

COMUNE DI LANUVIO



PROVINCIA DI ROMA CAPITALE



IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO DA 54,2016 MWp RNE 1 LANUVIO SOLAR

Istanza di valutazione di impatto ambientale per la costruzione e l'esercizio di impianti di produzione di energia elettrica alimentati da fonti rinnovabili ai sensi dell'artt. 23, 24-24bis e 25 D.lgs. n.152/2006

IMMOBILE	Comune di Lanuvio Foglio 34 Mappali 7/parte, 92/parte, 93 e 27/parte	
PROGETTO VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE	OGGETTO DOC08 – RELAZIONE INVARIANZA IDRAULICA	SCALA --
REVISIONE - DATA	VERIFICATO	APPROVATO
REV.00 - 25/05/2023		
IL RICHIEDENTE	RNE1 S.r.l. 20144 Milano – Viale San Michele del Carso, 22 FIRMA _____	
IL PROGETTISTA	Ing. Riccardo Valz Gr FIRMA  	
TEAM DI PROGETTO	Arch. Rosalba Teodoro - Ing. Francesca Imbrogno Per. Ag. Giovanni Cattaruzzi LAND LIVE 20124 Milano - Citycenter Regus - Via Lepetit 8/10 Tel. +39 02 0069 6321 13900 Biella - Via Repubblica 41 Tel. +39 015 32838 - Fax +39 015 30878	



INDICE

INDICE	2
1. INTRODUZIONE	3
2. IL PIANO DI BACINO	5
3. SISTEMA ATTUALE DI DEFLUSSO NATURALE DELLE ACQUE	7
4. ANALISI IDROLOGICA-IDRAULICA	8
5. DEFINIZIONE AFFLUSSI METEORICI	15
6. APPLICAZIONE AL CASO IN ESAME	32
7. LE PERDITE IDROLOGICHE	34
8. LA TRASFORMAZIONE AFFLUSSI DEFLUSSI	35
9. CONCLUSIONI	37

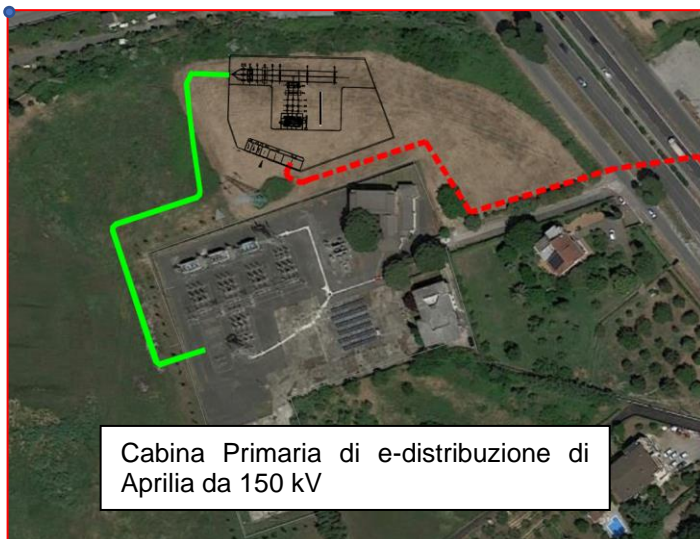


**IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO DA 54,2016 MWp
RNE 1 LANUVIO SOLAR**
Comune di Lanuvio
RELAZIONE INVARIANZA IDRAULICA

Pag 3 di
37

1. INTRODUZIONE

Nel rispetto delle indicazioni espresse dalla Legge vigente è stata eseguita una verifica idraulica presso un sito ubicato in Lanuvio (Roma), al confine con il Comune di Aprilia (LT), sui terreni censiti al Foglio 34 Mappali 7/parte, 92/parte, 93 e 27/parte, interessati dalla realizzazione di un nuovo impianto solare agrivoltaico.



Cabina Primaria di e-distribuzione di Aprilia da 150 kV



Nello specifico la presente relazione è volta a verificare il principio dell'invarianza idraulica a dimostrazione che la variazione di destinazione d'uso dell'area non



IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO DA 54,2016 MWp
RNE 1 LANUVIO SOLAR
Comune di Lanuvio
RELAZIONE INVARIANZA IDRAULICA

Pag 4 di
37

provochi un aggravio della portata di piena o una variazione sostanziale dei tempi di corrivazione al corpo idrico che riceve i deflussi superficiali originati dalla stessa.

Allo scopo di ottenere un quadro idrogeologico completo dell'area in questione sono state pertanto effettuate le seguenti attività:

- a) acquisizione dati e informazioni dagli elaborati progettuali.
- b) acquisizione dati da studi già eseguiti
- c) acquisizione dati pluviometrici e valutazione delle portate di piena provenienti dal lotto interessato dall'intervento (nella situazione ante- operam e post-operam).

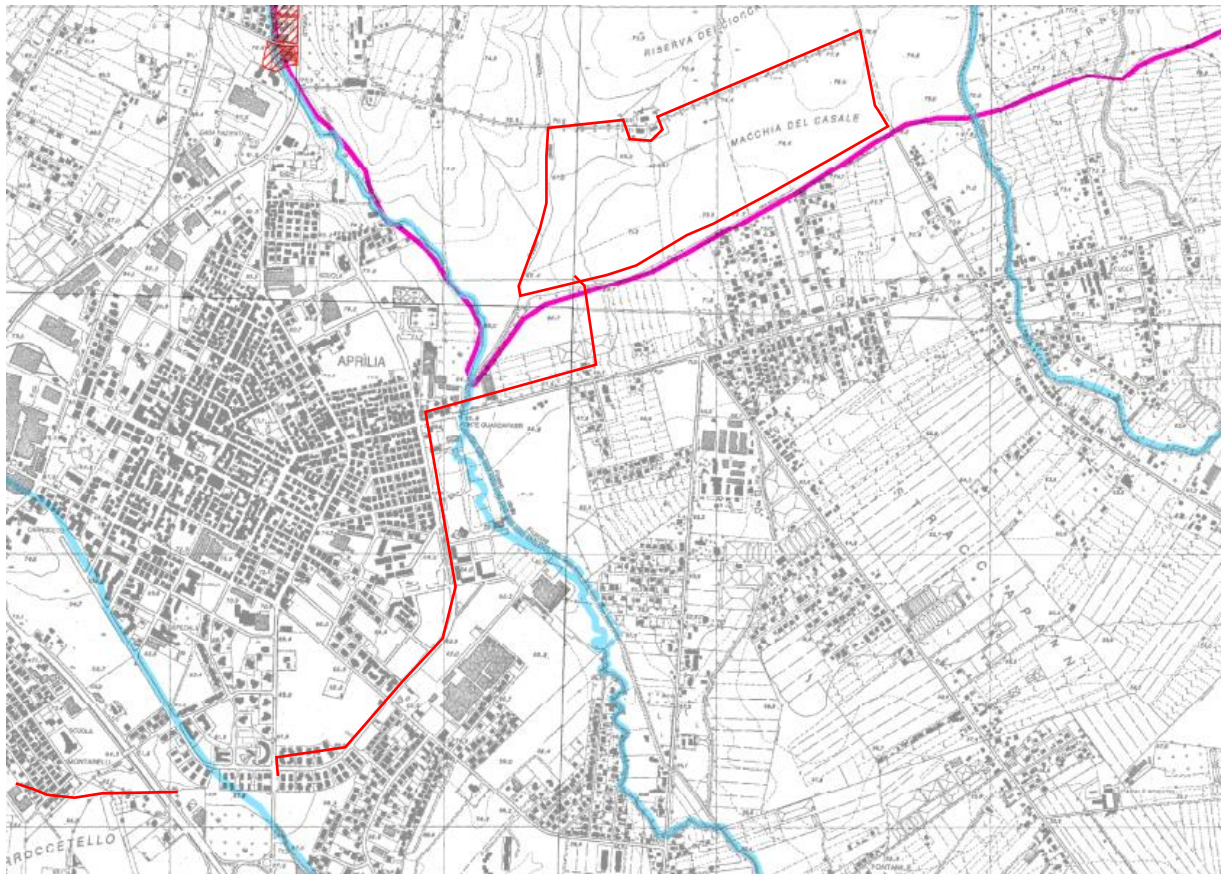


**IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO DA 54,2016 MWp
RNE 1 LANUVIO SOLAR**
Comune di Lanuvio
RELAZIONE INVARIANZA IDRAULICA

Pag 5 di
37

2. IL PIANO DI BACINO

Il piano di bacino è uno strumento di governo del territorio e di tutela delle risorse idriche. Il Piano di Bacino ha valore di piano territoriale di settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa e alla valorizzazione del suolo ed alla corretta utilizzazione delle acque, sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio interessato.



Piano stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI) Bacini regionali del Lazio - Aree sottoposte a tutela per il Dissesto Idrogeologico (TAV: 2.04 SUD)



**IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO DA 54,2016 MWp
RNE 1 LANUVIO SOLAR**
Comune di Lanuvio
RELAZIONE INVARIANZA IDRAULICA

AREE SOTTOPOSTE A TUTELA PER PERICOLO D'INONDAZIONE (artt. 7 - 23 - 24 - 25 - 26)		AREE DI ATTENZIONE PER PERICOLO DI FRANA E D'INONDAZIONE (artt. 9 - 19 - 27)	
Aree a Pericolo A1 (c. 2 art. 7 e art. 23)		Aree di Attenzione Geomorfologica (artt. 9 e 19)	
Aree a Pericolo A2 (c. 2 art. 7 e art. 23 bis)		Aree di Attenzione Idraulica (artt. 9 e 27)	
Aree a Pericolo B1 (c. 2 art. 7 e art. 24)		Aree di Attenzione per presenza di cavità naturali o artificiali soggette a crolli	
Aree a Pericolo B2 (c. 2 art. 7 e art. 25)		Corsi d'acqua principali classificati pubblici con D.G.R. n° 452 del 01/04/05 (artt. 9 e 27)	
Aree a Pericolo C (c. 2 art. 7 e art. 26)		Altri corsi d'acqua principali (artt. 9 e 27)	
Ambiti territoriali caratterizzati, allo stato delle conoscenze disponibili, dall'assenza di elementi documentali tali da consentire la definizione della pericolosità			

AREE SOTTOPOSTE A TUTELA PER PERICOLO DI FRANA (artt. 6 - 16 - 17 - 18)		LIMITI AMMINISTRATIVI	
Aree a Pericolo A (c. 2 art. 6 e art. 16)		Limite ex Autorità dei Bacini Regionali	
Aree a Pericolo B (c. 2 art. 6 e art. 17)		Limiti Comunali	
Aree a Pericolo C (c. 2 art. 6 e art. 18)		Limite Regionale	
Ambiti territoriali caratterizzati, allo stato delle conoscenze disponibili, dall'assenza di elementi documentali tali da consentire la definizione della pericolosità			

LIVELLI DI RISCHIO IN FUNZIONE DELLA PERICOLOSITA' E DEL VALORE ESPOSTO (art. 8 comma 5)		
ELEMENTI AREALI A RISCHIO	ELEMENTI LINEARI A RISCHIO	ELEMENTI PUNTUALI A RISCHIO
R4	R4	R4
R3	R3	R3
R2	R2	R2



Area del lotto
Cavidotto

Il lotto d'impianto non ricade in alcuna area sottoposta a tutela per rischio idrogeologico.
Il cavidotto attraversa corsi d'acqua principali classificati pubblici con D.G.R. n.452 del 01//04/05 (artt. 9 e 27) e altri corsi d'acqua principali (artt. 9 e 27).



3. SISTEMA ATTUALE DI DEFLUSSO NATURALE DELLE ACQUE

Attualmente, il sistema di deflusso idraulico del compendio immobiliare considerato è costituito da un reticolo di fossi così schematizzato:



Come si può osservare dalle immagini prodotte in una giornata di debole pioggia, la conformazione pianeggiante dell'area e la tipologia dei fossi consentono una naturale ritenzione dell'acqua nell'area, senza evidenziare brevi tempi di corrivazione che possano indurre preoccupazione rispetto all'incidenza idraulica sulle aree a valle.



**IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO DA 54,2016 MWp
RNE 1 LANUVIO SOLAR**
Comune di Lanuvio
RELAZIONE INVARIANZA IDRAULICA

Pag 8 di
37

4. ANALISI IDROLOGICA-IDRAULICA

L'analisi idrologica sull'impianto in oggetto descrive l'invarianza idraulica che tale installazione comporta sul terreno sede del generatore fotovoltaico, evitando di incrementare potenziali situazioni di rischio e conservando l'equilibrio idraulico dello stato dei luoghi.

L'impermeabilizzazione causata dalle coperture degli edifici, dalle pavimentazioni stradali e dai piazzali, modifica fortemente la risposta di un bacino alle precipitazioni riducendo l'infiltrazione all'interno del suolo e rendendo il deflusso delle acque meteoriche sempre più veloce.

La valutazione dell'invarianza idraulica è stata sviluppata in applicazione delle "Linee Guida sulla invarianza idraulica nelle trasformazioni territoriali" - D.lgs 49/2010 "Attuazione della Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni".

Le linee guida sono volte a disciplinare il concetto di invarianza idraulica, ovvero che ogni nuova trasformazione dello stato del suolo non aggravi la portata del reticolo idrografico, evitando di incrementare potenziali situazioni di rischio e conservando l'equilibrio idraulico dello stato dei luoghi.

L'applicazione delle opportune verifiche attraverso classi di intervento e delle relative soglie dimensionali (di cui alla Tabella I), con le presenti misure garantirà, per gli ambiti di trasformazione, la salvaguardia ed il miglioramento della capacità ricettiva del sistema idrogeologico e di drenaggio artificiale, al fine di prevenire e mitigare i fenomeni di esondazione e di dissesto idrogeologico provocati dall'incremento dell'impermeabilizzazione dei suoli.

L'invarianza idraulica rappresenta il principio in base al quale, nella previsione di trasformazione dell'uso del suolo, dovranno prevedersi opportune "azioni compensative" tese a far sì che le massime portate di deflusso meteorico, provenienti dalle aree oggetto delle trasformazioni e recapitate nei corpi idrici recettori di valle, non risultino maggiori delle massime portate di deflusso meteorico preesistenti alla suddetta trasformazione.

Le trasformazioni dell'uso del suolo, a cui si fa esplicito riferimento nelle linee guida, sono quelle alle quali sarà imputabile una "non trascurabile" riduzione di permeabilità superficiale (cfr. paragrafo 4., tabella 1, classi di intervento), ovvero "un'apprezzabile" impermeabilizzazione potenziale, delle superfici interessate dalle trasformazioni medesime. Gli interventi di trasformazione territoriale sono così classificabili:

Tabella I - classificazione degli interventi di trasformazione dell'uso del suolo ai fini dell'invarianza idraulica	
CLASSI DI INTERVENTO	SOGLIE DIMENSIONALI
1) Trascurabile impermeabilizzazione potenziale	Intervento su superfici di estensione inferiore a 0,1 ha (1.000 m ²)
2) Modesta impermeabilizzazione potenziale	Intervento su superfici di estensione maggiore di 0,1 ha (1.000 m ²) ed inferiore ad 1 ha (10.000 m ²)
3) Significativa impermeabilizzazione potenziale	– Intervento su superfici di estensione maggiore di 1 ha (10.000 m ²) ed inferiore a 10 ha (100.000 m ²); – Interventi su superfici di estensione superiore a 10 ha (100.000 m ²) con Imp^(*) < 0,3
4) Marcata impermeabilizzazione potenziale	Interventi su superfici di estensione superiore a 10 ha (100.000 m ²) con Imp^(*) > 0,3

(*) : frazione della superficie totale che sarà impermeabilizzata



IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO DA 54,2016 MWp
RNE 1 LANUVIO SOLAR
Comune di Lanuvio
RELAZIONE INVARIANZA IDRAULICA

Pag 9 di
37

L'intervento in progetto consiste nell'installazione di un impianto fotovoltaico che causa un impatto per sottrazione di suolo che si può considerare trascurabile: in condizioni di esercizio l'area sotto i pannelli resta libera e rinaturalizzata. Ciò porta in breve al ripristino del soprassuolo originario con la conseguenza che l'intervento di progetto non si configura come un consumo di suolo ma come una parziale limitazione delle possibilità d'uso.

Al termine della vita utile dell'impianto (in genere 25-30 anni), il terreno, liberato dalle strutture impiegate, presenterà la stessa capacità produttiva/agricola che aveva prima della realizzazione dell'impianto. Questo permette quindi di verificare che le caratteristiche di risposta del suolo ad un evento meteorico per un prefissato tempo di ritorno risultano essere inalterate dalla presenza dell'impianto, in quanto l'area sotto i pannelli risulta libera e con la stessa copertura della situazione ante-operam.

Anche la totale assenza di fondazioni e manufatti in c.a., ad eccezione delle fondazioni delle cabine e dei locali tecnici (che comunque sono del tipo prefabbricato pertanto rimovibili), e l'assenza di c.a. gettato in opera e/o prefabbricato nelle opere di recinzione, concorrono a garantire inalterate le caratteristiche di uso del suolo, che quindi non inficiano nella variazione del coefficiente di deflusso.

In più è necessario ricordare che le azioni di progetto non prevedono opere che possano alterare il regime delle acque superficiali; la tipologia di installazione scelta fa sì che non ci sia alcuna significativa modificazione dei normali percorsi di scorrimento e infiltrazione delle acque meteoriche: la morfologia del suolo e la composizione del soprassuolo vegetale non vengono alterati. Anche le parti interrato (cavidotti, pali) hanno profondità che non rappresentano nemmeno potenzialmente un rischio di interferenza con l'ambiente idrico. Tali considerazioni permettono quindi di affermare che il posizionamento dell'impianto fotovoltaico nell'area in esame non determina un effettivo cambiamento di uso del suolo, e quindi le capacità di infiltrazione del suolo risultano inalterate, senza determinare un effettivo deficit nello smaltimento delle portate meteoriche.

Ciò nonostante, viene di seguito riportata la verifica del volume minimo di invaso in applicazione alle linee guida, avendo considerato le superfici dei locali tecnici come superfici impermeabili e trascurando la superficie occupata dai moduli, poiché il suolo non risulta realmente impermeabilizzato ma rimane terreno naturale con la stessa permeabilità di prima dell'intervento.

La misura del volume minimo d'invaso da prevedere in aree sottoposte a una quota di trasformazione I (% dell'area che viene trasformata) e in cui viene lasciata inalterata una quota P (tale che I+P=100%) è data dal valore convenzionale:

$w = w^0 \times (\phi/\phi^0)^{1/(1-n)} - (15 \times I) - (w^0 \times P)$ nella quale:

- $w^0 = 50$ mc/ha nei territori "non impermeabilizzati in ambito urbano"
- $\phi =$ coefficiente di deflusso dopo la trasformazione
- $\phi^0 =$ coefficiente di deflusso prima della trasformazione¹
- I e P sono espressi come frazione dell'area trasformata.
- $n=0.48$ (esponente delle curve di possibilità climatica di durata inferiore all'ora, stimato nell'ipotesi che le percentuali della pioggia oraria cadute nei 5', 15' e 30' siano rispettivamente il 30%, 60% e 75%, come risulta - orientativamente - da vari studi sperimentali; si veda ad es. CSDU, 1997).

¹ Il Coefficiente di deflusso è il rapporto tra l'acqua piovana che viene rilasciata verso il corpo ricettore e l'intero volume d'acqua piovana che viene captata dalla superficie in uno specifico intervallo di tempo: il coefficiente varia da 0 (permeabile) ad 1 (impermeabile). Sono considerate impermeabili le superfici di ingombro dei locali tecnici, mentre le superfici occupate dall'impianto fotovoltaico non sono state inserite nel calcolo delle superfici impermeabilizzate poiché le strutture sono sollevate da terra ed il terreno sotto i pannelli conserva la stessa permeabilità che aveva prima dell'intervento.



IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO DA 54,2016 MWp
RNE 1 LANUVIO SOLAR
Comune di Lanuvio
RELAZIONE INVARIANZA IDRAULICA

Pag 10 di
37

Per le classi denominate come "Significativa" e "Marcata" impermeabilizzazione come definite in precedenza, è ammesso l'utilizzo di un valore diverso del parametro n qualora opportunamente motivato da un'analisi idrologica specifica contestualizzata al sito oggetto di trasformazione.

Il volume così ricavato è espresso in mc/ha e deve essere moltiplicato per l'area totale dell'intervento (superficie territoriale, St), a prescindere dalla quota P che viene lasciata inalterata.

Per la stima dei coefficienti di deflusso ϕ e ϕ° si fa riferimento alla relazione convenzionale:

$$\phi^0 = 0.9 \text{ Imp}^0 + 0.2 \text{ Per}^0$$

$$\phi = 0.9 \text{ Imp} + 0.2 \text{ Per}$$

In cui Imp e Per sono rispettivamente le frazioni dell'area totale da ritenersi impermeabile e permeabile, prima della trasformazione (se connotati dall'apice^o) o dopo (se non c'è l'apice^o).

Il calcolo del volume di invaso richiede quindi la definizione delle seguenti grandezze:

- quota dell'area di progetto che viene interessata dalla trasformazione (I) - anche le aree che non vengono pavimentate con la trasformazione, ma vengono sistemate e regolarizzate, devono essere incluse a computare la quota I;
- quota dell'area di progetto non interessata dalla trasformazione (P) - essa è costituita solo da quelle parti che non vengono significativamente modificate, mediante regolarizzazione del terreno o altri interventi anche non impermeabilizzanti;
- quota dell'area da ritenersi permeabile (Per) - tale grandezza viene valutata prima e dopo la trasformazione;
- quota dell'area da ritenersi impermeabile (Imp) - tale grandezza viene valutata prima e dopo la trasformazione.

Gli indici Imp ed I, Per e P sono concettualmente diversi: Imp e Per servono a valutare il coefficiente di deflusso convenzionale (che esprime la capacità del lotto di accettare le piogge prima di generare deflussi superficiali), mentre I e P rappresentano le porzioni rispettivamente urbanizzata e inalterata (agricola) del lotto oggetto di intervento.

L'area oggetto di intervento, di superficie netta pari 61 ettari, è classificabile come intervento di marcata impermeabilizzazione potenziale: infatti l'intervento è su una superficie di estensione compresa tra 10ha e 100 ha.

La Step Up ha una superficie complessiva di 2531 mq.

Nel caso di classe di intervento denominata "Marcata impermeabilizzazione potenziale", le luci di scarico e i tiranti idrici consentiti nell'invaso, dovranno essere tali da garantire che il valore della portata massima, defluente dall'area oggetto di trasformazione dell'uso del suolo, sia pari al valore assunto dalla stessa precedentemente all'impermeabilizzazione dell'area medesima, almeno per una durata di pioggia di 2 ore e un tempo di ritorno di 30 anni.

