

COMMITTENTE



SOGGETTO TECNICO

DIREZIONE STAZIONI - INGEGNERIA E INVESTIMENTI

PROGETTAZIONE

MANDATARIA

CODING
GENERAL ENGINEERING & PLANNING

MANDANTE

POLITECNICA
BUILDING FOR HUMANS

SWS

CODING S.R.L.

POLITECNICA SOC. COOP.

SWS ENGINEERING S.P.A.

HUB DI INTERSCAMBIO FERROVIARIO DI POMPEI

PROGETTO DEFINITIVO

IDRAULICA

Relazione Idrologica

SCALA

| PROGETTO | ANNO | SOTTOPR. | LIVELLO | NOME DOC. | TIPO DOC. | SCALA | NUM. | REV. |
|----------|------|----------|---------|-----------|-----------|-------|------|------|
| 3205 | 20 | S01 | PD | PM00 | RI | SX | E01A | |

| Rev | Descrizione | Redatto | Verificato | Approvato | Data | Autorizzato Il progettista | Data |
|-----|-------------|-----------------|-------------------|-------------------|----------|----------------------------|----------|
| A | Emissione | <i>D. Fodde</i> | <i>L. Nardoni</i> | <i>P. Luciani</i> | 16/11/20 | <i>G. Coppa</i> | 16/11/20 |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

Controllo Qualità

| QA & QC | Verificato | Approvato | Autorizzato |
|---------|--------------------|-------------------|-------------------|
| | <i>G. Ippolito</i> | <i>F. Bordini</i> | <i>R. Vangeli</i> |

| Soggetto Tecnico | Data | Referente di Progetto | Data |
|------------------|----------|-----------------------|------|
| <i>F. Cerone</i> | 16/11/20 | <i>A. Martino</i> | |

POSIZIONE ARCHIVIO

LINEA

= = = =

SEDE TECNICA

□ □ □ □ □ □

NOME DOC.

□ □ □ □ □ □

NUMERAZIONE

□ □ □ □ □ □

| Verificato e Trasmesso | Data | Convalidato | Data | Archiviato | Data |
|------------------------|------|-------------|------|------------|------|
| | | | | | |

Progetto Definitivo
Relazione Idrologica
HUB DI POMPEI

| Rev. | Descrizione revisione | Redatto | Verificato | Approvato | Autorizzato |
|------|------------------------|----------|------------|------------|-------------|
| 0 | Emissione per commenti | D. Fodde | L. Nardoni | P. Luciani | F. Coppa |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

INDICE

| | | |
|----------|--|---------------------------------------|
| 1 | INTRODUZIONE | Errore. Il segnalibro non è definito. |
| 2 | NORMATIVA DI RIFERIMENTO | 5 |
| 3 | ANALISI IDROLOGICA | 7 |
| 3.1 | Analisi idrologica attraverso il modello VA.PI. Campania | 9 |
| 3.2 | Stima delle piogge di forte intensità e breve durata | 15 |
| 3.3 | Stima dei coefficienti di deflusso..... | 18 |
| 3.4 | Valutazione del fattore probabilistico di crescita delle portate | 21 |
| 4 | CONSIDERAZIONE SUI CAMBIAMENTI CLIMATICI | 22 |
| 5 | CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE | 25 |

1 PREMESSA

Il presente documento ha la finalità di descrivere il progetto di inserimento di una nuova Fermata RFI sulla linea Napoli-Salerno (via Nocera Inferiore), che costituirà un nuovo collegamento ferroviario al sito archeologico di Pompei.

Gli interventi si inquadrano nel programma di miglioramento dei collegamenti tra le reti e sono funzionali al potenziamento dell'interscambio in ottica di riduzione dei tempi di viaggio complessivi. Le priorità di intervento nell'ambito del programma riguardano la realizzazione di un hub di interscambio ferroviario fra la linea RFI Napoli - Salerno (storica) e la linea Circumvesuviana Napoli-Sorrento gestita da EAV, in posizione adiacente agli Scavi Archeologici di Pompei ed il miglioramento dell'accessibilità ai grandi attrattori turistici costituiti dagli Scavi stessi e dal Santuario Mariano presente nel comune vesuviano.

Tenuto conto dell'unicità dei siti archeologici nell'area di Pompei e dei bacini di domanda, l'intervento mirato al miglioramento dell'accessibilità al sito, con la realizzazione di una nuova fermata ferroviaria, unitamente a tutti gli investimenti inerziali previsti nel bacino vesuviano/costiero, crea le condizioni per la messa a sistema dei flussi.

In quest'ottica, la vicinanza fisica tra le due ferrovie si trasforma in opportunità di migliorare l'accessibilità ferroviaria al sito mediante un nuovo nodo di interscambio.

L'intervento consiste nella realizzazione di un nodo di interscambio tra la ferrovia RFI Napoli - Salerno (via Nocera Inferiore) e la linea Napoli - Sorrento gestita da EAV (Ex-Circumvesuviana) in corrispondenza del sito UNESCO di Pompei, in prossimità dell'uscita di Pompei Ovest dell'autostrada A3 Napoli-Salerno e facilmente accessibile anche dalla S.S. 18, costituendo un nodo strategico per l'accessibilità alla rete TPL per i comuni di Pompei, Torre Annunziata e Castellammare di Stabia.

