interessata dall'impianto fotovoltaico l'unità alluvionale che ospita l'acquifero superficiale abbia localmente uno spessore di circa 20 metri e passi poi all'unità dell'Ignimbrite Campana, i cui caratteri idrogeologici evidenziano una permeabilità bassa o molto bassa.

Lungo le verticali stratigrafiche indagate, inoltre, la presenza di livelli francamente argillosi impermeabili all'interno dell'unità alluvionale, frazione la falda superficiale su più livelli, la cui posizione quindi varia in relazione allo specifico andamento geometrico di questi acquicludi. delle oscillazioni verso il piano campagna. In merito ai livelli piezometrici della falda superficiale del sito indagato infine, è opportuno fare alcune considerazioni da tener presente in sede di progettazione strutturale. Tenuto conto che la soggiacenza della falda superficiale è stata misurata nei mesi di agosto (-2,20 m dal p.c.) e dicembre (-2,50 m dal p.c.) 2021, dopo un prolungato periodo di siccità, è possibile ipotizzare che nel corso dell'anno e, soprattutto nel corso delle stagioni maggiormente piovose, essa possa avere delle oscillazioni verso il piano campagna.

	Relazione idrogeologica, idrologica ed idraulica	Codice Elaborato: C_049_DEF_RS_02
	Progettazione di un impianto agro-fotovoltaico di potenza complessiva di 20.384 kW e di tutte le opere ed infrastrutture connesse, nel comune di Castel Volturno	Data: 11/2023

3.4. RETICOLO IDROGRAFICO

I campi fotovoltaici A e B non sono interessati dal alcun corso d'acqua ma il campo FV A costeggia il Canale Il Valicone e il Canale Agnena. Invece, il campo fotovoltaico B costeggia il Canale Vena Grande.

Il cavidotto AT attraverserà il canale Vena Grande in prossimità del campo FV B lungo la strada provinciale "SP161", il canale Apramo lungo la strada comunale Via Armando Diaz ed il Fiume Volturno lungo la strada provinciale SP18.

L'attraversamento deee Canale Vena Grande e del Canale Apramo, al fine di minimizzare gli impatti sui corsi d'acqua attraversati, verrà effettuato con posa del cavidotto AT in sub-alveo mediante trivellazione orizzontale controllata, invece per l'attraversamento del Fiume Volturno il cavidotto AT verrà staffato al ponte esistente lungo la SP18.

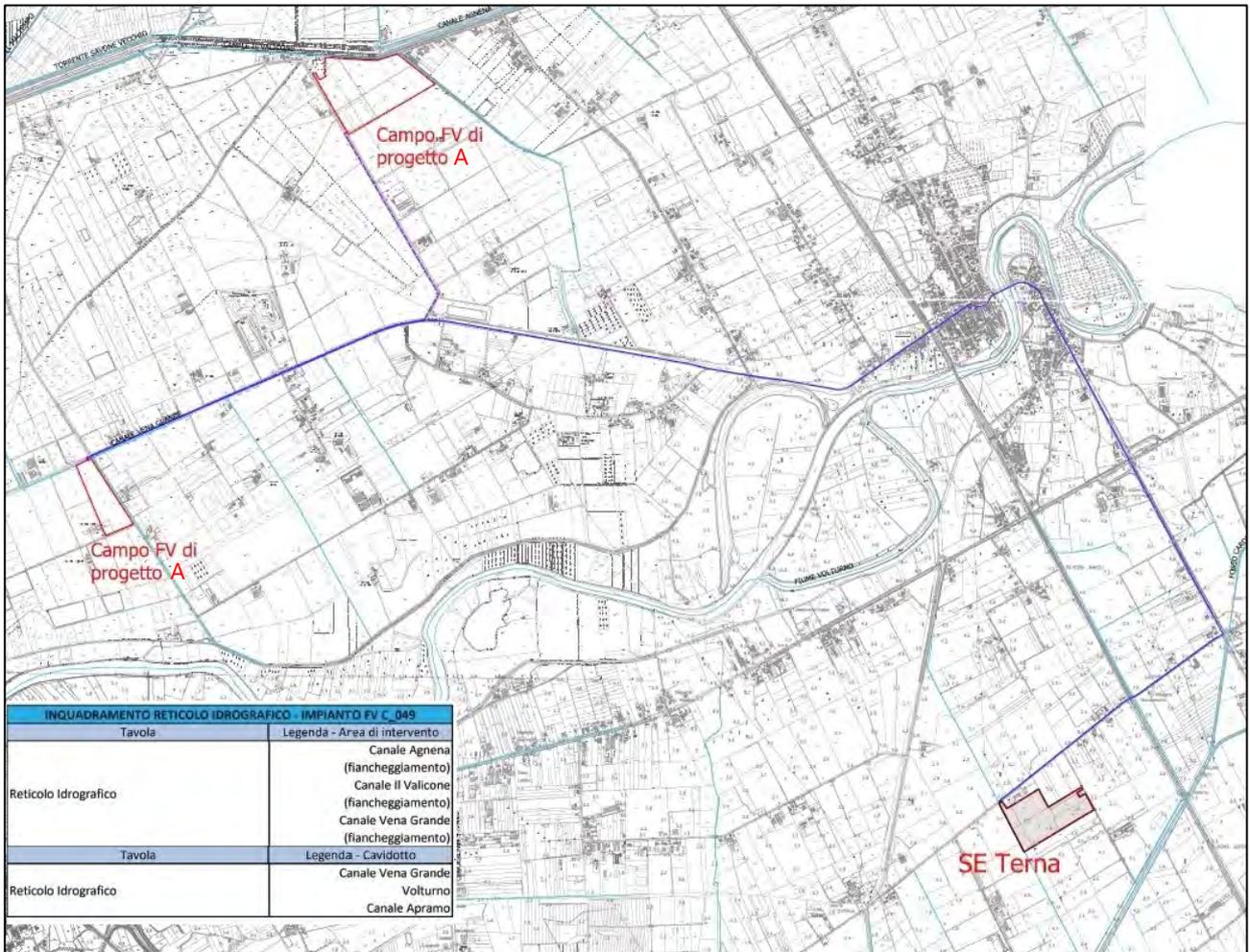


Immagine 3 – IGM – Reticolo idrografico

LEGENDA	
	Area di intervento
	Futura SE della RTN
	Cavidotto 36kV per collegamento alla SE
	Cavidotto di ingresso in cabina di impianto

	Relazione idrogeologica, idrologica ed idraulica	Codice Elaborato: C_049_DEF_RS_02
	Progettazione di un impianto agro-fotovoltaico di potenza complessiva di 20.384 kW e di tutte le opere ed infrastrutture connesse, nel comune di Castel Volturno	Data: 11/2023

4. PERICOLOSITÀ E RISCHIO IDROGEOLOGICO DEL TERRITORIO

I Piani Stralcio per l'assetto idrogeologico Rischio di Frana (**PSAI-Rf**) e Rischio Idraulico (**PSAI-Ri**) per il bacino dei fiumi Liri-Garigliano e Volturno, hanno valore di piano territoriale di settore e sono gli strumenti conoscitivi, normativi, tecnico-operativi mediante i quali sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso del territorio relative all'assetto idrogeologico del bacino idrografico di riferimento.

PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO – RISCHIO DI FRANA

Il **PsAI-Rf**, attraverso le sue disposizioni, persegue l'obiettivo di garantire al territorio del bacino dei fiumi Liri-Garigliano e Volturno un livello di sicurezza adeguato rispetto ai fenomeni di dissesto idrogeologico.

Sulla base di elementi quali l'intensità, la probabilità di accadimento dell'evento, il danno e la vulnerabilità, le aree perimetrate sono state così suddivise:

- **Aree a rischio idrogeologico molto elevato (R4):** nelle quali per il livello di rischio presente, sono possibili la perdita di vite umane, e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture ed al patrimonio ambientale, la distruzione di attività socio economiche;
- **Aree di alta attenzione (A4):** potenzialmente interessate da fenomeni di innesco, transito ed invasione di frana a massima intensità attesa alta ma non urbanizzate;
- **Aree a rischio idrogeologico potenzialmente alto (Rpa):** nelle quali il livello di rischio, potenzialmente alto, può essere definito solo a seguito di indagini e studi a scala di maggior dettaglio;
- **Aree di attenzione potenzialmente alta (Apa):** non urbanizzate e nelle quali il livello di attenzione, potenzialmente alto, può essere definito solo a seguito di indagini e studi a scala di maggior dettaglio;
- **Aree a rischio idrogeologico elevato (R3):** nelle quali per il livello di rischio presente, sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture

	Relazione idrogeologica, idrologica ed idraulica	Codice Elaborato: C_049_DEF_RS_02
	Progettazione di un impianto agro-fotovoltaico di potenza complessiva di 20.384 kW e di tutte le opere ed infrastrutture connesse, nel comune di Castel Volturno	Data: 11/2023

con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socio-economiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale;