Le aree impermeabilizzate, dovute alle cabine, sono le seguenti:

Calcolo Superfici Lotto Impianto Agrivoltaico				
Lunghezza (m)	Larghezza (m)	Superficie (mq)	Numero Cabine	Superficie Totale (mq)
Cabina Smistamento				
7,87	2,8	22,04	4	88,14
Cabina di Consegna				
7,87	2,8	22,04	1	22,04
Cabina Trasformazione MT				
10,86	3	32,58	20	651,60
Vasca contenimento olio trasformatore - Cabina Trasformazione				
4,81	3	14,43	20	288,60
TOTALE SUPERFICI CABINATI				1.050,38



**IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO DA 54,2016 MWp
RNE 1 LANUVIO SOLAR**
Comune di Lanuvio
RELAZIONE INVARIANZA IDRAULICA

Pag 11 di
37

Calcolo Superfici Step Up				
Lunghezza (m)	Larghezza (m)	Superficie (mq)	Numero Cabine	Superficie Totale (mq)
Cabina				
24,3	4,3	104,5	1	104,5
Zona di Trasformazione				
59	13	767	1	767
27,7	17,7	136,29	1	136,29
TOTALE SUPERFICI IMPERMEABILI				1.007,79

Nel caso specifico l'intervento ha le seguenti caratteristiche in merito all'invarianza idraulica:

[Impianto agrivoltaico](#)

Superficie totale impianto		609.988,00	m ²
Superficie impermeabilizzata (cabine +....)		1.050,38	m ²
ANTE OPERAM			
sup. impermeabile esistente		0	m ²
	Imp ^o	0	
sup. permeabile esistente		609.988,00	m ²
	Per ^o	1	
POST OPERAM			
sup. impermeabile trasformata		1.050,38	m ²
	Imp	0.0017	
sup. permeabile di progetto		608.937,62	m ²
	Per	0.998	
	Imp+Per	1	
INDICE DI TRASFORMAZIONE DELL'AREA			
sup. trasformata		1.050,38	m ²
	I	0.0017	
sup. inalterata		608.937,62	m ²
	Per	0.998	
	Imp+Per	1	
CALCOLO COEFFICIENTI DI DEFLUSSO ANTE E POST OPERAM			



IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO DA 54,2016 MWp
RNE 1 LANUVIO SOLAR
 Comune di Lanuvio
RELAZIONE INVARIANZA IDRAULICA

Pag 12 di
37

$\varphi^0=0.9 \times \text{Imp}^0+0.2 \times \text{Per}^0$		0.200	
$\varphi=0.9 \times \text{Imp}+0.2 \times \text{Per}$		0.201	
Wo		50	mc/ha
φ/φ^0		1.006	
n		0.48	
$1/(1-n)$		1.923	
$W=W^0 \times (\varphi/\varphi^0)^{(1/(1-n))} - 15 \times I - W^0 \times P$		0,64136581	mc/ha
Volume di invaso		39,12	mc

In tale condizione il volume minimo di laminazione è pari a 39,12 mc.

Step Up:

Superficie totale impianto		2531	m ²
Superficie impermeabilizzata (cabine +....)		1007,79	m ²
ANTE OPERAM			
sup. impermeabile esistente		0	m ²
	Imp ⁰	0	
sup. permeabile esistente		2531	m ²
	Per ⁰	1	
POST OPERAM			
sup. impermeabile trasformata		1.007,79	m ²
	Imp	0,39	
sup. permeabile di progetto		1 523,21	m ²
	Per	0,61	
	Imp+Per	1	
INDICE DI TRASFORMAZIONE DELL'AREA			
sup. trasformata		1.007,79	m ²
	I	0,39	
sup. inalterata		1 523,21	m ²
	Per	0,61	
	Imp+Per	1	



IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO DA 54,2016 MWp
RNE 1 LANUVIO SOLAR
Comune di Lanuvio
RELAZIONE INVARIANZA IDRAULICA

Pag 13 di
37

CALCOLO COEFFICIENTI DI DEFLUSSO ANTE E POST OPERAM			
$\varphi^{\circ}=0.9 \times \text{Imp}^{\circ}+0.2 \times \text{Per}^{\circ}$		0,2	
$\varphi=0.9 \times \text{Imp}+0.2 \times \text{Per}$		0,473	
Wo		50	mc/ha
$\varphi / \varphi^{\circ}$		2,365	
n		0,48	
$1 / (1-n)$		1,923076923	
$W=W^{\circ} \times (\varphi / \varphi^{\circ})^{(1 / (1-n))}-15 \times W^{\circ} \times P$		225,39	mc/ha
Volume di invaso		57,047	mc

In tale condizione il volume minimo di laminazione è pari a 57,047 mc.

Come riportato nella delibera regionale nel caso di classe di intervento denominata “Marcata impermeabilizzazione potenziale”, le luci di scarico e i tiranti idrici consentiti nell’invaso, dovranno essere tali da garantire che il valore della portata massima, defluente dall’area oggetto di trasformazione dell’uso del suolo, sia pari al valore assunto dalla stessa precedentemente all’impermeabilizzazione dell’area medesima, almeno per una durata di pioggia di 2 ore e un tempo di ritorno di 30 anni.

Di seguito viene riportata l’analisi idraulica eseguita per stimare la portata di invarianza e le luci di scarico dalla vasca di laminazione.

Per effettuare tale analisi è necessario eseguire uno studio idrologico volto a definire l’intensità di pioggia critica al fine di individuare la portata di invarianza defluente dall’area oggetto di trasformazione.

La stima della portata di progetto, verrà eseguita mediante una modellistica idrologica afflussi-deflussi considerando valida l’ipotesi che la portata defluente associata ad uno specifico tempo di ritorno sia determinata da una sollecitazione meteorica di pari probabilità di accadimento. In particolare, la trasformazione afflussi-deflussi, viene descritta da un approccio idrologico costituito da un modello di infiltrazione basato sul metodo del coefficiente di afflusso Cd, e un modello di formazione della piena basati sull’idrogramma unitario istantaneo (IUH) adimensionale e sul metodo cinematico. L’utilizzo di una modellistica afflussi-deflussi si basa sulla stima delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica e quindi delle precipitazioni che costituiscono i dati di ingresso per il modello idrologico.

I passi per determinare la portata di piena di progetto per ogni assegnato tempo di ritorno sono:

- stima delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica;
- scelta della durata critica dell’evento e stima dell’intensità critica di pioggia;
- stima della pioggia effettiva;
- stima della portata di progetto.

Di seguito verranno analizzati i seguenti elementi:

- a) Definizione degli afflussi meteorici:** determinazione della relazione tra altezze e durata di pioggia di assegnato tempo di ritorno.
- b) scelta della durata critica dell’evento e calcolo della pioggia critica.**
- c) Stima delle perdite idrologiche:** determinazione della quantità di precipitazione trattenuta dal terreno (perdite), con la conseguente determinazione della pioggia effettiva (o pioggia netta) che rappresenta il volume d’acqua che raggiunge per ruscellamento superficiale la rete di drenaggio fino alla sezione di chiusura, determinando l’evento di piena;



IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO DA 54,2016 MWp
RNE 1 LANUVIO SOLAR
Comune di Lanuvio
RELAZIONE INVARIANZA IDRAULICA

Pag 14 di
37

- d) **Trasformazione afflussi-deflussi:** schematizzazione della risposta dei singoli sottobacini alle sollecitazioni meteoriche, in funzione delle proprie caratteristiche fisiografiche e combinazione di tale risposta con la pioggia netta per stimare gli idrogrammi di piena.



IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO DA 54,2016 MWp
RNE 1 LANUVIO SOLAR
Comune di Lanuvio
RELAZIONE INVARIANZA IDRAULICA

Pag 15 di
37

5. DEFINIZIONE AFFLUSSI METEORICI

Il primo elemento fondamentale nella creazione del modello idrologico è costituito dalla stima degli afflussi. Lo studio statistico delle piogge intense in un punto della superficie terrestre si sintetizza nella formulazione delle Linee Segnalatrici di Probabilità Pluviometrica, ottenute a partire dall'elaborazione delle serie storiche dei valori massimi annuali delle altezze di precipitazione di assegnata durata, fornite da registrazioni pluviometriche.

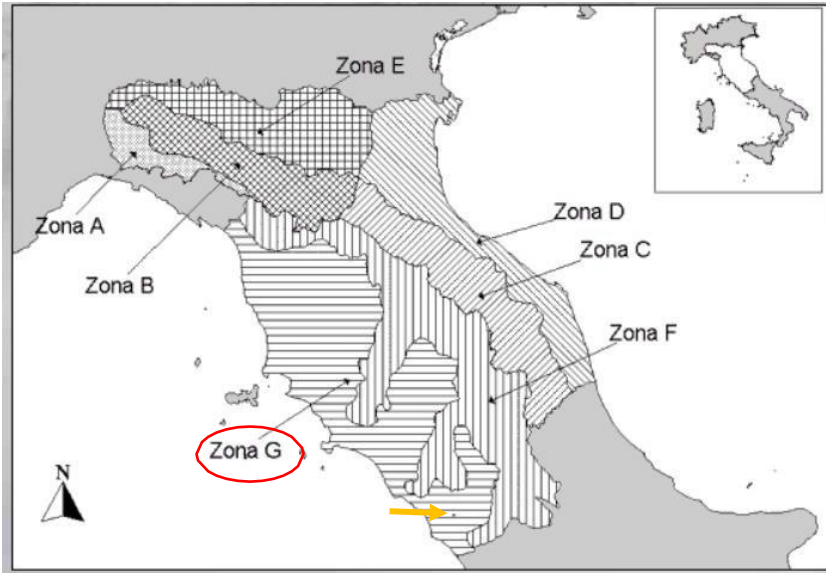
Le LSPP descrivono le proprietà statistiche degli eventi di pioggia intensa a scala puntuale ed esprimono un legame tra altezza di pioggia-durata-frequenza. In particolare, per un prefissato tempo di ritorno, la corrispondente LSPP fornisce la relazione tra la durata della pioggia e la relativa altezza di precipitazione. In via di principio è possibile ricavare le linee segnalatrici relative alla pioggia media areale. L'operazione, però, oltre ad essere onerosa richiede la presenza nell'area in esame di un congruo numero di stazioni pluviometriche e funzionanti da un elevato numero di anni. Tale condizione non è però soddisfatta per la maggior parte del territorio italiano. Per questo motivo generalmente si procede stimando l'altezza di precipitazione puntuale che viene successivamente ragguagliata all'area attraverso un coefficiente di riduzione.

Nel caso esaminato è stato eseguito un approccio regionale utilizzando la metodologia del progetto VAPI, sviluppato dal Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del Consiglio Nazionale delle Ricerche [CNR, 1994] che ha per obiettivo la regionalizzazione delle piogge intense su tutto il territorio nazionale secondo criteri omogenei al fine di superare alcuni limiti, quali: gran parte dell'informazione pluviometrica del passato è purtroppo fornita da pluviometri ordinari; per l'accidentata morfologia del territorio italiano le caratteristiche pluviometriche sono molto variabili nello spazio; le singole serie pluviografiche hanno spesso una durata limitata e sono poco attendibili per le elaborazioni statistiche. L'analisi pluviometrica inizialmente svolta da Franchini e Galeati [1994] in riferimento al compartimento SIMN di Bologna ha portato all'identificazione di 2 sottozone omogenee (SZO), una zona costiera ed una zona appenninica, la cui omogeneità in senso statistico è stata confermata in un successivo studio da Brath et al. [1998]. Tale studio, come già precedentemente ricordato, si estende anche ai bacini idrografici di competenza dei SIMN di Pisa e Roma. Esso ha portato alla identificazione nell'ambito delle regioni Toscana, Umbria e Lazio di due ulteriori SZO: la prima include la zona tirrenica costiera e parte della vallata del Tevere, mentre la seconda i contrafforti appenninici lungo il versante tirrenico. Un più recente studio, che integra i precedenti dati pluviometrici con quelli relativi ai bacini idrografici in destra Po compresi tra lo Scrivia e il Panaro (cfr. Brath e Franchini, 1999), ha infine condotto ad una leggera modifica nella suddivisione delle 2 SZO omogenee individuate sul versante adriatico ed alla delimitazione di 3 ulteriori SZO nel territorio di competenza dell'Ufficio Idrografico del Po di Parma. L'intero territorio indagato risulta in definitiva suddiviso in 7 SZO omogenee nei confronti delle precipitazioni intense, visualizzate nella figura che segue, le cui curve di crescita, che determinano in maniera univoca la relazione fra periodo di ritorno T e valore del coefficiente probabilistico di crescita KT:



**IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO DA 54,2016 MWp
RNE 1 LANUVIO SOLAR**
Comune di Lanuvio
RELAZIONE INVARIANZA IDRAULICA

$$T = \frac{1}{1 - F_K(k)} = \frac{1}{1 - \exp(-\Lambda_1 e^{-\eta k} - \Lambda_* \Lambda_1^{1/\theta_*} e^{-\eta k/\theta_*})}$$



Risultano completamente definite dai parametri riportati in Tab. 5.1.