- **Aree di medio - alta attenzione (A3):** non urbanizzate che ricadano in una frana attiva a massima intensità attesa media o di una frana quiescente della medesima intensità in un'area classificata ad alto grado di sismicità;

- **Aree a rischio idrogeologico medio (R2):** nelle quali per il livello di rischio presente sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture ed al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche;

- **Aree di media attenzione (A2):** che non sono urbanizzate e che ricadono all'interno di una frana quiescente a massima intensità attesa media;

- **Aree a rischio idrogeologico moderato (R1):** nelle quali per il livello di rischio presente i danni sociali, economici ed al patrimonio ambientale sono marginali; •

- **Aree di moderata attenzione (A1):** che non sono urbanizzate e che ricadono all'interno di una frana a massima intensità attesa bassa;

- **Aree a rischio idrogeologico potenzialmente basso (Rpb):** nelle quali l'esclusione di un qualsiasi livello di rischio, potenzialmente basso, è subordinata allo svolgimento di indagini e studi a scala di maggior dettaglio;

- **Aree di attenzione potenzialmente bassa (Apb):** non urbanizzate e nelle quali l'esclusione di un qualsiasi livello di attenzione, potenzialmente basso, è subordinata allo svolgimento di indagini e studi a scala di maggior dettaglio;

- **Aree di possibile ampliamento** dei fenomeni franosi cartografati all'interno, ovvero di fenomeni di primo distacco (C1); •

- **Aree di versante** nelle quali non è stato riconosciuto un livello di rischio o di attenzione significativo (C2);

	Relazione idrogeologica, idrologica ed idraulica	Codice Elaborato: C_049_DEF_RS_02
	Progettazione di un impianto agro-fotovoltaico di potenza complessiva di 20.384 kW e di tutte le opere ed infrastrutture connesse, nel comune di Castel Volturno	Data: 11/2023

- **Aree inondabili** da fenomeni di sovralluvionamento individuati sulla base di modelli idraulici semplificati o di studi preliminari, il cui livello di rischio o di attenzione deve essere definito a seguito di indagini e studi a scala di maggior dettaglio (al).

L'impianto fotovoltaico non ricade in un'area perimetrata a rischio frana dal PAI redatto dall'Autorità di Bacino dei Fiumi Liri, Garigliano e Volturno (immagine 4)

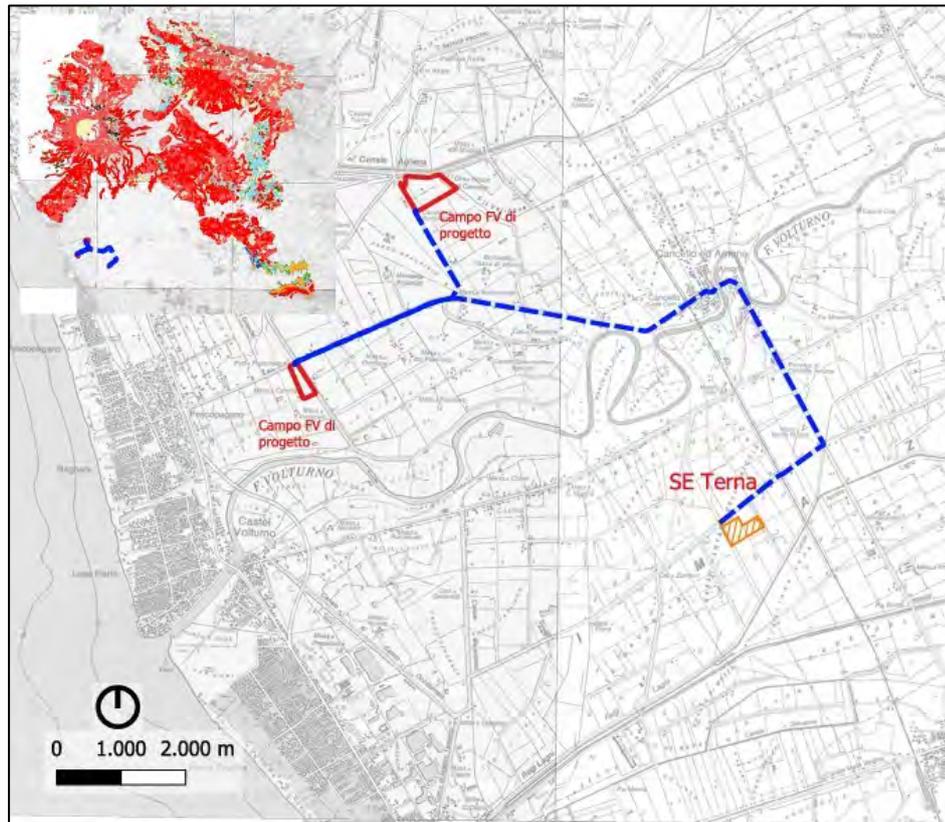


Immagine 4 – Piano Stralcio dell’Autorità di bacino Liri-Garigliano e Volturno – Stralcio della Carta del rischio di frana

RISCHIO FRANA - AREE DI RISCHIO E AMBITI

Rischio Frana

 Ápa	 R0
 Area di alta attenzione A4	 R1
 Area di media attenzione A2	 R1 parco
 Area di medio-alta attenzione A3	 R2
 Area di moderata attenzione A1	 R2 parco
 Non codificato	 R3
	 R3 parco
	 R4
	 R4 parco
	 Rpa

Rischio Frana - AMBITI

 AREE A RICHIO POTENZIALMENTE ALTO
 AREE DI ATTENZIONE POTENZIALMENTE ALTA
 FRANE
 RISCHIO NULLO
 AMBITO GEOMORFOLOGICO DEI FENOMENI FRANOSI

	Relazione idrogeologica, idrologica ed idraulica	Codice Elaborato: C_049_DEF_RS_02
	Progettazione di un impianto agro-fotovoltaico di potenza complessiva di 20.384 kW e di tutte le opere ed infrastrutture connesse, nel comune di Castel Volturno	Data: 11/2023

PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO – RISCHIO IDRAULICO

Il Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico – Rischio idraulico per il bacino dei fiumi LiriGarigliano (**PsAI-Ri**), è diretto al conseguimento di condizioni accettabili di sicurezza idraulica del territorio di competenza, mediante la programmazione di interventi non strutturali e interventi strutturali, con particolare riferimento a:

- la difesa, la sistemazione e la regolazione dei corsi d'acqua;
- la moderazione delle piene;
- la manutenzione delle opere;
- la regolamentazione dei territori interessati dalle piene;
- le attività di prevenzione ed allerta attraverso lo svolgimento funzionale di polizia idraulica, di piena e di pronto intervento

Il PsAI-Ri definisce, in funzione delle aree inondabili con diverso periodo di ritorno, le fasce fluviali, rispetto alle quali si sono impostate le attività di programmazione contenute nel PsAIRi. Le fasce fluviali sono state così definite:

- **Alveo di piena ordinaria.** Si definisce alveo di piena ordinaria la parte della regione fluviale interessata dal deflusso idrico in condizioni di piena ordinaria, corrispondente al periodo di ritorno $T = 2-5$ anni. Nel caso di corsi d'acqua di pianura, l'alveo di piena ordinaria coincide con la savanella, cioè con la fascia fluviale compresa tra le sponde dell'alveo incassato. Nel caso di alvei alluvionati,
 - **l'alveo di piena ordinaria** coincide con il greto attivo, interessato (effettivamente nella fase attuale oppure storicamente) dai canali effimeri in cui defluisce la piena ordinaria.
 - **Alveo di piena standard (Fascia A).** La Fascia A viene definita come l'alveo di piena che assicura il libero deflusso della piena standard, di norma assunta a base del dimensionamento delle opere di difesa. Nel presente Piano si è assunta come piena standard quella corrispondente ad un periodo di ritorno pari a 100 anni. Il "limite di progetto tra la Fascia A e la successiva Fascia B" coincide con le opere idrauliche longitudinali programmabili per la difesa del territorio. Qualora dette

opere vengano realizzate ed entreranno in funzione, i confini della Fascia A si intenderanno definitivamente coincidenti con il tracciato dell'opera idraulica realizzata e la delibera del Comitato Istituzionale di presa d'atto del collaudo dell'opera varrà come adozione di variante del Piano Stralcio per il tratto in questione.

- **Fascia di esondazione (Fascia B).** La Fascia B comprende le aree inondabili dalla piena standard, eventualmente contenenti al loro interno sottofasce inondabili con periodo di ritorno $T < 100$ anni. In particolare sono state considerate tre sottofasce:

- la sottofascia B1 è quella compresa tra l'alveo di piena e la linea più esterna tra la congiungente l'altezza idrica $h=30$ cm delle piene con periodo di ritorno $T=30$ anni e altezza idrica $h=90$ cm delle piene con periodo di ritorno $T=100$ anni;
- la sottofascia B2 è quella compresa fra il limite della Sottofascia B1 e quello dell'altezza idrica $h=30$ cm delle piene con periodo di ritorno $T=100$ anni;
- la sottofascia B3 è quella compresa fra il limite della Sottofascia B2 e quello delle piene con periodo di ritorno $T=100$ anni.

- **Fascia di inondazione per piena d'intensità eccezionale (Fascia C).** È quella interessata dalla piena relativa a $T = 300$ anni o dalla piena storica nettamente superiore alla piena di progetto.

I campi fotovoltaici A e B e l'elettrodotto, non ricadono in area perimetrata "retroarginale" dal PAI redatto dall'Autorità di Bacino dei Fiumi Liri, Garigliano e Volturno ed il cavidotto in prossimità del Fiume Volturno ricade in un'area denominata "Fascia A".

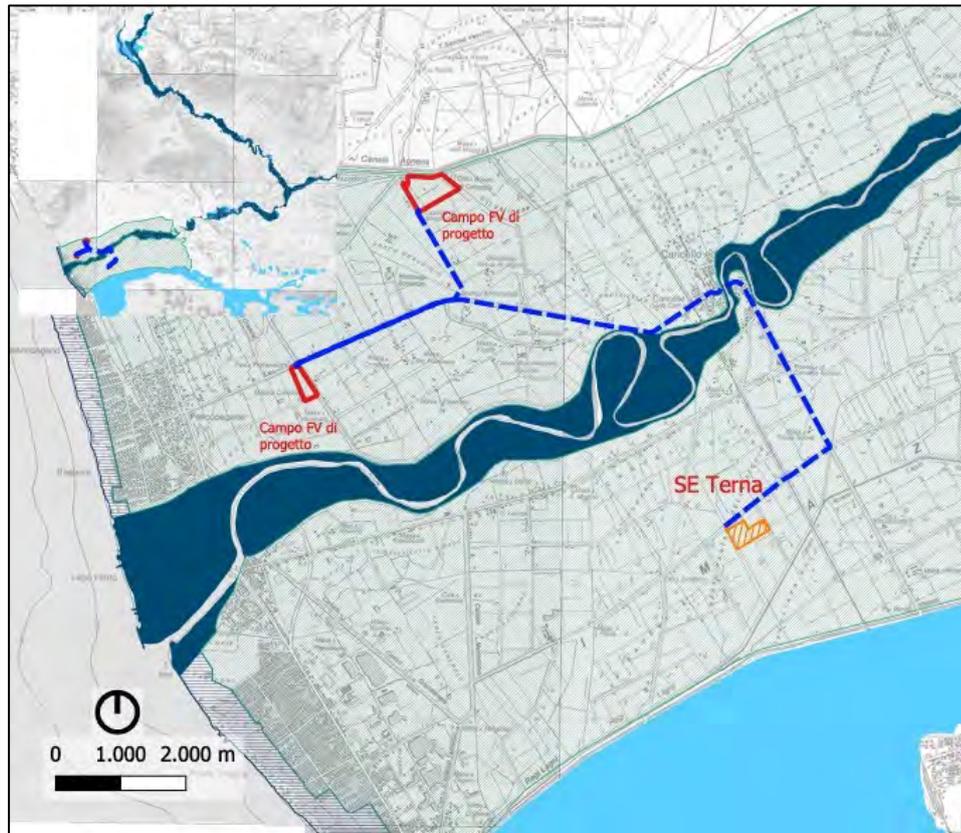


Immagine 5 – Piano Stralcio dell’Autorità di bacino Liri-Garigliano e Volturno – Stralcio della Carta del rischio idraulico

RISCHIO ALLUVIONE - PSDA E RISCHIO IDRAULICO

Rischio Alluvione - PSDA

- FASCIA_A
- FASCIA_B1
- FASCIA_B2
- FASCIA_B3
- FASCIA_C
- IDRAULICO
- LITORALE
- AREA RETROARGINALE

Rischio Alluvione - Rischio idraulico

- R1
- R1 BASSO
- R2
- R2 BASSO
- R3
- R3 BASSO
- R4
- R4 BASSO

PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO – PERICOLOSITÀ IDROLOGICA E FRANA

I campi fotovoltaici A e B e il relativo elettrodotto non ricadono in aree perimetrare a pericolosità idraulica e di frana dal PAI redatto dall'Autorità di Bacino dei Fiumi Liri, Garigliano e Volturno (immagine 6 e 7).

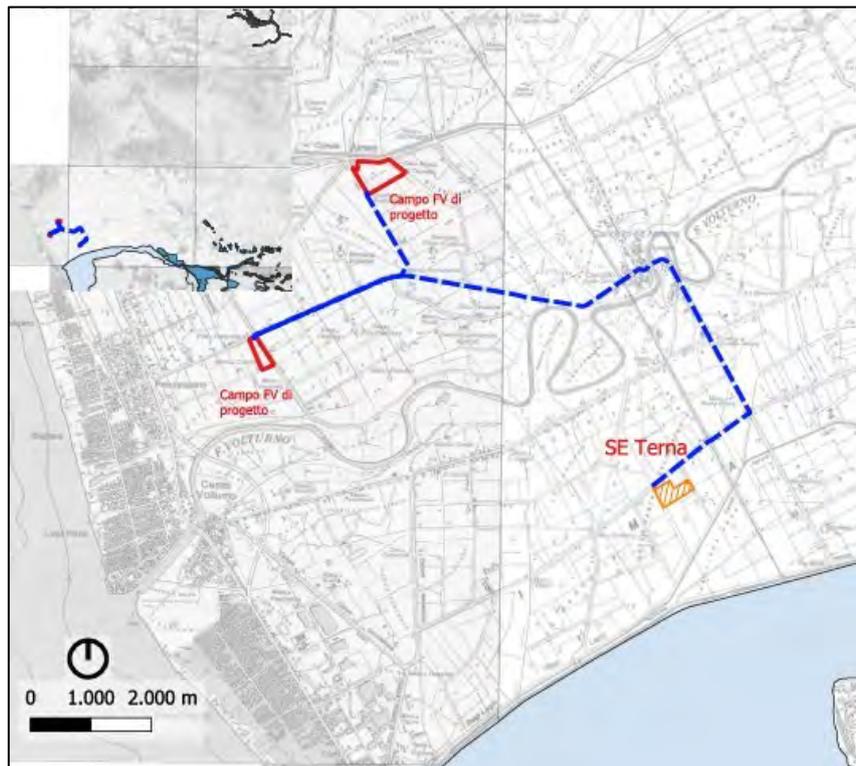


Immagine 6 – Piano Stralcio dell'Autorità di bacino Liri-Garigliano e Volturno – Pericolosità Idraulica

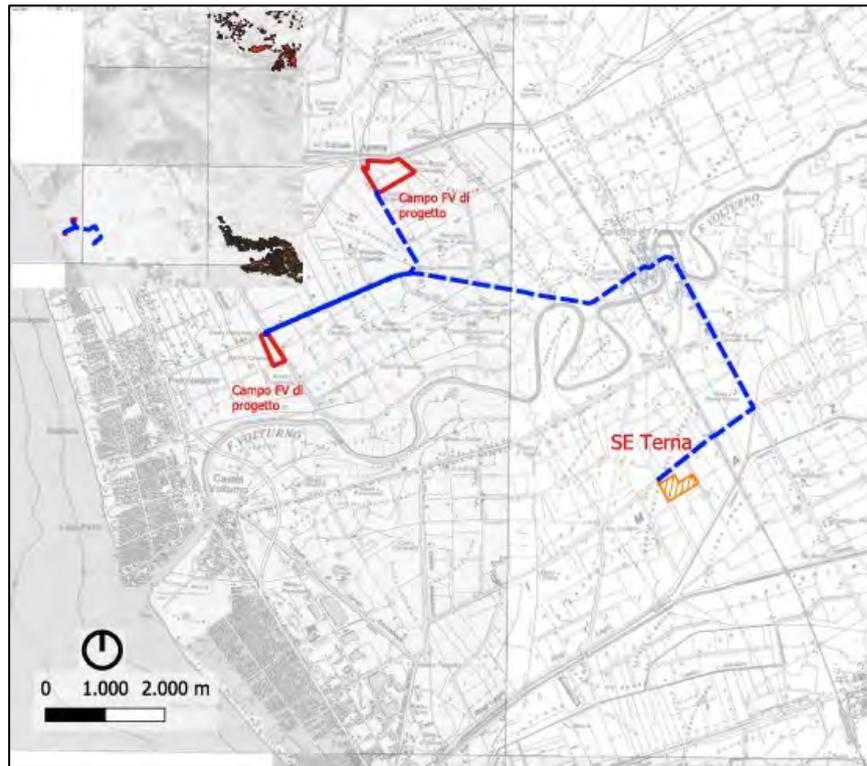


Immagine 7 – Piano Stralcio dell’Autorità di bacino Liri-Garigliano e Volturno – Pericolosità Frana

LEGENDA

AUTORITÀ DI BACINO

PAI - PERICOLOSITÀ IDROGEOLOGICA

Pericolosità di Frana

-  Cave
-  P1
-  P2
-  P3
-  Pf1

Pericolosità di Alluvione

-  P2
-  P3
-  PA
-  PB
-  PM

CARTA DEL VINCOLO IDROGEOLOGICO (R.D. 3267/1923)

Le aree su cui saranno realizzate l'impianto fotovoltaico e il relativo elettrodotto, non sono sottoposte a vincolo idrogeologico (immagine 8).