Per un agevole utilizzo operativo delle curve di crescita occorrerebbe disporre della forma inversa della (5.1) tramite la quale, fissato il valore T del periodo di ritorno di interesse, ricavare il corrispondente valore del coefficiente di crescita KT. Poichè per la distribuzione TCEV tale relazione non è analiticamente ottenibile, nella Tab. 5.2 sono riportati i valori di KT ottenuti numericamente dalla (5.1) per i valori del periodo di ritorno di maggior interesse pratico.

Sottozona	Λ_*	θ_*	Λ_1	η
A	0.109	2.361	24.70	4.001
B	1.528	1.558	39.20	5.335
C	1.528	1.558	25.70	4.913
D	0.361	2.363	29.00	4.634
E	0.044	3.607	30.45	4.135
F	0.144	2.042	33.03	4.321
G	0.221	3.322	30.78	4.628

Tab. 5.1. Parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle piogge giornaliere nelle 7 SZO.

T (anni)	2	5	10	20	25	40	50	100	200	500	1000
SZO A	0.93	1.24	1.46	1.70	1.78	1.95	2.04	2.34	2.68	3.18	3.57
SZO B	1.01	1.30	1.51	1.71	1.77	1.90	1.97	2.17	2.37	2.63	2.83
SZO C	1.01	1.33	1.55	1.77	1.84	1.98	2.05	2.27	2.48	2.77	2.99
SZO D	0.87	1.19	1.44	1.72	1.82	2.02	2.13	2.45	2.79	3.23	3.57
SZO E	0.93	1.22	1.43	1.64	1.72	1.89	1.98	2.32	2.78	3.53	4.13
SZO F	0.93	1.23	1.43	1.65	1.72	1.87	1.95	2.20	2.47	2.86	3.17
SZO G	0.88	1.22	1.50	1.87	2.01	2.32	2.47	2.96	3.46	4.12	4.61

Tab. 5.2 Valori del coefficiente probabilistico di crescita K_T per le piogge giornaliere, per i valori del periodo di ritorno T di maggior interesse operativo.

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

$$K_T = \left(\frac{\theta_* \text{Ln } \Lambda_*}{\eta} + \frac{\text{Ln } \Lambda_1}{\eta} \right) + \frac{\theta_*}{\eta} \text{Ln } T$$



IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO DA 54,2016 MWp
RNE 1 LANUVIO SOLAR
Comune di Lanuvio
RELAZIONE INVARIANZA IDRAULICA

Pag 17 di
37

che, sostituendo gli opportuni valori dei parametri, conduce alle seguenti espressioni approssimanti, il cui uso comporta comunque per periodi di ritorno superiori a 50 anni errori sempre inferiori al 10%:

$$\text{SZO A: } K_T = -0.5064 + 0.590 \ln T \quad (5.3a)$$

$$\text{SZO B: } K_T = 0.8115 + 0.292 \ln T \quad (5.3b)$$

$$\text{SZO C: } K_T = 0.7952 + 0.317 \ln T \quad (5.3c)$$

$$\text{SZO D: } K_T = 0.2071 + 0.510 \ln T \quad (5.3d)$$

$$\text{SZO E: } K_T = -1.8986 + 0.872 \ln T \quad (5.3e)$$

$$\text{SZO F: } K_T = -0.1064 + 0.473 \ln T \quad (5.3f)$$

$$\text{SZO G: } K_T = 0.3431 + 0.718 \ln T \quad (5.3g)$$

Le analisi dei massimi annuali delle piogge brevi (1-24 ore) rilevati alle 240 stazioni di misura disponibili hanno evidenziato che l'ipotesi solitamente assunta di un fattore probabilistico di crescita K_T costante al variare della durata di pioggia non risulta soddisfatto in 5 delle 7 SZO. Basandosi sia su risultati di carattere statistico sia su considerazioni legate alla applicabilità, quali limitare il numero di parametri di stima e porsi comunque, nei casi incerti, in condizioni conservative, in queste 5 SZO sono stati stimati, per le diverse durate, tutti o alcuni dei parametri descrittivi delle relative curve di crescita. I parametri ottenuti sono riportati in Tab. 5.3. La stima dei corrispondenti valori di K_T può essere dedotta dalla (5.1) oppure mediante le espressioni approssimanti (5.3) caratterizzate da un errore di stima inferiore al 10% per T maggiore di 50 anni. L'esame della Tab. 5.3 evidenzia che per le SZO B, C ed E, il parametro di scala L_1 aumenta con

Sottozona	Λ^*	θ^*	Λ_1	η	durata (ore)
A	0.109	2.361	24.70	4.001	Tutte
B	1.528	1.558	13.65	4.280	1
			19.35	4.629	3
			26.20	4.932	6
			39.20	5.335	≥ 12 e 1g
C	1.528	1.558	13.65	4.280	1
			14.70	4.354	3
			20.25	4.674	6
			25.70	4.913	≥ 12 e 1g
D	0.361	2.363	29.00	4.634	Tutte
E	0.044	3.607	13.60	3.329	1
			19.80	3.704	3
			23.65	3.882	6
			30.45	4.135	≥ 12 e 1g
F	0.073	1.406	21.01	3.713	1
	0.144	2.042	33.03	4.321	≥ 3 e 1g
G	0.131	1.820	16.28	3.571	1
	0.770	2.391	24.71	5.140	3
	0.380	2.592	26.21	4.633	6
	0.303	2.799	30.01	4.680	12
	0.221	3.322	30.78	4.628	24 e 1g

Tab. 5.3. Parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle piogge di durata 1-24 ore nelle 7 SZO.

l'aumentare della durata: questo implica che, a parità di parametri di forma e di periodo di ritorno, il coefficiente probabilistico di crescita K_T per le piogge di breve durata è superiore a quello mostrato nella Tab. 5.2 per le piogge giornaliere. Al contrario, nelle SZO F e G, l'uso dei valori di K_T riportati in Tab. 5.2 risulta leggermente conservativo.

Per ottenere il valore della precipitazione indice di durata d cui fare riferimento per calcolare il valore della precipitazione di assegnata durata e tempo di ritorno per la regione in esame si propone l'utilizzo di una formulazione analoga alla classica curva di possibilità climatica del tipo:



$$m(h_d) = m(h_1) \cdot d^n \quad (5.5a)$$

$$n = (\text{Ln}[m(h_g)] - \text{Ln}[m(h_1)] - \text{Ln } r) / \text{Ln } 24 \quad (5.5b)$$

in cui:

- $m(h_d)$ = media del massimo annuale dell'altezza puntuale di precipitazione di durata d (ore);
- $m(h_g)$ = media del massimo annuale dell'altezza puntuale di precipitazione giornaliera;
- $m(h_1)$ = media del massimo annuale dell'altezza puntuale di precipitazione in 1 ora;
- $r = m(h_g) / m(h_{24}) = 0.89$ nella regione esaminata.

Assumendo come riferimento il Capitolo 6 relativo alla zona di Roma, riportiamo integralmente il testo citato.

6. SINTESI DEL RAPPORTO REGIONALE NEI BACINI DELLE SEZIONI IDROGRAFICHE DI ROMA E PESCARA

6.1 Premessa

Il presente capitolo si basa sulle analisi pluviometriche effettuate dall'U.O. 1.34, mentre per le analisi idrometriche esso costituisce una sintesi tratta dal volume *Valutazione delle Piene in Italia* (GNDCI, 1994) ed in particolare dal capitolo *F - Valutazione delle piene nei bacini delle sezioni idrografiche di Roma e Pescara* a cura di G. Calenda, F. Campolo, C. Cosentino e R. Guercio.

Lo studio si articola in tre fasi: nella prima fase sono stati regionalizzati i massimi annuali delle piogge giornaliere; nella seconda la regionalizzazione è stata estesa alle relazioni intensità-durata-frequenza. Nella terza fase, infine, si è proceduto alla regionalizzazione delle portate di piena.

Per garantire l'omogeneità e la confrontabilità dei risultati a livello nazionale è stato adottato il modello regionale TCEV, modificato al terzo livello attraverso l'introduzione di un modello a tre parametri per la valutazione delle piogge intense.

Gli Autori fanno presente che molti sono i problemi aperti che necessitano di ulteriore approfondimento. I risultati ottenuti dimostrano la necessità del raffinamento della procedura e dell'introduzione di ipotesi più significative di quelle adottate in questo studio. In particolare:

- per quanto riguarda le precipitazioni sembra opportuno estendere la dipendenza della pioggia indice ad altri fattori geomorfoclimatici oltre alla quota del sito, al fine di ottenere delle relazioni più significative;
- per quanto riguarda la regionalizzazione delle curve di crescita delle portate, sembra necessario un diverso procedimento di applicazione del modello TCEV;
- per quanto riguarda la stima della portata indice, è necessario completare l'indagine attraverso l'applicazione di ulteriori metodi oltre la semplice analisi regressiva valor medio di portata – area del bacino.



6.2 Base dati utilizzata

6.2.1 Pluviometria

L'area interessata dallo studio riguarda i bacini di competenza dell'Ufficio di Roma del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN), ossia il bacino del Tevere e i bacini minori con foce nel tratto laziale del litorale Tirrenico, tra il fosso Tafone (incluso) e il fiume Garigliano (escluso).

Per tenere conto delle informazioni al contorno la regionalizzazione delle piogge è stata eseguita su un'area molto più ampia, che interessa un intero tratto dell'Italia Centrale, che si estende dal promontorio di Piombino alla foce del Garigliano sul Tirreno, e include i litorali marchigiano e abruzzese sull'Adriatico.

Su questo territorio sono state considerate 964 stazioni pluviometriche, di cui sono state raccolte le serie dei massimi annuali delle piogge giornaliere, la cui numerosità è indicata nella tabella 6.1.

Tabella 6.1 - Numerosità delle serie dei massimi annuali delle piogge giornaliere

numerosità della serie	< 20	20 ÷ 29	30
numero di stazioni	206	131	627

Tra queste, 309 serie sono attrezzate con strumento registratore: sono state raccolte le serie delle piogge di massima intensità e breve durata, la cui numerosità è indicata nella tabella 6.2.

Tabella 6.2 - Numerosità delle serie delle piogge di massima intensità e breve durata

numerosità della serie	10 ÷ 19	20
numero di stazioni	86	223

Ai fini della regionalizzazione dei massimi annuali delle altezze di pioggia giornaliere sono state complessivamente utilizzate le serie di 628 stazioni pluviometriche, di cui 626 con numerosità di almeno 30 anni e 2 con numerosità compresa tra 30 e 20 anni, queste ultime selezionate per coprire zone che altrimenti sarebbero rimaste scoperte.

Ai fini della regionalizzazione delle piogge di massima intensità e breve durata sono state complessivamente utilizzate le serie di 309 stazioni pluviometrografiche, di cui 86 con numerosità compresa tra 10 e 19 anni.

6.1.2 Idrometria

Per l'elaborazione dei deflussi sono state considerate le serie storiche delle portate al colmo di piena delle stazioni idrometriche fornite dalla Pubb. N. 17 del Servizio Idrografico Italiano i cui dati riguardano il periodo 1922-1970. Dal 1970 in poi i dati sono stati calcolati mediante la scala di deflusso dall'esame degli idrogrammi di piena.