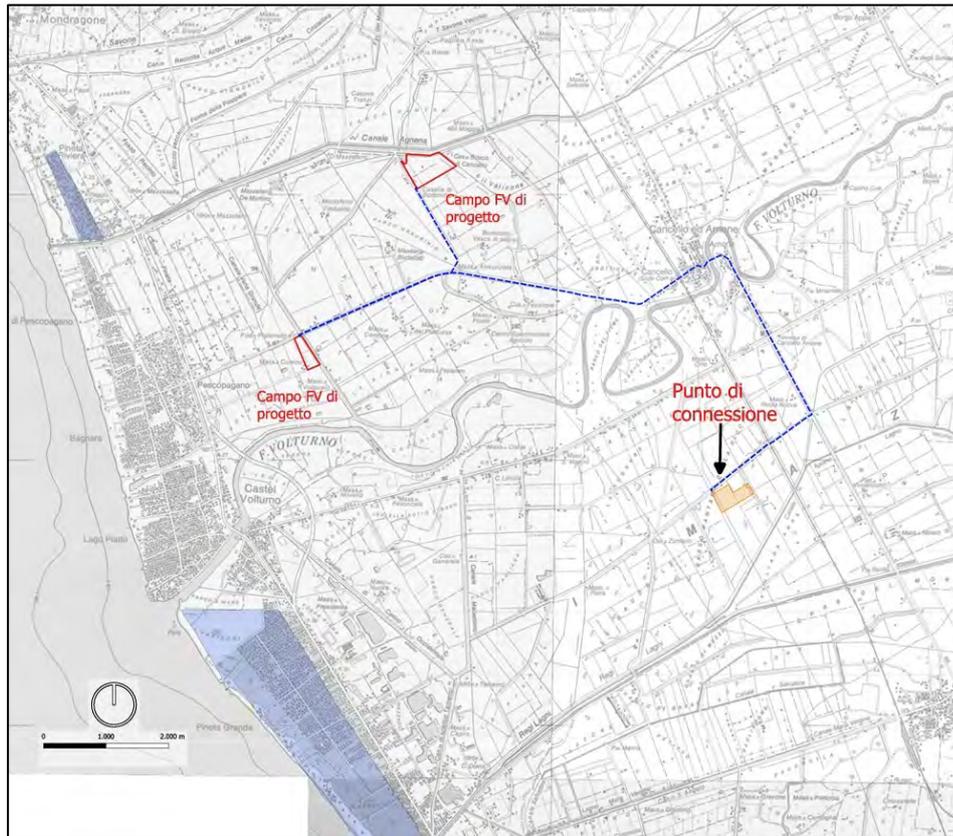


Immagine 8 – Carta del vincolo idrogeologico (R.D. 3267/1923)

	Relazione idrogeologica, idrologica ed idraulica	Codice Elaborato: C_049_DEF_RS_02
	Progettazione di un impianto agro-fotovoltaico di potenza complessiva di 20.384 kW e di tutte le opere ed infrastrutture connesse, nel comune di Castel Volturno	Data: 11/2023

5. COMPATIBILITÀ GEOMORFOLOGICA

Con riferimento al Piano Stralcio "Difesa Alluvioni" il Progetto rientra nell'Area Retroarginale, denominata Area R.

Le norme di Attuazione del Piano Stralcio di Difesa dalla Alluvioni, ai sensi dell'art. 10, nell'area suddetta consentono la realizzazione di nuove infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico di trasporto o di servizi di competenza degli organi statali, regionali o degli altri enti territoriali a condizione che non modifichino i fenomeni idraulici naturali che possono aver luogo nelle fasce, costituendo ostacolo al deflusso, e non limitino la capacità di invaso.

Si ricorda che ai sensi dell'art. 12 co. 1 del D. Lgs 387/2003 "le opere per la realizzazione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili, nonché le opere connesse e le infrastrutture indispensabili alla costruzione e all'esercizio degli stessi impianti, autorizzate ai sensi del comma 3, sono di pubblica utilità ed indifferibili ed urgenti". Vale inoltre la pena sottolineare che l'opera in esame è temporanea (la durata di un impianto fotovoltaico si aggira intorno ai 25-30 anni), non prevede la concentrazione o la presenza continuata di persone ed essendo un'opera puntuale non costituisce un ostacolo né al deflusso né alla capacità di invaso del Fiume Volturno.

Le informazioni necessarie allo studio di compatibilità geomorfologica dell'area su cui sorgerà l'impianto fotovoltaico sono state desunte dalle relazioni e dagli elaborati grafici forniti dall'Autorità di Bacino Nazionale dei fiumi Liri-Garigliano e Volturno.

È stata definita la sezione di chiusura del bacino idrografico del fiume Volturno ed è stata individuata la portata di piena, che attraversa tale sezione, associata a un periodo di ritorno $T = 300$ anni. È stato inoltre individuato il tirante idrico massimo, valutato rispetto al livello del mare e rispetto al fondo dell'alveo, raggiunto dal fiume Volturno in corrispondenza di tale sezione, con riferimento all'evento straordinario di piena con periodo di ritorno $T = 300$ anni. Si è proceduto infine a verificare che il tirante idrico, misurato rispetto al piano campagna in corrispondenza dell'area su cui sorgerà l'impianto fotovoltaico, sia inferiore a 0,7

	Relazione idrogeologica, idrologica ed idraulica	Codice Elaborato: C_049_DEF_RS_02
	Progettazione di un impianto agro-fotovoltaico di potenza complessiva di 20.384 kW e di tutte le opere ed infrastrutture connesse, nel comune di Castel Volturno	Data: 11/2023

5 m (distanza minima da terra dei moduli fotovoltaici), di modo che l'impianto non costituisca un ostacolo al deflusso e non limiti la capacità di invaso (effetto di laminazione).

Il calcolo di tale tirante idrico è avvenuto ipotizzando una decrescita lineare dell'altezza del colmo dell'onda di piena dal fiume Volturno fino al canale Agnena

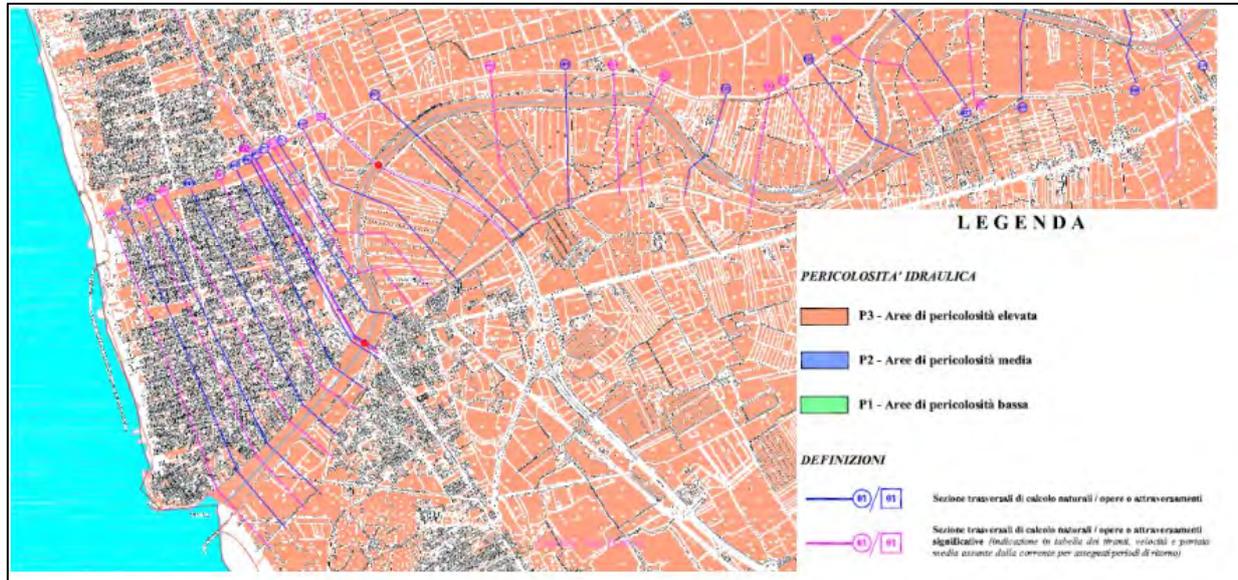
Il bacino idrografico del Volturno comprende i territori ricadenti nelle seguenti Regioni:

- Molise in provincia di Isernia; territorio attraversato dal fiume Volturno e dai suoi affluenti, di cui i principali indagati per il PGRA, oltre al Volturno, sono: Vandra, Carpino/Cavaliere, Rava/San Bartolomeo;
- Campania in provincia di Avellino, Caserta, Benevento e per due comuni in provincia di Salerno; territorio attraversato dal fiume Volturno (BN e CE) dal suo principale affluente il Fiume Calore e dai suoi affluenti. Nel tratto che attraversa la Piana Campana, in particolare nel tratto da Capua a mare, il fiume Volturno scorre all'interno di due argini maestri realizzati al fine di impedire frequenti esondazioni. Esso sfocia nel mar Tirreno, nel territorio comunale di Castel Volturno. I principali corsi d'acqua indagati nell'ambito del PGRA sono: Volturno (CE e BN) e Calore (AV e BN), Sava, Lete e Torano (CE), Titerno, Tammaro, Tammarecchia, lenga e Lenta (BN), Isclero (AV e BN), Fiumarella, Fredane e Fenestrelle (AV), Ufita, Miscano, Serretelle e Sabato.

Il Volturno nasce dalle sorgenti di Capo Volturno nel comune di Rocchetta al Volturno e si sviluppa bagnando il territorio della Campania, anche se il suo bacino imbrifero completo interessa in minima parte anche le regioni Lazio, Abruzzo e Puglia. Il suo principale affluente, per superficie del bacino corrispondente e per portata fluente, è il fiume Calore Irpino, che si immette nelle acque del Volturno in corrispondenza del Comune di Castel Campagnano.

Il bacino idrografico del Volturno ha un'estensione di circa 5'842 km². La parte di bacino considerata per lo studio di compatibilità geomorfologica è quella che ha sezione di chiusura passante per il comune di Castel Volturno (CE) e Canello ed Arnone (CE).

In particolare, si è fatto riferimento alla sezione n. 20 e n. 27 – Mappa della pericolosità idraulica – Tav. 06P per Castel Volturno, fornito dall’Autorità di Bacino Nazionale dei fiumi Liri-Garigliano e Volturno. Si riportano di seguito gli estratti di tali mappe.



Mappa della pericolosità idraulica – Tav. 06P – Campo FV A e B

Corso d'acqua	Sezione	Q [m ³ /s]	Y _c [m s.l.m.]	Y _v [m s.l.m.]	hm [m]	V _{sc} [m/s]	V _{sc} [m/s]	V _{sc} [m/s]	V _{sc} [m/s]
		Portata	Quota minima di fondo	Livello idrico assoluto	Tronco idrico rispetto al fondo alveo	Velocità media sezione	Velocità media alveo inciso	Velocità media gola destra	Velocità media gola sinistra
VOLTURNO (da Capua a Mare)	32	4500	-2.3	7.6	9.8	1.6	3.2	0.9	0.9
	28	4500	-1.9	6.7	8.6	1.3	2.4	0.8	1.1
	27	4500	-3.1	6.6	9.7	1.2	2.1	0.7	1.0
	26	4500	-2.6	6.4	9.0	1.5	2.9	1.0	1.1
	24	4500	-3.0	5.9	8.9	1.7	3.3	1.2	1.1
	23	4500	-4.7	5.8	10.4	1.7	3.0	1.2	1.2
	21	4500	-2.0	5.1	7.1	2.0	3.4	1.3	1.3
	20	4500	-5.1	4.9	10.1	1.9	3.7	1.2	1.4
	18	4500	-2.9	4.6	7.5	1.3	2.5	0.9	1.0
	16	4500	-3.6	4.5	8.1	1.0	2.0	0.8	0.8
	13	4500	-3.9	4.1	8.0	1.2	2.7	0.8	1.0
	10	4500	-5.2	3.2	8.4	2.0	3.9	1.0	1.1
	7	4500	-3.3	2.9	6.2	1.8	3.7	0.9	1.4
	5	4500	-2.7	2.6	5.3	1.4	3.0	0.9	1.2
	3	4500	-2.4	2.5	4.9	1.2	2.6	0.8	1.2
1	4500	-3.7	1.8	5.5	1.6	4.1	0.9	1.4	

Scenario alluvioni rare di estrema intensità con tempo di ritorno T=300 anni – Campo FV A

Da tale elaborato grafico si evince che la portata idrica del Volturno associata a un periodo di ritorno $T = 300$ anni che attraversa tale sezione è:

$$Q_T = 300 \text{ anni} = 4.500 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Sempre dall'elaborato sopra riportato si evince inoltre che il tirante idrico in corrispondenza della sezione 20, valutato rispetto al fondo dell'alveo e rispetto al livello del mare, vale:

$$h_T = 300 \text{ anni, fondo alveo} = 9,7 \text{ m}$$

$$h_T = 300 \text{ anni, dal livello del mare} = 6,6 \text{ m s.l.m.}$$

Si evince, inoltre, che il tirante idrico in corrispondenza della sezione 27, valutato rispetto al fondo dell'alveo e rispetto al livello del mare, vale:

$$h_T = 300 \text{ anni, fondo alveo} = 10,0 \text{ m}$$

$$h_T = 300 \text{ anni, dal livello del mare} = 4,9 \text{ m s.l.m.}$$

5.1. VERIFICA DI COMPATIBILITÀ GEOMORFOLOGICA

Il tirante idrico in corrispondenza dell'impianto fotovoltaico è stato calcolato ipotizzando una decrescita lineare dell'altezza del colmo dell'onda di piena (avente periodo di ritorno $T = 300$ anni), man mano che essa si allontana dal fiume, fino ad annullarsi in corrispondenza del canale Agnena, che scorre a nord del Volturno, il quale segna la fine delle aree inondabili. Si è assunto, inoltre, a vantaggio di sicurezza, che non ci sia alcun ostacolo alla propagazione dell'onda di piena. Attraverso un semplice calcolo geometrico viene determinato il tirante idrico misurato rispetto al piano campagna dell'area su cui sorgerà l'impianto fotovoltaico.

CAMPO FV A

Tale valore è stato ottenuto congiungendo il tirante idrico in corrispondenza della sezione n. 20 con il tirante idrico pari a zero in corrispondenza del canale Agnena.

L'impianto fotovoltaico si trova a circa 3,8 km dal fiume Volturno, mentre il canale Agnena, nel quale confluisce l'onda di piena straordinaria, si trova a 4,0 km circa dal fiume.

Visto che il tirante idrico in corrispondenza della sezione n. 20 valutato rispetto al livello del mare è pari a 6,6 m s.l.m., mentre la quota dell'argine nord in corrispondenza della medesima sezione è pari a 3,0 m s.l.m., il tirante idrico in corrispondenza di tale sezione rispetto al piano campagna si assume pari a 3,6 m. Pertanto, il tirante idrico misurato rispetto al piano campagna dell'area su cui sorgerà l'impianto fotovoltaico vale:

$$h_{T=300 \text{ anni, p.c. area impianto}} = (3,6 \text{ m} / 4.000 \text{ m}) \cdot (4.000 \text{ m} - 3.800 \text{ m}) = 0,18 \text{ m}$$

CAMPO FV B

Tale valore è stato ottenuto congiungendo il tirante idrico in corrispondenza della sezione n. 27 con il tirante idrico pari a zero in corrispondenza del canale Agnena.

L'impianto fotovoltaico si trova a circa 1,1 km dal fiume Volturno, mentre il canale Agnena, nel quale confluisce l'onda di piena straordinaria, si trova a 4,0 km circa dal fiume.

Visto che il tirante idrico in corrispondenza della sezione n. 28 valutato rispetto al livello del mare è pari a 4,9 m s.l.m., mentre la quota dell'argine nord in corrispondenza della medesima sezione è pari a 2,0 m s.l.m., il tirante idrico in corrispondenza di tale sezione rispetto al piano campagna si assume pari a 2,9 m. Pertanto, il tirante idrico misurato rispetto al piano campagna dell'area su cui sorgerà l'impianto fotovoltaico vale:

$$h_{T=300 \text{ anni, p.c. area impianto}} = (2,9 \text{ m} / 4.000 \text{ m}) \cdot (4.000 \text{ m} - 1.100 \text{ m}) = 2,10 \text{ m}$$

Il tirante idrico misurato rispetto al piano campagna dell'area su cui sorgerà l'impianto del campo FV A è inferiore a 0,75 m (distanza minima da terra dei moduli fotovoltaici), e dunque l'impianto fotovoltaico non costituisce un ostacolo al deflusso e non limita la capacità di invaso in quanto non produce alcun effetto di laminazione della piena straordinaria con periodo di ritorno $T = 300$ anni.

	Relazione idrogeologica, idrologica ed idraulica	Codice Elaborato: C_049_DEF_RS_02
	Progettazione di un impianto agro-fotovoltaico di potenza complessiva di 20.384 kW e di tutte le opere ed infrastrutture connesse, nel comune di Castel Volturno	Data: 11/2023

Invece, Il tirante idrico misurato rispetto al piano campagna dell'area su cui sorgerà l'impianto del campo FV B è superiore a 0,75 m (distanza minima da terra dei moduli fotovoltaici).