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

6.3.1 Pluviometria

6.3.1.1 Piogge giornaliere



IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO DA 54,2016 MWp
RNE 1 LANUVIO SOLAR
 Comune di Lanuvio
RELAZIONE INVARIANZA IDRAULICA

Pag 20 di
37

Per la distribuzione di probabilità delle massime altezze di pioggia giornaliere, h_d , è stata adottata la legge TCEV, espressa nella forma:

La (6.3) non è purtroppo esplicitabile in forma esatta, ma può essere invertita con la seguente espressione approssimata, valida per:

$$0,1 \leq * \leq 0,9$$

$$1,1 \leq * \leq 10$$

Posto:

$$x = \ln\{-\ln[-P(k)]\}$$

$$x_o = \frac{*}{1-*} \ln *$$

$$A = 0,8288 (* - 0,4315)^{0,3456}$$

a) per $x \leq x_o$:

$$k = \frac{x + A e^{-B_1(x_o - x)} C_1}{}$$

con:

$$B_1 = 1,345 \frac{* - 1}{(* - 1,092)^{0,9319}}$$

$$C_1 = 0,8118 + 0,2453 e^{-0,1731(* - 1)}$$

b) per $x \geq x_o$:

$$k = \frac{* (x + \ln *) + A e^{-B_2(x - x_o)} C_2}{}$$

con:

$$B_2 = 0,6501(* - 1) + 0,009705(* - 1)^2$$

$$C_2 = 1 + 0,08680(* - 1)^{0,5942}$$



$$P(h_d) = e^{-\Lambda_1 e^{-\beta \frac{h_d}{\mu_{hd}} - \Lambda^* \Lambda_1^{1/\Theta^*} e^{\frac{\beta}{\Theta^*} \frac{h_d}{\mu_{hd}}}}} \quad (6.1)$$

dove μ_{hd} è la media di h_d , Λ^* e Θ^* sono due parametri da cui dipende il coefficiente di asimmetria della distribuzione, Λ_1 è un parametro che insieme ai due precedenti determina il coefficiente di variazione, e β è una funzione dei tre precedenti parametri.

Sostituendo nella (6.1) il *coefficiente di crescita*:

$$k = \frac{h_d}{\mu_{hd}} \quad (6.2)$$

si ottiene:

$$P(k) = e^{-\Lambda_1 e^{-\beta k - \Lambda^* \Lambda_1^{1/\Theta^*} e^{\frac{\beta}{\Theta^*} k}}} \quad (6.3)$$

che in forma implicita fornisce la *curva di crescita* $k(T)$ della variabile h_d , dove T è il tempo di ritorno di h_d :

$$T = \frac{1}{1 - P(k)} \quad (6.4)$$

La (6.3) non è purtroppo esplicitabile in forma esatta, ma può essere invertita con la seguente espressione approssimata, valida per:

$$0,1 \leq \Lambda^* \leq 0,9$$

$$1,1 \leq \Theta^* \leq 10$$

Posto:

$$x = \ln\{-\ln[-P(k)]\}$$

$$x_o = \frac{\Theta^*}{1 - \Theta^*} \ln \Lambda^*$$

$$A = 0,8288(\Theta^* - 0,4315)^{0,3456}$$

a) per $x \leq x_o$:

$$k = \frac{x + A e^{-B_1(x_o - x)^{C_1}}}{\beta}$$

con:

$$B_1 = 1,345 \frac{\Theta^* - 1}{(\Theta^* - 1,092)^{0,9319}}$$

$$C_1 = 0,8118 + 0,2453 e^{-0,1731(\Theta^* - 1)}$$

b) per $x \geq x_o$:

$$k = \frac{\Theta^*(x + \ln \Lambda^*) + A e^{-B_2(x - x_o)^{C_2}}}{\beta}$$

con:

$$B_2 = 0,6501(\Theta^* - 1) + 0,009705(\Theta^* - 1)^2$$

$$C_2 = 1 + 0,08680(\Theta^* - 1)^{0,5942}$$



IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO DA 54,2016 MWp
RNE 1 LANUVIO SOLAR
Comune di Lanuvio
RELAZIONE INVARIANZA IDRAULICA

Pag 22 di
37

Al primo e al secondo livello di regionalizzazione sono state identificate tre regioni omogenee, in cui l'ipotesi della costanza del coefficiente di variazione e del coefficiente di asimmetria può essere accettata, rappresentate nella figura 6.1, indicate come:

- *zona A (Tirrenica)*, che interessa la fascia del litorale tirrenico e si protende all'interno lungo le valli dei principali corsi d'acqua;
- *zona B (Appenninica)*, che interessa l'ampia fascia dell'Appennino propriamente detto, con le propagini dei colli Albani, e i monti Lepini, Ausoni e Aurunci, nonché, separati da questa zona, i gruppi montuosi nell'entroterra tirrenico a nord-ovest del Tevere (i massicci dell'Amiata e del Cetona con i monti Vulsini; e i monti Cimini con i monti della Tolfa e i monti Sabatini);
- *zona C (Adriatica)*, che interessa una ristretta fascia del litorale adriatico e si protende con ristrette lingue lungo le valli dei corsi d'acqua.

I parametri Λ^* e Θ^* , determinati al primo livello di regionalizzazione per le tre zone, sono indicati nella tabella 6.4.

Tabella 6.4 - Parametri del primo livello di regionalizzazione

regione	Λ^*	Θ^*
A	0,174	3,490
B	0,762	1,241
C	0,795	2,402

Il parametro Λ_1 , determinato al secondo livello di regionalizzazione per le tre zone, e la corrispondente funzione β sono indicati nella figura 6.5.

Tabella 6.5 - Parametri al secondo livello di regionalizzazione

Regione	Λ_1	β
A	29,31	4,480
B	22,02	4,359
C	27,81	5,301

Più utile dal punto di vista pratico è la forma inversa della (6.3) 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, nella Tab. 6.6, i valori di K_T ottenuti numericamente dalla (6.3) per alcuni valori del periodo di ritorno.

T (anni)	2	5	10	20	25	40	50	100	200	500	1000
K_T (SZOA)	0.89	1.22	1.49	1.84	1.97	2.29	2.45	2.98	3.52	4.23	4.77
K_T (SZOB)	0.96	1.25	1.45	1.64	1.70	1.83	1.89	2.07	2.26	2.51	2.70



IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO DA 54,2016 MWp
RNE 1 LANUVIO SOLAR
Comune di Lanuvio
RELAZIONE INVARIANZA IDRAULICA

Pag 23 di
37

$K_T(\text{SZOC})$	0.90	1.29	1.59	1.90	2.01	2.22	2.32	2.64	2.96	3.38	3.70
--------------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Tab. 6.6: Valori teorici del coefficiente probabilistico di crescita K_T per le piogge giornaliere, per alcuni valori del periodo di ritorno T .

Nelle pratiche approssimazioni, è possibile anche fare riferimento alle seguenti espressioni semplificata:

$$K_T = \left(\frac{\theta_* \text{Ln } \Lambda_*}{\eta} + \frac{\text{Ln } \Lambda_1}{\eta} \right) + \frac{\theta_*}{\eta} \text{Ln } T \quad (6.5)$$



che, dati i valori assunti dai parametri della distribuzione TCEV nell'area esaminata, diventa:

$$(SZOA) K_T = -0.6086 + 0.779 \ln T \quad (6.6a)$$

$$(SZOB) K_T = 0.6419 + 0.289 \ln T \quad (6.6b)$$

$$(SZOC) K_T = 0.5296 + 0.459 \ln T \quad (6.6c)$$

Per valori del periodo di ritorno superiori a 10 anni, l'errore nell'uso delle (6.6) in luogo della (6.3) è sempre inferiore al 10 %.

6.3.1.1 Piogge brevi

Considerata la relativa limitatezza dei dati pluviografici rispetto alla quantità di dati pluviometrici, è stato elaborato un modello probabilistico, relativo alle piogge brevi che impiega l'informazione regionale stabilita per i massimi annuali delle piogge giornaliere.

Per impiegare l'informazione regionale, si è assunta l'ipotesi che la curva di crescita, stabilita per i massimi delle piogge giornaliere, sia valida anche per rappresentare la distribuzione di probabilità dei coefficienti probabilistici di crescita dei massimi annuali delle piogge di durata inferiore.

6.4 Idrometria

6.4.1 Portate istantanee al colmo di piena

Per quanto riguarda le portate al colmo di piena, nel Rapporto Nazionale (1994) sono riportate alcune ipotesi di suddivisione in regioni omogenee con risultati non del tutto soddisfacenti, sia per il compartimento di Roma che per Pescara. Gli autori, in armonia con le indicazioni del progetto VAPI, hanno considerato come regioni omogenee, al primo livello, quelle coincidenti con i rispettivi compartimenti. Analogamente, al secondo livello di regionalizzazione si sono fatte coincidere le sottozone omogenee con i rispettivi compartimenti. Tali SZO sono caratterizzate dai parametri riportati in Tab. 6.7.

Compartimento	Sottozona	-3*	A*	A ₁	
ROMA	Unica	5.52	0.03	12.32	3.240
PESCARA	Unica	2.83	0.48	9.1	3.847

Tab. 6.7: Parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle portate al colmo in nei compartimenti di Roma e Pescara

Si riportano di seguito, nella Tab. 6.8, i valori di K_T ottenuti numericamente dalla (6.3) per alcuni valori del periodo di ritorno.

T (anni)	2	5	10	20	25	40	50	100	200	500	1000
K_T (Roma)	0.90	1.27	1.53	1.81	1.91	2.14	2.27	2.85	3.84	5.39	6.57
K_T (Pescara)	0.84	1.34	1.77	2.24	2.40	2.74	2.91	3.42	3.93	4.60	5.11

Tab. 6.8: valori teorici del coefficiente probabilistico di crescita K_T per le portate, per alcuni valori del periodo di ritorno T.



IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO DA 54,2016 MWp
RNE 1 LANUVIO SOLAR
Comune di Lanuvio
RELAZIONE INVARIANZA IDRAULICA

Pag 25 di
37

Allo scopo di semplificare l'applicazione del modello, è stata ricavata un'espressione esplicita di K_T in funzione del logaritmo del tempo di ritorno T dell'evento, espresso in anni:

$$(Roma) K_T = -6.7492 + 1.784 \ln T \quad (T > 100 \text{ anni}) \quad (6.7a)$$

$$(Roma) K_T = 0.7751 + 0.3086 \ln T \quad (5 < T < 50 \text{ anni}) \quad (6.7b)$$

$$(Pescara) K_T = 0.0341 + 0.736 \ln T \quad (> 5 \text{ anni}) \quad (6.7c)$$

L'uso delle (6.7), comporta un errore inferiore al 3% nella SZO di Pescara; inferiore al 10% nella SZO di Roma.

6.5 Stima valor medio

6.5.1 Leggi di probabilità pluviometriche

6.5.1.1 Piogge giornaliere

Al terzo livello di regionalizzazione sono state individuate delle *zone omogenee* in cui è accettabile l'ipotesi che la media del massimo annuale dell'altezza giornaliera h_d , che prende il nome di *pioggia indice*, dipenda linearmente dalla sola quota z della stazione

$$m[h_g] = C Z + D \quad (6.8)$$

I parametri della (6.8) non assumono unico valore per l'intera regione esaminata: è stato invece possibile identificare delle aree pluviometriche omogenee (APO), in ognuna delle quali se ne può ottenere una stima univoca.

Sono state individuate 78 APO, rappresentate nella figura 6.2, in cui i parametri della regressione assumono i valori indicati nella tabella 6.9.

6.5.1.1 Piogge brevi

Il terzo livello di regionalizzazione per le piogge di massima intensità e breve durata è stato svolto seguendo due procedure alternative, illustrate nei punti che seguono.

METODO DELLE ZONE OMOGENEE

Per ottenere le leggi di probabilità pluviometrica, l'elaborazione effettuata è stata rivolta a stabilire una relazione durata-intensità-frequenza, attraverso una legge del tipo:

$$i_t(T) = \frac{a(T)}{(b+t)^m} \quad (6.9a)$$

dove:

- b è un parametro di trasformazione della scala temporale, indipendente sia dalla durata t , sia dal tempo di ritorno,
- m è un parametro adimensionale compreso tra 0 e 1, indipendente sia dalla durata, sia dal tempo di ritorno,
- $a(T)$ è un parametro dipendente dal tempo di ritorno, ma indipendente dalla durata

La (6.9a) può essere messa nella forma:

$$i_t(T) = i_0(T) \left(\frac{b}{b+t} \right)^m$$

dove $i_0(T)$ è l'intensità istantanea con tempo di ritorno T . La *pioggia indice* è data dalla media di i_t , che risulta:

$$\mu_{it} = \mu_{i0} \left(\frac{b}{b+t} \right)^m \quad (6.9b)$$

dove μ_{i0} è la media dell'intensità istantanea.