Rispetto alla possibilità di consentire il deflusso dell'acqua meteorica in caso di evento alluvionale al di sotto delle strutture senza che le stesse vengano intaccate anche dalla presenza di materiale solido trasportato, si precisa che gli inseguitori monoassiali (tracker) che verranno utilizzati nell'impianto sono dotati di sensoristica per il riconoscimento degli eventi atmosferici che consentono al tracker di posizionarsi in sicurezza al mutare delle condizioni ambientali. Inoltre sono forniti di un Sistema Scada che consente il comando remoto delle schede di controllo che ne governano il movimento. Con la comunicazione da remoto attraverso il protocollo VNC, si ha la possibilità di posizionare in sicurezza il pannello parallelamente al terreno, pertanto ad un'altezza di 2,80 m, in caso di black out o di eventi meteorici estremi e dunque di assicurarne la compatibilità delle opere anche in caso di evento alluvionale.

6. ANALISI IDROLOGICA

Per poter dimensionare in modo adeguato gli interventi idraulici da eseguire qualora se ne rendesse necessaria la realizzazione, risulta propedeutico lo studio idrologico delle aree al fine di conoscere le massime portate di piena, per preassegnati periodi di ritorno, in corrispondenza della sezione di chiusura individuata ai fini delle verifiche.

In conformità con i contenuti del P.S.D.A., la metodologia adottata nel presente studio per la valutazione delle massime portate di piena, fa riferimento a quella proposta nel Rapporto Valutazione delle Piene in Campania (VAPI) redatto a cura di Fabio Rossi e Paolo Villani dell'Unità Operativa 1.9 – Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Salerno del C.N.R./G.N.D.C.I.

	Relazione idrogeologica, idrologica ed idraulica	Codice Elaborato: C_049_DEF_RS_02
	Progettazione di un impianto agro-fotovoltaico di potenza complessiva di 20.384 kW e di tutte le opere ed infrastrutture connesse, nel comune di Castel Volturno	Data: 11/2023

6.1. METODO VAPI

6.1.1. Generalità

L'analisi idrologica dei valori estremi delle precipitazioni e delle piene in Campania è stata effettuata nel Rapporto VAPI Campania attraverso una metodologia di analisi regionale delle informazioni idrologiche, che si avvale di modelli concettuali di formazione dei deflussi di piena a partire dalle precipitazioni meteoriche, con un approccio di tipo probabilistico, che associa ad ogni valore della variabile idrologica di riferimento una probabilità che si verifichino eventi con valori superiori.

La valutazione della massima portata di piena in una data sezione della rete idrografica viene quindi effettuata in un contesto probabilistico, riferendosi ad un assegnato rischio di superamento in N anni, o al periodo di ritorno di T anni. Per cui non esiste un massimo assoluto della variabile di interesse, ma ad ogni suo valore viene associata una probabilità di superamento in un anno e, quindi un periodo di ritorno, T, inteso come numero medio di anni fra due superamenti successivi della variabile idrologica di interesse.

La metodologia probabilistica adottata nel rapporto VAPI è basata sull'uso della distribuzione di probabilità del valore estremo a doppia componente TCEV (Two Component Extreme Value), che interpreta gli eventi massimi annuali come risultato di una combinazione di due popolazioni distinte, di cui la prima produce gli eventi massimi ordinari, più frequenti ma meno intensi, e la seconda produce gli eventi massimi straordinari, meno frequenti ma più intensi.

I diversi parametri del modello probabilistico vengono valutati a scale regionali differenti, attraverso una procedura di regionalizzazione gerarchica, in funzione dell'ordine statistico del parametro stesso. Indicando con Q il massimo annuale della portata al colmo e con T il periodo di ritorno, cioè l'intervallo di tempo durante il quale si accetta che l'evento di piena possa verificarsi mediamente una volta, la massima portata di piena QT corrispondente al prefissato periodo di ritorno T, può essere valutata come:

$$Q_T = K_T \cdot m(Q)$$

dove:

- $m(Q)$ = media della distribuzione dei massimi annuali della portata di piena (piena indice);
- K_T = fattore probabilistico di crescita, pari al rapporto tra Q_T e la piena indice.

La legge di variazione di K_T con T si indica come legge di crescita con il periodo di ritorno.

Per quanto attiene alla valutazione del fattore probabilistico di crescita, il rapporto VAPI propone la formulazione riportata al paragrafo che segue. Per la valutazione di $m(Q)$, vengono invece indicate quattro differenti metodologie, due di tipo diretto, basate su formule monomie in cui la portata dipende essenzialmente dall'area del bacino, e due di tipo indiretto (la formula razionale e il modello geomorfoclimatico) in cui la piena indice viene valutata a partire dalle piogge e dipende in maniera più articolata dalle caratteristiche geomorfologiche del bacino (area, percentuale impermeabile, copertura boschiva).

6.1.2. Leggi di variazione dei coefficienti di crescita con il periodo di ritorno

Pioggie giornaliere

Fissati i parametri di forma e di scala della distribuzione di probabilità cumulata (DPC) all'interno della sottozona pluviometrica omogenea previamente identificata, resta univocamente determinata la relazione fra periodo di ritorno T e valore del coefficiente di crescita K_T :

$$T = \frac{1}{1 - F_K(k)} = \frac{1}{1 - \exp(-\Lambda_1 \cdot e^{-\eta k} - \Lambda_2 \cdot \Lambda_1^{1/\theta} \cdot e^{-\eta k \theta})} \quad (1)$$

I parametri ottenuti per l'intera regione Campania sono riportati in tabella.

Piogge	$\theta_s=2.536$	$\Lambda_s=0.224$	$\Lambda_1=37$	$\eta=4.909$
--------	------------------	-------------------	----------------	--------------

Più utile dal punto di vista pratico è la forma inversa della (1) per cui, fissato un valore T del periodo di ritorno, si ricava il corrispondente valore del coefficiente di crescita K_T . Per la distribuzione TCEV tale relazione non è analiticamente ottenibile. Si riportano di seguito, in tabella, i valori di K_T ottenuti numericamente dalla (1) per alcuni valori del periodo di ritorno.

T (anni)	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
K_T (piogge)	0.87	1.16	1.38	1.64	2.03	2.36	2.71	3.17	3.53

Nelle pratiche approssimazioni, è possibile anche fare riferimento ad una espressione semplificata del tipo:

$$K_T = \left(\frac{\theta_s \cdot \text{Ln} \Lambda_s}{\eta} + \frac{\text{Ln} \Lambda_1}{\eta} \right) + \frac{\theta_s}{\eta} \text{Ln} T \quad (2)$$

che, dati i valori assunti dai parametri della distribuzione TCEV in Campania, diventa:

$$K_T = - 0.0373 + 0.517 \text{ Ln} T \quad (3)$$

Portate istantanee al colmo di piena

In riferimento alla (1), i parametri ottenuti per l'intera regione Campania sono riportati in tabella.

Portate	$\theta_s=2.634$	$\Lambda_s=0.350$	$\Lambda_1=13$	$\eta=3.901$
---------	------------------	-------------------	----------------	--------------

Si riportano di seguito, in tabella, i valori di K_T ottenuti numericamente dalla (2) per alcuni valori del periodo di ritorno.

T (anni)	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
K_T (portate)	0.87	1.29	1.63	2.03	2.61	3.07	3.53	4.15	4.52

Nelle pratiche approssimazioni, è possibile anche fare riferimento ad una espressione semplificata del tipo:

$$K_T = \left(\frac{\theta \cdot \text{Ln} \Lambda_0}{\eta} + \frac{\text{Ln} \Lambda_1}{\eta} \right) + \frac{\theta}{\eta} \text{Ln} T \quad (4)$$

che, dati i valori assunti dai parametri della distribuzione TCEV in Campania, diventa:

$$K_T = - 0.0567 + 0.680 \text{ Ln } T \quad (5)$$

6.1.3. Stima del valore medio

Piogge puntuali

Le leggi di probabilità pluviometriche definiscono come varia la media del massimo annuale dell'intensità di pioggia su una fissata durata d , $\mu[I(d)]$, con la durata stessa.

Tali leggi devono essere strettamente monotone, in quanto mediamente l'intensità di pioggia media per una durata superiore deve essere necessariamente minore di quella per una durata inferiore. Inoltre, per una durata molto piccola devono raggiungere un valore finito, rappresentante al limite per d che tende a zero, la media del massimo annuale dell'intensità di pioggia istantanea.

Per la Campania è stata adottata una espressione del tipo:

$$\mu[I(d)] = \frac{\mu(I_0)}{\left(1 + \frac{d}{d_c} \right)^\beta} \quad (6)$$

in cui d e d_c vanno espressi in ore, $\mu[l_0]$ e $\mu[l(d)]$ in mm/ora e vale:

$$\beta = C - DZ$$

parametri delle (6) e (7) sono costanti all'interno di singole aree pluviometriche omogenee, e variano nel passare dall'una all'altra. I parametri delle (6) e (7) sono forniti in tabella.

Area omogenea	$\mu(l_0)$ (mm/ora)	d_c (ore)	C	$D \cdot 10^5$
1	77.08	0.3661	0.7995	8.6077
2	83.75	0.3312	0.7031	7.7381
3	116.70	0.0976	0.736	8.73
4	78.61	0.3846	0.81	24.874
5	231.8	0.0508	0.8351	10.8
6	87.87	0.2205	0.7265	8.8476

Per identificare in quale area omogenea rientra il bacino in studio, si può fare riferimento alla corografia nell'immagine 10.



Immagine 9 – Aree omogenee progetto VA.PI CAMPANIA

I siti di intervento, ricadono nella Zona omogenea A1.

Piogge areali

La valutazione della intensità di pioggia media sull'intero bacino (pioggia media areale) viene effettuata moltiplicando la (6) per il fattore di riduzione areale K_A :

$$K_A(d) = 1 - (1 - \exp(-c_1 A)) \exp(-c_2 d^3)$$

dove A è l'area del bacino, espressa in km², d la durata della pioggia, espressa in ore, ed i coefficienti valgono:

	Relazione idrogeologica, idrologica ed idraulica	Codice Elaborato: C_049_DEF_RS_02
	Progettazione di un impianto agro-fotovoltaico di potenza complessiva di 20.384 kW e di tutte le opere ed infrastrutture connesse, nel comune di Castel Volturno	Data: 11/2023

C1 = 0.0021

C2 = 0.53

C3 = 0.25

in cui C3 non è ottenuto dai dati pluviometrici dell'area in studio, ma viene desunto da analoghe indagini condotte negli Stati Uniti.

Portata al colmo di piena istantanea

Quando nella sezione terminale del bacino in studio esiste una stazione di misura idrometrica, la stima della piena media annua può essere effettuata direttamente sulla serie osservata dei massimi annuali al colmo di piena, essendo tale stima piuttosto affidabile non appena la serie osservata sia di lunghezza appena sufficiente (4-5 anni).

Nel caso più frequente in cui tali dati dovessero mancare del tutto, possono essere utilizzati diversi modelli per la stima indiretta della piena media annua; nel seguito ne vengono riportati i principali risultati applicativi introdotti nel rapporto VAPI.

Regressione empirica

Tra le diverse formulazioni di tipo regressivo fra la piena media annua e le principali grandezze fisiche del bacino, per le sue prestazioni statistiche, valutate attraverso una tecnica di cross-validation, il rapporto VAPI propone la seguente relazione:

$$\mu(Q) = a \text{ Arid}^b$$

in cui con Arid si intende l'area del bacino ridotta delle sue parti carbonatiche con copertura boschiva, espressa in km², mentre $\mu(Q)$ è in m³/s, ed i parametri valgono:

a = 3.2160

b = 0.7154

Modelli concettuali

L'area interessata è stata suddivisa in tre tipologie idrogeomorfologiche:

- A1, la superficie carbonatica del bacino non coperta da bosco
- A2, la superficie non carbonatica del bacino;
- A3, la superficie carbonatica del bacino con copertura boschiva

in ognuna delle quali vengono considerate costanti alcune delle grandezze utilizzate per l'analisi regionale della piena media annua utilizzando due diversi modelli concettuali, i cui risultati sono nel seguito sintetizzati:

Formula razionale

Il modello razionale ha caratteristiche previsionali non molto inferiori a quelle di un modello concettuale più completo, che si espone in seguito, ma risulta di uso piuttosto agevole. In sintesi, tale modello si riassume nella seguente espressione:

$$\mu(Q) = C^* K_A(t_r) \mu[l(t_r)] A / 3.6 \quad (10)$$

in cui i parametri del modello, cioè il coefficiente di piena C^* ed il tempo di ritardo del bacino, t_r , possono essere valutati in base alle seguenti espressioni:

$$C^* = C_1^* \cdot \left(\frac{A_1}{A} \right) + C_2^* \cdot \frac{A_2}{A} \quad (11)$$

$$t_r = \frac{C_1^* \cdot (A_1)}{C^* \cdot A} \cdot \frac{1.25}{3.6 \cdot c_1} \cdot \sqrt{A_1} + \frac{C_2^* \cdot A_2}{C^* \cdot A} \cdot \frac{1.25}{3.6 \cdot c_2} \cdot \sqrt{A_2} \quad (12)$$

con:

$$C^*1 = 0.29$$

$$C^*2 = 0.36$$

$$C1 = 0.23 \text{ m/s}$$

$$C2 = 1.87 \text{ m/s}$$

Nelle (10) – (12) le aree sono in km^2 , t_r in ore, $l(t_r)$ in mm/ora ed (Q) in m^3/s .

Modello geomorfoclimatico

Il modello geomorfoclimatico è il modello i cui parametri possiedono maggiore significato fisico. In sintesi, tale modello conduce alla seguente espressione:

$$\mu(Q) = C_f S(d^*) K_A(d^*) \mu[I(d^*)] A \quad (13)$$

in cui d^* è la durata critica delle precipitazioni sul bacino che dipende in maniera complessa sia dalle caratteristiche geomorfologiche della risposta del bacino, sia dalle caratteristiche climatiche delle precipitazioni intense sul bacino stesso:

in particolare, dipende dal tempo di ritardo del bacino, t_r ; C_f è il coefficiente di afflusso di piena del bacino, che tiene conto delle trasformazioni della pioggia totale precipitata sul bacino nell'aliquota netta efficace ai fini dei deflussi superficiali di piena: le perdite sono essenzialmente dovute all'infiltrazione e all'intercettazione da parte dell'apparato fogliare. Infine, $S(d^*)$ è il coefficiente di attenuazione della portata al colmo di piena, che tiene conto delle attenuazioni indotte sul picco di piena dalla propagazione e laminazione dell'onda all'interno del reticolo dei canali.

La (13) può anche essere riscritta come:

$$\mu(Q) = C_f q K_A(t_r) \mu[I(t_r)] A / 3.6 \quad (14)$$

in cui q è il coefficiente di attenuazione corretto del colmo di piena e dipende in maniera complessa da tutti i parametri in gioco nel modello, ma che può essere valutato, in prima approssimazione, come:

$$q = \begin{cases} 0.60 & \text{se } 0.25 \leq n' = 1 + k_1 \cdot A \cdot \frac{\beta \cdot t_r / d_c}{1 + t_r / d_c} \leq 0.45 \\ 0.65 & \text{se } 0.45 \leq n' = 1 + k_1 \cdot A \cdot \frac{\beta \cdot t_r / d_c}{1 + t_r / d_c} \leq 0.65 \end{cases} \quad (15)$$

in cui b e dc sono i parametri della legge di probabilità pluviometrica per l'area omogenea considerata, mentre k_1 è un coefficiente numerico pari a:

$$k_1 = 1.44 \cdot 10^{-4}$$

se le aree sono in km^2 , le durate in ore e le intensità di pioggia in mm/ora .

La (14) consente il calcolo della piena media annua, noti i valori dei parametri della legge di probabilità pluviometrica sul bacino, l'area del bacino ed i valori dei parametri della risposta del bacino, che sono il coefficiente di afflusso C_f ed il tempo di ritardo t_r del bacino, valutabili attraverso le seguenti espressioni:

$$C_f = C_n \cdot \left(\frac{A_1}{A} \right) + C_n \cdot \frac{A_2}{A} \quad (16)$$

$$t_r = \frac{C_n \cdot (A_1)}{C_f \cdot A} \cdot \frac{1,25}{3,6 \cdot c_1} \cdot \sqrt{A_1} + \frac{C_n \cdot A_2}{C_f \cdot A} \cdot \frac{1,25}{3,6 \cdot c_2} \cdot \sqrt{A_2} \quad (17)$$

in cui:

$$C_{f1} = 0.42$$

$$C_{f2} = 0.56$$

$$C_1 = 0.23 \text{ m/s}$$

$$C_2 = 1.87 \text{ m/s}$$

7. CALCOLO DELLA PORTATA

Il bacino idrografico in cui ricade il campo FV, si estende su una superficie di circa $0,80 \text{ km}^2$, con quota media di 1 m s.l.m e sono circondati nelle aree adiacenti da una serie di canalizzazioni artificiali e naturali il cui compito è quello di drenare le acque meteoriche in occasioni di eventi meteorici significativi.

	Relazione idrogeologica, idrologica ed idraulica	Codice Elaborato: C_049_DEF_RS_02
	Progettazione di un impianto agro-fotovoltaico di potenza complessiva di 20.384 kW e di tutte le opere ed infrastrutture connesse, nel comune di Castel Volturno	Data: 11/2023

Le aree in particolare, che costituisce il bacino di scolo, ricadono nell'area 1 delle aree omogenee VAPI, ed in relazione a questa caratteristica, è stata valutata la curva di probabilità pluviometrica caratteristica del bacino stesso, i cui valori sono illustrati nelle seguenti tabelle:

Caratteristiche Bacino

Definire la sottozona omogenea di riferimento (2° livello di regionalizzazione) Campania

Definire l'area di studio (3° livello di regionalizzazione) Area 1

Definire l'area e la quota del bacino idrografico

A (Kmq) = 0,8 kmq

Z (m s.l.m.) = 1 m s.l.m.