Il *coefficiente di crescita* da introdurre nella (6.3) è quindi:

$$k = \frac{i_t}{\mu_{i0}} \left(\frac{b+t}{b} \right)^m$$

L'esponente m e il parametro di deformazione temporale b sono stati assunti indipendenti dal tempo di ritorno T , in modo da imporre il parallelismo sul piano logaritmico delle leggi IDF relative a diversi tempi di ritorno. Per ricavare tali parametri sono state fatte le seguenti ipotesi:

A su tutto il territorio considerato:

- a) l'intensità media di 24 ore μ_{i24} è proporzionale all'intensità media giornaliera μ_{id} :

$$\mu_{i24} = \delta \cdot \mu_{id} \quad (6.10)$$

dove il coefficiente di proporzionalità è assunto costante su tutto il territorio considerato, con valore $\delta = 1,15$;

- b) il rapporto tra l'intensità media della pioggia di 5' e quella della pioggia oraria è costante su tutta l'area esaminata, assunto pari al valore ottenuto dallo studio delle piogge intense della stazione pluviometrica di Roma (Macao):
- c)

$$r = \frac{\mu_{i5'}}{\mu_{i1}} = \left(\frac{b+1}{b+0,0833} \right)^m = 3,36$$

da cui si ricava per ciascuna zona omogenea il coefficiente di trasformazione temporale:



IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO DA 60,90 MWp
RNE 1 LANUVIO SOLAR
Comune di Lanuvio
VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE
RELAZIONE TECNICA

Pag
27 di 37

$$b = \frac{1 - 0,0833r^{1/m}}{r^{1/m} - 1} \quad (6.11)$$

B sulle zone omogenee identificate per i massimi giornalieri dell'anno:

- a) l'intensità istantanea media μ_{i0} è dipendente dalla quota z della stazione pluviometrica secondo la relazione:

$$\frac{\mu_{i0}(z)}{\bar{\mu}_{i0}} = \frac{\mu_{hd}(z)}{\bar{\mu}_{hd}} \quad (6.12)$$

dove $\bar{\mu}_{i0}$ e $\bar{\mu}_{hd}$ sono la media sulla zona omogenea di μ_{i0} e μ_{hd} .

Da queste ipotesi si ricava per ciascuna zona omogenea l'esponente:

$$m = \frac{\ln\left(\frac{\bar{\mu}_{i0}}{\bar{\mu}_{i24}}\right)}{\ln\left[1 + \frac{24(r^{1/m} - 1)}{1 - 0,0833r^{1/m}}\right]} \quad (6.10)$$



IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO DA 60,90 MWp
RNE 1 LANUVIO SOLAR
 Comune di Lanuvio
VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE
RELAZIONE TECNICA

Tabella 6.9 - Terzo livello di regionalizzazione: parametri della regressione della media sulla quota

Sottozona	N	c (mm/m)	d (mm)	sottozona	N	c (mm/m)	D (mm)
A1	10	0,01892	55,64	B19	6	0,01418	36,02
A2	8	0,02785	59,22	B20	5	0,01098	57,23
A3	9	0,02738	64,43	B21	6	0,15691	16,83
A4	13	0,03390	67,67	B22	7	0,01890	76,65
A5	7	0,03031	60,09	B23	5	0,04972	60,54
A6	8	0,13518	66,15	B24	7	0,07960	30,38
A7	7	0,03582	67,72	B25	10	0,02089	64,28
A8	16	0,01680	62,79	B26	9	0,13532	-48,29
A9	7	0,02671	61,61	B27	5	0,05786	67,35
A10	5	0,06301	67,83	B28	12	0,03599	63,48
A11	3	0,07624	41,70	B29	5	0,03152	87,30
A12	6	0,01510	72,77	B30	4	0,05066	68,93
A13	9	0,02714	50,42	B31	11	0,00116	60,07
A14	4	0,02517	62,33	B32	7	0,04004	27,64
A15	4	0,03647	68,78	B33	6	0,01264	54,93
A16	4	0,02592	52,00	B34	4	0,25615	-85,09
A17	7	0,10165	15,14	B35	5	0,07432	15,64
A18	11	0,02208	58,80	B36	7	0,05270	40,46
A19	5	0,03408	41,11	B37	2	0,03513	33,42
A20	7	0,03637	49,62	B38	10	0,01874	40,79
A21	4	0,02854	43,38	B39	4	0,04514	38,13
B1	13	0,03028	43,52	B40	8	0,04250	58,21
B2	5	0,02250	42,59	B41	4	0,08894	34,37
B3	11	0,03478	49,18	B42	9	0,02237	71,20
B4	10	0,02747	62,61	C1	19	0,00482	57,46
B5	13	0,03136	53,96	C2	34	0,02822	64,04
B6	6	0,03764	44,54	C3	8	0,05900	42,12
B7	9	0,01863	49,36	C4	5	0,06381	49,63
B8	4	0,02219	50,91	C5	6	0,01574	61,16
B9	16	0,04546	46,32	C6	5	0,01374	58,39
B10	9	0,04145	37,12	C7	5	0,00985	62,40
B11	44	0,02300	35,60	C8	7	0,07690	50,19
B12	13	0,04292	45,49	C9	6	0,02767	51,23
B13	2	0,01793	20,47	C10	7	0,11377	38,98
B14	13	0,05343	55,04	C11	5	0,02573	57,44
B15	6	0,00153	69,69	C12	4	0,02395	44,17
B16	12	0,02565	22,88	C13	3	0,04634	-5,21
B17	5	0,00722	64,41	C14	4	0,03330	32,01
B18	3	0,00128	62,43	C15	4	0,00655	57,57



IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO DA 60,90 MWp
RNE 1 LANUVIO SOLAR
Comune di Lanuvio
VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE
RELAZIONE TECNICA

Pag
29 di 37

I valori regionali dei parametri b , m e $\bar{\mu}_{i0}/\bar{\mu}_{i24}$ che compaiono nella (6.10) sono riportati nella tabella (6.10).

METODO DELL'INTERPOLAZIONE SPAZIALE DEI PARAMETRI LOCALI

Si è adottata la legge intensità-durata-frequenza (IDF) a due parametri:

$$h_t(T) = a(T)t^n \quad (6.13a)$$

dove:

n è un parametro adimensionale compreso tra 0 e 1, indipendente sia dalla durata, sia dal tempo di ritorno,

$a(T)$ è un parametro dipendente dal tempo di ritorno, ma indipendente dalla durata.

La (6.13a) può essere messa nella forma:

$$h_t(T) = h_1(T)t^n$$

dove $h_1(T)$ è l'altezza di pioggia oraria con tempo di ritorno T . La *pioggia indice* è data dalla media di h_t , che risulta:

$$\mu_{ht} = \mu_{h1}t^n \quad (6.13b)$$

dove μ_{ht} è la media dell'altezza oraria.

Il *coefficiente di crescita* da introdurre nella (6.3) è quindi:

$$k = \frac{h_t}{\mu_{h1}} \left(\frac{1}{t} \right)^n$$

L'esponente n è stato assunto indipendente dal tempo di ritorno T , in modo da imporre il parallelismo sul piano logaritmico delle leggi IDF relative a diversi tempi di ritorno.



IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO DA 60,90 MWp
RNE 1 LANUVIO SOLAR
 Comune di Lanuvio
VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE
RELAZIONE TECNICA

Tabella 6.10 - Regionalizzazione delle piogge intense: parametri regionali delle relazioni IDF

Sottozona	<i>b</i> (h)	<i>m</i>	μ_{40}/μ_{24}	sottozona	<i>b</i> (h)	<i>m</i>	μ_{40}/μ_{24}
A1	0,1660	0,7810	4,890	B19	0,1135	0,6951	4,148
A2	0,1528	0,7597	4,683	B20	0,1170	0,7010	4,190
A3	0,1454	0,7478	4,574	B21	0,1585	0,7690	4,772
A4	0,1705	0,7881	4,962	B22	0,1101	0,6895	4,108
A5	0,1621	0,7748	4,828	B23	0,1398	0,7387	4,494
A6	0,1137	0,6955	4,150	B24	0,1040	0,6792	4,038
A7	0,1054	0,6816	4,054	B25	0,0986	0,6700	3,980
A8	0,1323	0,7263	4,389	B26	0,0908	0,6565	3,902
A9	0,1502	0,7555	4,645	B27	0,1366	0,7335	4,449
A10	0,1415	0,7415	4,518	B28	0,1168	0,7007	4,188
A11	0,1744	0,7943	5,026	B29	0,0895	0,6542	3,889
A12	0,1251	0,7145	4,293	B30	0,1222	0,7097	4,256
A13	0,1484	0,7526	4,618	B31	0,0902	0,6555	3,896
A14	0,1521	0,7586	4,673	B32	0,1071	0,6844	4,073
A15	0,1326	0,7269	4,393	B33	0,0806	0,6389	3,813
A16	0,1427	0,7434	4,535	B34	0,0940	0,6620	3,933
A17	0,1728	0,7917	5,000	B35	0,0977	0,6684	3,971
A18	0,1498	0,7549	4,639	B36	0,1434	0,7446	4,545
A19	0,1729	0,7919	5,002	B37	0,1141	0,6962	4,156
A20	0,1456	0,7482	4,577	B38	0,1670	0,7826	4,906
A21	0,1437	0,7450	4,549	B39	0,0971	0,6674	3,965
B1	0,1168	0,7006	4,188	B40	0,1136	0,6953	4,149
B2	0,1603	0,7718	4,799	B41	0,1673	0,7830	4,911
B3	0,1252	0,7146	4,294	B42	0,1279	0,7190	4,329
B4	0,1015	0,6748	4,010	C1	0,1408	0,7403	4,508
B5	0,1302	0,7230	4,361	C2	0,1107	0,6905	4,115
B6	0,1354	0,7314	4,431	C3	0,1156	0,6986	4,173
B7	0,1275	0,7185	4,325	C4	0,1123	0,6932	4,134
B8	0,1768	0,7981	5,066	C5	0,1281	0,7195	4,333
B9	0,1455	0,7479	4,575	C6	0,0957	0,6650	3,950
B10	0,1136	0,6953	4,149	C7	0,1129	0,6942	4,141
B11	0,1035	0,6782	4,032	C8	0,1001	0,6725	3,996
B12	0,1097	0,6887	4,102	C9	0,1076	0,6852	4,079
B13	0,0685	0,6173	3,730	C10	0,1034	0,6781	4,031
B14	0,1380	0,7357	4,468	C11	0,1101	0,6895	4,108
B15	0,1048	0,6804	4,047	C12	0,1100	0,6894	4,107
B16	0,1051	0,6811	4,051	C13	0,0821	0,6414	3,825
B17	0,0889	0,6532	3,884	C14	0,0897	0,6547	3,892
B18	0,1167	0,7005	4,187	C15	0,0863	0,6488	3,861



**IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO DA 60,90 MWp
RNE 1 LANUVIO SOLAR
Comune di Lanuvio
VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE
RELAZIONE TECNICA**

Pag
31 di 37

I parametri μ_{hl} e n sono ricavati per interpolazione dei valori calcolati per ciascuna stazione pluviometrica. Nella figura 6.3 tale interpolazione è rappresentata sotto forma di linee isoparametriche.

6.5.1.2 Piogge areali

Al momento non è stata condotta un'indagine specifica sul ragguglio all'area delle stime regionali puntuali delle precipitazioni.