Si assume l'ipotesi che il fattore probabilistico di crescita sia costante al variare della durata.

Calcolo del fattore di crescita

d (ore) = 0,25

APRI PARAMETRI DISTRIBUZIONE

$$T = \frac{1}{1 - \exp(-\Lambda_1 e^{-\eta_1 T} - \Lambda_2 \Lambda_1^{1/\beta_2} e^{-\eta_2 T / \beta_2})}$$

Valida per tutti i compartimenti

$$T = \frac{1}{1 - \exp\left\{-\left[1 - \frac{\beta_2}{c_1} (K_1 - \varepsilon)\right]^{1/\beta_2}\right\}}$$

Valida solo per Italia Nord Occidentale

T (anni) = 30

K_T (giornaliere) = 1,79

T (anni)	2	5	10	30	50	100	200	300	500	1000
K _T (giornaliere)	0,93	1,22	1,43	1,79	1,98	2,26	2,55	2,72	2,95	3,26

Calcolo della pioggia indice

Parametri	m(h _d)(mm/ora)	d _c (ore)	β(z)
	77,78	0,3661	0,7894

m(h_d) = (m(h_d)/(1+d/d_c)^{β(z)})-d = 12,83 mm

Calcolo del fattore di riduzione areale

$$ARF [1] = 1 - e^{(-1.1d^{1/4})} + e^{(-1.1d^{1/4}-0.01A)}$$

$$ARF [2] = 1 - (1 - e^{(-c_1 \cdot A)}) \cdot e^{(-c_2 \cdot d^{c_3})}$$

$$ARF [3] = a + (1 - a) \cdot e^{(-b \cdot A)}$$

Parametri	c ₁	c ₂	c ₃
	0,0021	0,53	0,25

ARF [2] = 1,00

Massima altezza di pioggia annuale

T (anni) = 30

h_d (T,d) (mm) = 22,99

T (anni)	2	5	10	30	50	100	200	300	500	1000
h _d (T,d) (mm)	11,90	15,61	18,33	22,99	25,40	28,91	32,65	34,91	37,81	41,79

Curva di possibilità pluviometrica

d (ore)	0	1	3	6	9	12	15	18	21	24
m(h _d) (mm)	0,00	27,15	39,60	47,59	52,43	55,98	58,82	61,21	63,27	65,10

Immagine 10 – Curva possibilità pluviometrica

	Relazione idrogeologica, idrologica ed idraulica	Codice Elaborato: C_049_DEF_RS_02
	Progettazione di un impianto agro-fotovoltaico di potenza complessiva di 20.384 kW e di tutte le opere ed infrastrutture connesse, nel comune di Castel Volturno	Data: 11/2023

La determinazione della portata di piena è stata effettuata utilizzando il metodo razionale, i cui calcoli, illustrati nella immagine seguente, hanno condotto ad un valore di Q pari a 14.06 m³/s per un periodo di ritorno T pari a 30 anni.

I valori di portata così stimati (fissato periodo di ritorno) saranno utilizzati, se necessario, per le verifiche idrauliche delle sezioni d'interesse lungo i tratti del reticolo idrografico interferito dalle opere di progetto.

Caratteristiche Bacino									
Definire la sottozona omogenea di riferimento (2° livello di regionalizzazione)					Campania			ESEGUI	
Definire l'area di studio (3° livello di regionalizzazione)					Campania - intero territorio			APRI IMMAGINE SZO	
Definire l'area, la quota e la lunghezza dell'asta principale del bacino idrografico					Note				
A (Km ²) =	0,8	Kmq							
Z (m s.l.m.) =	1	m s.l.m.							
L _{ap} (Km) =	3	Km							
Calcolo del tempo di corrivazione									
$T_c[1] = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L_{ap}}{0.8\sqrt{Z}}$ Formula di Giandotti			$T_c[2] = 0.35\sqrt{A}$						
T _c [1] (ore) =	10								
Calcolo del fattore di crescita									
APRI PARAMETRI DISTRIBUZIONE			$T = \frac{1}{1 - \exp(-\Lambda_1 e^{-K_T t} - \Lambda_2 \Lambda_1^{1/\alpha} e^{-K_T t/\alpha})}$ Valida per tutti i compartimenti			$T = \frac{1}{1 - \exp\left[-\left[1 - \frac{t}{\alpha}(K_T - \alpha)\right]^{1/\alpha}\right]}$ Valida solo per Italia Nord Occidentale			
T (anni)	30								
K _T	2,27								
T (anni)	5	10	30	50	100	200	300	500	1000
K _T	1,29	1,63	2,27	2,60	3,06	3,53	3,80	4,14	4,61
Piena media annua									
Definire il metodo di calcolo della piena indice					Metodo razionale				
Calcolo del coefficiente di piena/afflusso/deflusso									
$C_{(t)}^{(*)}[1] = C_{(t)}^{(*)} \frac{A_1}{A} + C_{(t)}^{(*)} \frac{A_2}{A}$			$C^*[2] = 0.09 + 0.47(1 - p.p.)$				$\psi = \frac{9.25}{p.p.}$		
Parametri	A ₁ (Kmq)	A ₂ (Kmq)	C _t [*]	C _t [*]					
	0,00	0,80	0,29	0,36					
C* [1] (Coefficiente di piena) =	0,360								
Calcolo del tempo di ritardo									
$T_r[1] = \frac{C_{(t)}^{(*)} \cdot A_1}{C_{(t)}^{(*)} \cdot A} \cdot \frac{1.25\sqrt{A_1}}{3.6 \cdot c_1} + \frac{C_{(t)}^{(*)} \cdot A_2}{C_{(t)}^{(*)} \cdot A} \cdot \frac{1.25\sqrt{A_2}}{3.6 \cdot c_2}$			$T_r[2] = 0.26 \cdot L_{ap}^{0.82} \cdot i_{media}^{-0.20} \cdot (1 + S)^{0.13}$				$T_r[3] = 0.344\sqrt{A}$		
Parametri	c ₁ (m/s)	c ₂ (m/s)							
	0,23	1,87							
T _r [1] (ore) =	0								
Calcolo della piena indice									
Parametri	m[h(T _p)](mm)	K _m (T _p)							
	12,83	1,00							
m(Q) = (C*·K _m (T _p)-m[h(T _p)]-A)/3.6 =	6,19	mc/s							
Portate al Colmo di Piena									
T (anni)	30								
Q (mc/s)	14,06								
T (anni)	5	10	30	50	100	200	300	500	1000
Q (mc/s)	7,97	10,09	14,06	16,10	18,95	21,83	23,52	25,66	28,56

Immagine 11 – Calcolo portata di piena

	Relazione idrogeologica, idrologica ed idraulica	Codice Elaborato: C_049_DEF_RS_02
	Progettazione di un impianto agro-fotovoltaico di potenza complessiva di 20.384 kW e di tutte le opere ed infrastrutture connesse, nel comune di Castel Volturno	Data: 11/2023

8. VERIFICA DELLA PORTATA DI PROGETTO

L'impianto fotovoltaico si compone di strutture del tipo tracker monoassiali ad inseguimento solare, sollevate dal piano campagna, infisse puntualmente a terra. Di conseguenza, l'impianto fotovoltaico non potrà comportare una modifica dell'uso del suolo e dunque del coefficiente di deflusso, se non in piccolissima parte. Durante la manifestazione di un evento meteorico, le acque, in caduta sull'area dell'impianto fotovoltaico, defluiranno sulla superficie del generico pannello e raggiungeranno il terreno. Ciò detto, è possibile ritenere che la realizzazione del Progetto non influirà sull'attuale regime idrologico dell'area e dunque non si ritiene necessario prevedere delle specifiche opere per lo smaltimento delle acque di pioggia.

Le cabine di campo e di impianto è un manufatto prefabbricato di modeste dimensioni, pertanto puntuale, non capace di influire sul regime idrologico dell'area. Non si ritiene, dunque, prevedere delle specifiche opere di smaltimento delle acque di pioggia.

Gli interventi progettuali previsti non rappresentano un fattore predisponente all'instabilità, in quanto non si andranno a modificare né la circolazione idrica sotterranea né quella superficiale.

Pertanto, le tipologie di opere idrauliche individuate in fase di pre-dimensionamento sono risultate aderenti alle necessità di controllo e di smaltimento delle acque meteoriche verso gli impluvi naturali o canalizzazioni artificiali presenti nelle aree adiacenti all'impianto.

In conclusione, la verifica svolta circa la compatibilità delle opere in progetto rispetto alla tutela della sicurezza idraulica dell'area ha consentito di accertare, fatte salve le valutazioni in merito da parte dell'autorità competente, che il Progetto risulti compatibile con le condizioni idrologiche ed idrauliche del territorio in esame.