Il modello delle piogge brevi proposto, però, può essere integrato esprimendo l'altezza raggugliata all'area, $m[h(A,t)]$ con la relazione:

$$m[h(A,t)] = m'_0 \left(\frac{b}{b+t} \right)^{m'} \quad (6.14)$$

in cui:

$$m' = m + k_1 A$$

$$m'_0 = k_2 m_0$$

in cui A è l'area del bacino

6.5.2 Piena media annua

6.5.2.1 Portata al colmo di piena istantanea

Al terzo livello di regionalizzazione è stata condotta una prima indagine volta a verificare la possibilità di stabilire una relazione significativa tra i valori medi dei massimi annuali delle portate al colmo $m(Q)$ e la superficie A dei bacini sottesi dalle sezioni di misura.

In questo modo si viene a stabilire un legame tra l'ultimo parametro della distribuzione ed un parametro fisico, l'estensione del bacino, che permette di stimare la $m(Q)$ anche in sezioni prive di osservazioni dirette.

Le regressioni, portate indice-area del bacino, sono state valutate considerando le stazioni con almeno 30 anni di dati, ottenendo delle relazioni lineari. Per il compartimento di ROMA si ha:

$$m(Q) = 0.0863 A + 125.477 \quad (6.15)$$

Per il compartimento di Pescara sono state individuate due aree omogenee A e B (vedi Fig. 3 all'interno delle quali sono valide le due relazioni:

$$\text{Zona A: } Q_m = 0.0375 A + 16.450 \quad (6.16a)$$

$$\text{Zona B: } Q_m = 0.2955 A - 7.704 \quad (6.16b)$$

Le relazioni (16) forniscono un elevato adattamento ai valori di portata osservati, ma vanno utilizzate con cautela al di fuori del campo di osservazione, in quanto non rispettano la condizione fisica di passaggio per l'origine.

Riferimenti bibliografici

G. Calenda, F. Campolo, C. Cosentino e R. Guercio, (a cura di), Valutazione delle piene nei bacini delle sezioni idrografiche di Roma e Pescara, in *La valutazione delle piene in Italia-Rapporto Nazionale di Sintesi*, Bozza, CNR-GNDICI, Allegato F, 1994.



**IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO DA 60,90 MWp
RNE 1 LANUVIO SOLAR
Comune di Lanuvio
VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE
RELAZIONE TECNICA**

6. APPLICAZIONE AL CASO IN ESAME

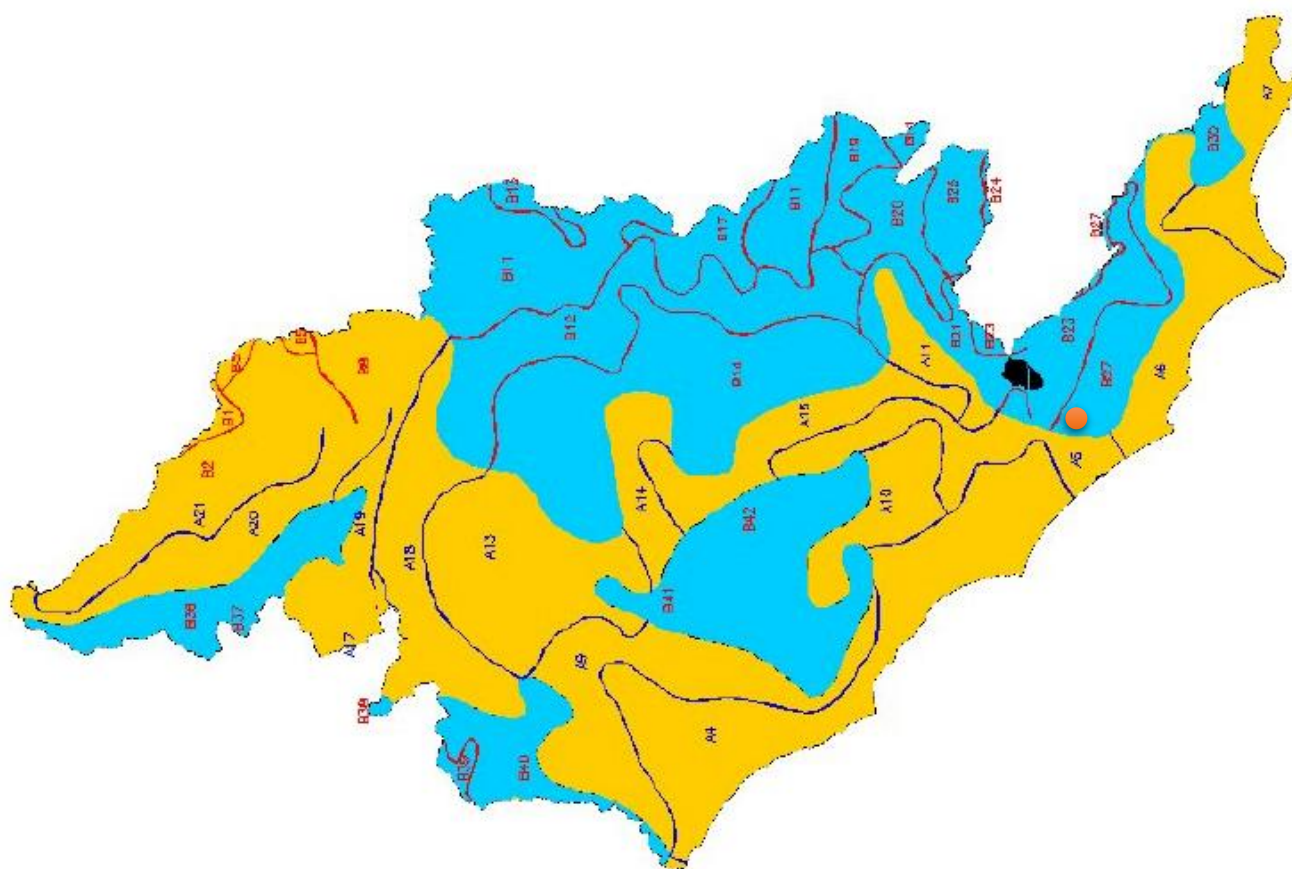
L'applicazione operativa alla sottozona di Lanuvio/Aprilia considera la sottozona B27

regione	Λ^*	Θ^*	Λb	β
B	0,762	1,241	22,02	4,359

sottozona	c	d	b (h)	m	μ_{40}/μ_{24}	z
B27	0,05786	67,35	0,1366	0,7335	4,449	71

Tr (anni)	2	5	10	20	25	40	50	100	200	300	500	1000
KT (SZO B)	0.96	1.25	1.45	1.64	1.70	1.83	1.89	2.07	2.26	2.39	2.51	2.70

(Roma) $K_T = 0.7751 + 0.3086 \ln T$ (5 < T < 50 anni)



$\mu(hg) = C Z + D = 0,05786 \times 71 + 67,35 = 71,458$ mm media massimo annuale altezza

$\mu_{24} = \delta \mu_{id} = 1,15 \times 71,458 = 82,178$ mm media massimo annuale altezza giornaliera



**IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO DA 60,90 MWp
RNE 1 LANUVIO SOLAR
Comune di Lanuvio
VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE
RELAZIONE TECNICA**

Pag
33 di 37

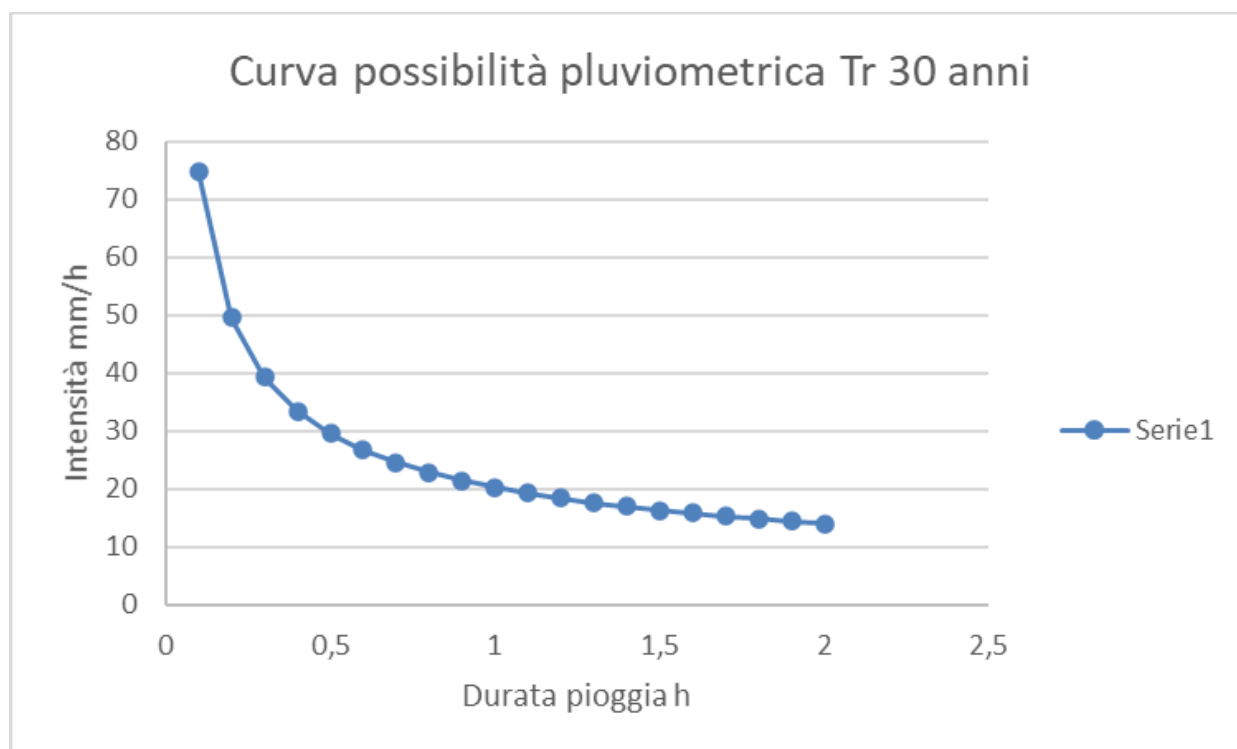
$\mu i0 = 82,178/4,449 = 18,471$ media altezza oraria

Kt 30 anni = 1,824709512

$n = 0,513505386$

Legge di pioggia: h (mm/h) = $(Kt \times \mu i0 \times d^n = 1,824709512 * 18,471 * d^{0,513505386})/d$

Si riporta di seguito la curva di probabilità pluviometrica ottenuta per la sottozona in esame, per Tr 30 anni



Scelta della durata critica dell'evento e calcolo della pioggia critica

Per il lotto sottoposto all'intervento, come indicato nelle Linee Guida della Regione Lazio è stato utilizzato come durata critica un valore di 2 ore.

Considerando questo valore, attraverso la formulazione a tre parametri, conoscendo le curve di possibilità pluviometrica relative ai diversi tempi di ritorno, è stata individuata l'intensità di pioggia critica per il lotto oggetto di interventi per Tr 30 anni $i_{Tr\ 30\ anni} = 14,096$ mm/h



IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO DA 60,90 MWp
RNE 1 LANUVIO SOLAR
Comune di Lanuvio
VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE
RELAZIONE TECNICA

Pag
34 di 37

7. LE PERDITE IDROLOGICHE

Nota la pioggia areale, per la determinazione del deflusso diretto è necessario valutare la pioggia effettiva e, quindi, la quantità di pioggia che viene assorbita dal suolo e quella intercettata dalla vegetazione, mentre la quantità di pioggia persa per evapotraspirazione è trascurabile per eventi meteorici particolarmente intensi. Per effettuare tale stima, devono essere definiti i coefficienti di deflusso (*Cd*). Il passaggio dalla precipitazione lorda alla precipitazione netta dipende da:

- caratteristiche del bacino: uso e tipo dei suoli, stato di umidità del suolo all'inizio dell'evento;
- caratteristiche degli afflussi: altezza totale di precipitazione, dinamica temporale e distribuzione spaziale dell'evento.

Le perdite idrologiche vengono generalmente suddivise in:

- intercezione;
- evapotraspirazione;
- immagazzinamento nelle depressioni superficiali;
- infiltrazione.

Nei modelli di piena, l'infiltrazione sulle aree permeabili o semipermeabili costituisce senz'altro la componente principale. Meno significativa, ma spesso non trascurabile, è la perdita che avviene sul bacino per immagazzinamento nelle depressioni superficiali dalle quali l'acqua viene allontanata solo per evaporazione o infiltrazione. Le perdite per intercettazione e per evapotraspirazione sono invece importanti esclusivamente nell'analisi della risposta del bacino su lunghi periodi temporali.

Il coefficiente di deflusso viene definito come il "rapporto fra la portata annuale ed il volume d'acqua di precipitazione caduta nel suo bacino imbrifero" (Ciabatti, 1982). Esso varia in funzione delle caratteristiche climatiche e geomorfologiche del suolo di un bacino e, sulla base di valori orientativi disponibili in letteratura.

Gli interventi in progetto che prevedono il posizionamento dell'impianto fotovoltaico nell'area in esame non determina un effettivo cambiamento di uso del suolo; si considerano impermeabili solamente i locali tecnici quali le cabine trascurando la superficie occupata dai moduli, poiché il suolo non risulta realmente impermeabilizzato ma rimane terreno naturale con la stessa permeabilità di prima dell'intervento.

Detto ciò, in base anche alla geologia affiorante e come indicato nel calcolo precedente del volume minimo di invaso il coefficiente di deflusso ante operam viene posto pari a 0.20.



8. LA TRASFORMAZIONE AFFLUSSI DEFLUSSI

I modelli di formazione dei deflussi si propongono di fornire una descrizione matematica dei processi idrologici che si svolgono nel bacino idrografico, considerandolo, in analogia alla teoria dei sistemi, come un sistema (sistema prototipo) soggetto ad un ingresso, l'intensità di pioggia, e ad un'uscita (o risposta) rappresentata dall'andamento della portata nel tempo $q(t)$ defluente attraverso la sezione di chiusura. Data la complessità dei fenomeni e delle relazioni che influenzano e descrivono il comportamento reale di un bacino, si introduce un sistema modello che ne approssima il comportamento reale attraverso alcune semplificazioni; ovvero si schematizza la risposta del singolo bacino idrografico alle sollecitazioni meteoriche, in funzione delle proprie caratteristiche fisiografiche e combinazione di tale risposta con la pioggia netta per stimare gli idrogrammi di piena.

Nel vasto panorama dei modelli di formazione dei deflussi, è stata scelta la metodologia basata sull'idrogramma unitario istantaneo (IUH). Il metodo si basa sulle ipotesi di linearità e stazionarietà del bacino ed effettua la combinazione tra pioggia in ingresso e IUH per il calcolo della portata diretta. In altre parole, la risposta $Q(t)$ ad una sollecitazione meteorica di intensità $p(t)$ variabile nel tempo, ma supposta costante su tutti i punti del bacino, è data dall'integrale di convoluzione:

$$Q(t) = \int_0^t p(\tau) h(t - \tau) d\tau$$

dove $p(t)=A i(t)$ è la portata di afflusso meteorico al generico tempo t e la funzione $h(t)$, che prende il nome di IUH, è definita come l'idrogramma dei deflussi generato da un'ipotetica pioggia efficace di altezza unitaria ed intensità costante, distribuita uniformemente sul bacino, e caduta in un intervallo di tempo unitario (immissione di tipo impulsivo). La funzione $h(t)$ può essere stimata mediante numerosi approcci, nel dettaglio si è utilizzato il metodo cinematico.

Il metodo cinematico utilizza l'equazione di continuità e l'approssimazione cinematica delle equazioni complete di De Saint Venant per trasformare la precipitazione efficace in deflusso superficiale. Il bacino viene rappresentato tramite un modello concettuale in cui possono essere definiti due piani rettangolari, percorsi dal deflusso superficiale e canali che raccolgono il deflusso proveniente dai piani rettangolari.

Nello specifico la trasformazione afflussi-deflussi è schematizzata con un insieme di canali lineari in parallelo fra loro. Ogni canale collega un'area infinitesima del bacino con la sezione di chiusura: trasferisce le gocce d'acqua che cadono in ciascuna area infinitesima sino alla sezione terminale sempre con lo stesso ritardo (pari al tempo di corruzione della stessa area infinitesima).

L'idrogramma $Q(t)$ si ottiene dall'integrale dei contributi di tutti i canali:

$$Q(t) = \iint_{A_b} i_{r,n}(x, y, t - t_c(x, y)) dx dy$$

Tempo di base t_b è la durata del deflusso di pioggia (per cui $Q(t) > 0$): pari alla durata della pioggia t_p il tempo di corruzione del bacino t_c .

L'ipotesi su cui si basa il modello sono le seguenti:

- la formazione della piena sia dovuta esclusivamente ad un fenomeno di trasferimento (senza invasi) di massa liquida;
- ogni goccia di pioggia si muova sulla superficie del bacino seguendo un percorso immutabile, che dipende soltanto dalla posizione del punto in cui essa è caduta;
- la velocità di ogni singola goccia non sia influenzata dalla presenza delle altre gocce (... ipotesi più inverosimile);
- la portata alla sezione di chiusura si ottenga sommando tra loro le portate elementari, provenienti dalle singole aree del bacino che si presentano allo stesso istante nella sezione di chiusura.

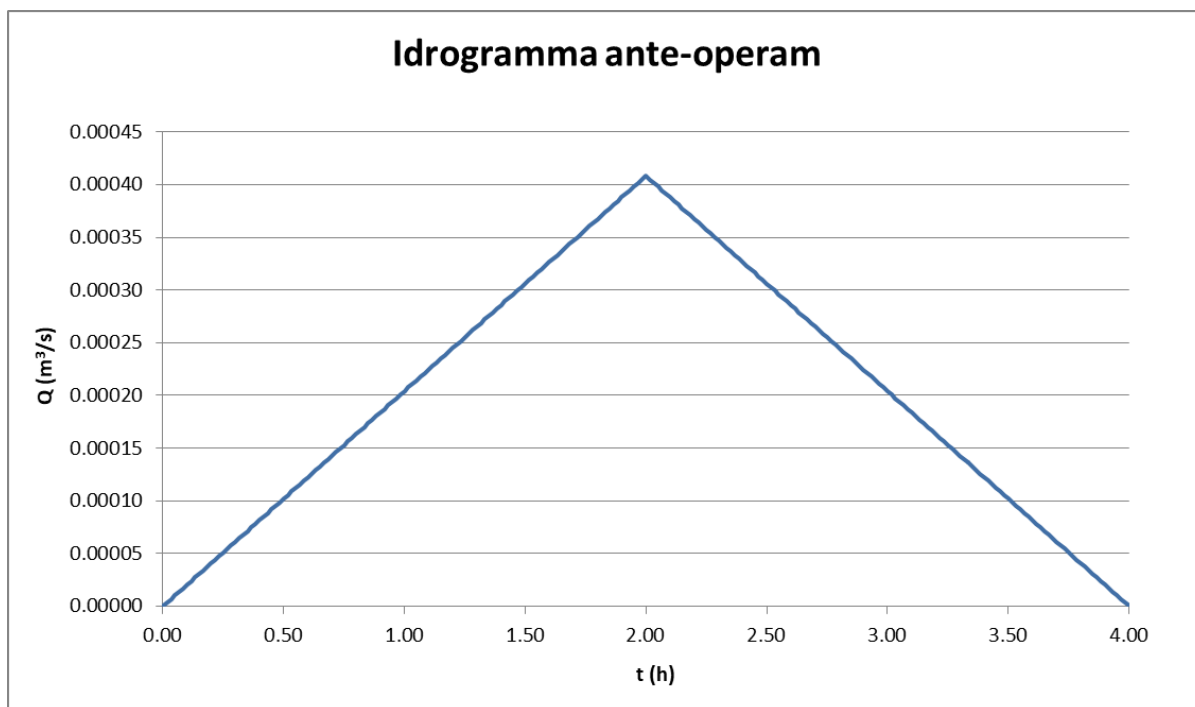


IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO DA 60,90 MWp
RNE 1 LANUVIO SOLAR
Comune di Lanuvio
VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE
RELAZIONE TECNICA

Pag
36 di 37

Di seguito si riporta l'idrogramma ottenuto per la situazione ante-operam come evento pluviometrico di progetto l'evento con Tr 30 anni e durata di pioggia 2 ore.

La portata massima è di 0.00041 mc/s, (definita considerando l'area impermeabilizzata) valore da considerare come portata di scarico massima.



Idrogramma ante-operam relativo all'area sottoposta alla realizzazione del nuovo intervento

Il quantitativo di volume, sopra calcolato e pari a 39.12 mc verrà opportunamente ripartito per le 35 cabine presenti, essendo esse distribuite in modo non uniforme sull'intera area posta a trasformazione; nello specifico non si prevedono scarichi concentrati: lo scarico delle acque avverrà in maniera graduale mediante filtrazione. Si prevede quindi la realizzazione di piccoli pozzi perdenti per ogni cabina con portata massima infiltrata ($Q_{inf}=0.000000157$ mc/s) minore della portata ante operam. La distribuzione dei pozzi perdenti sarà la seguente.

Volumi invaso	n.	mc	tot mc
Cabina smistamento	4	1,4	5,6
Cabina consegna	4	1,4	5,6
Cabina trasformazione	20	1,4	28

39,2

In merito alla Step Up il volume di invaso sarà realizzato attraverso la realizzazione di un tubo drenante in calcestruzzo interrato diametro 1,5 m e lunghezza 34 m.

Verifica del volume di invaso		
diámetro	0,75	m
lunghezza	34	m
volumi totale	60,24	mc
verifica volumi d'invaso	60,24 > 54,07	verificato



IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO DA 60,90 MWp
RNE 1 LANUVIO SOLAR
Comune di Lanuvio
VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE
RELAZIONE TECNICA

Pag
37 di 37

9. CONCLUSIONI

L'intervento in progetto consiste nell'installazione di un impianto fotovoltaico che causa un impatto per sottrazione di suolo che si può considerare trascurabile: in condizioni di esercizio l'area sotto i pannelli resta libera e rinaturalizzata. Anche la totale assenza di fondazioni e manufatti in c.a., ad eccezione delle fondazioni delle cabine e dei locali tecnici (che comunque sono del tipo prefabbricato pertanto rimovibili), e l'assenza di c.a. gettato in opera e/o prefabbricato nelle opere di recinzione, concorrono a garantire inalterate le caratteristiche di uso del suolo, che quindi non inficiano nella variazione del coefficiente di deflusso.

Tali considerazioni permettono quindi di affermare che il posizionamento dell'impianto fotovoltaico nell'area in esame non determina un effettivo cambiamento di uso del suolo, e quindi le capacità di infiltrazione del suolo risultano inalterate, senza determinare un effettivo deficit nello smaltimento delle portate meteoriche. Ciò nonostante, vista la delibera regionale n.117 del 24 marzo 2020 in cui vengono definiti "i Criteri, le modalità e indicazioni tecnico-operative per la redazione della verifica di compatibilità idraulica degli strumenti di pianificazione territoriale e per l'invarianza idraulica delle trasformazioni territoriali", essendo l'area classificabile come intervento di significativa impermeabilizzazione potenziale: infatti l'intervento è su una superficie di estensione compresa tra 1ha e 10 ha, è stato calcolato il volume minimo di laminazione.

La realizzazione dell'impianto comporta una perdita di superfici permeabile estremamente ridotta, legata sostanzialmente alla realizzazione di cabine prefabbricate (tra cui cabine inverter, cabine trafo ecc.) per una superficie totale di circa 1.000 metri quadri su una superficie netta di 61 ettari, il volume complessivo di laminazione risulta essere di circa 39,12 mc con portata massima di scarico (considerando l'area impermeabilizzata) per una durata di 2 ore e tempo di ritorno 30 anni di 0.00054 mc/s.

In tal modo il principio di invarianza idraulica, per il quale le portate massime di deflusso meteorico scaricate dalle aree in trasformazione nei ricettori naturali o artificiali di valle non sono maggiori di quelle preesistenti alla trasformazione stessa, risulta soddisfatto.