L'idea del nodo intermodale di Pompei nasce nell'ambito del Sistema di Metropolitana Regionale (SMR), approvato con DGR 1282 del 5/04/2002 con l'obiettivo di integrazione e sviluppo della mobilità ferroviaria campana attraverso interventi di carattere infrastrutturale.

Nel 2015 RFI ha redatto un primo studio di fattibilità teso ad individuare i principali interventi da eseguire, con un importo complessivo delle opere da realizzare pari a 33 milioni di euro e tempi di realizzazione di 36 mesi.

In seguito, nell'ambito di incontri specifici coordinati dal Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo, presso la Regione Campania con le Amministrazioni locali, lo studio del nodo di

interscambio è stato oggetto di approfondimenti in relazione alle esigenze manifestate dai diversi stakeholder.

Pertanto, alla luce dell'esigenza di favorire la connettività dell'HUB con il tessuto urbano circostante è stata sviluppata un'ipotesi progettuale a cura RFI in coerenza con i requisiti di seguito espressi e condivisi con gli stakeholder interessati (Comune di Pompei, Regione Campania - ACaMIR, Ente Autonomo Volturno EAV) nell'ambito dei tavoli tecnici sul tema:

- Aumentare l'accessibilità agli scavi mediante il potenziamento infrastrutturale e la realizzazione di una nuova fermata RFI;
- miglioramento dell'accessibilità da/per l'area archeologica;
- intermodalità RFI/EAV.

2 SCOPO DEL PROGETTO

Lo scopo del presente documento è la descrizione delle metodologie adottate per il calcolo delle portate transittanti all'interno dei manufatti idraulici previsti lungo il progetto di inserimento di una nuova Fermata RFI sulla linea Napoli-Salerno (via Nocera Inferiore), che costituirà un nuovo collegamento ferroviario al sito archeologico di Pompei.

La fase iniziale del presente studio ha riguardato l'analisi degli input idrologici per poter sviluppare un modello afflussi-deflussi e in secondo luogo stimare le portate transittanti in tutti gli attraversamenti presenti lungo la nuova viabilità e la stazione ferroviaria. Nello specifico, mediante l'utilizzo di modelli di calcolo quali il GIS, si sono estratti i bacini idrografici oggetto di studio utilizzando come base cartografica sia il LiDar che la cartografica disponibile nel GeoPortale della Regione Campania. I bacini tengono conto sia dell'orografia del terreno sia del reticolo.

La scelta dei tempi di ritorno è stata effettuata in conformità a quanto previsto dalle indicazioni riportate nelle Norme Tecniche di Attuazione (NTA) del Progetto di Piano Stralcio per l'assetto Idrogeologico (PAI) del bacino del Fiume Sarno, dalle Norme tecniche delle costruzioni (NTC18) e dal Manuale di Progettazione Ferroviaria 2018.

3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Si riepiloga, nel seguito, il quadro delle principali normative di riferimento.

Il presente progetto, relativamente agli aspetti stradali, è stato redatto sulla base dei seguenti riferimenti normativi:

- a) Piano di Assetto Idrogeologico della Regione Campania (PAI);
- b) Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA);
- c) Nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC2018);
- d) Circolare 21 gennaio 2019, n.7 C.S.LL.PP.;
- e) Manuale di Progettazione delle opere ferroviarie;
- f) Regio Decreto del 25/07/1904 n.523;

4 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il nuovo Hub di Pompei si inserisce in una rete infrastrutturale strategica per il collegamento di una vasta area del territorio campano. A nord degli Scavi corre la linea ferroviaria Napoli-Poggioreale gestita da EAV, su cui insistono due Stazioni prossime all'area degli scavi mentre ad ovest è presente la fermata Villa dei Misteri sulla linea Napoli-Sorrento, sempre a gestione EAV, che incrocia quasi ad angolo retto la linea Napoli-Salerno gestita da RFI. La Napoli-Salerno è un asse principale ferroviario a doppio binario, della rete regionale che collega il capoluogo campano con i comuni costieri vesuviani, con Salerno e con i comuni della provincia di Salerno, e della rete nazionale, in quanto parte costitutiva della principale direttrice di collegamento Nord-Sud della penisola: Milano-Roma-Napoli-Reggio Calabria. La linea ferrovia storica serve il comune di Pompei con la Fermata RFI localizzata in viale Giuseppe Mazzini, dalla quale, percorrendo circa 100 metri, si raggiunge piazza Bartolo Longo in cui è situato il santuario della Madonna di Pompei.

L'autostrada A3 Napoli – Pompei – Salerno scorre in direzione nord-ovest/sud-est con la presenza di tre svincoli (Pompei est-Scafati, Pompei-Ovest e lo svincolo di Castellammare) che si innestano rispettivamente sulla Statale 18 sul versante orientale in prossimità del confine comunale con Scafati, a nord-ovest al confine con Torre Annunziata e sulla Statale 145 nella parte centro occidentale del territorio di Pompei al confine con i territori di Castellammare e Torre Annunziata; con un casello in

prossimità del nuovo Hub. L'inquadratura sottostante mostra la posizione strategica per le connessioni territoriali del nuovo Hub di Pompei.

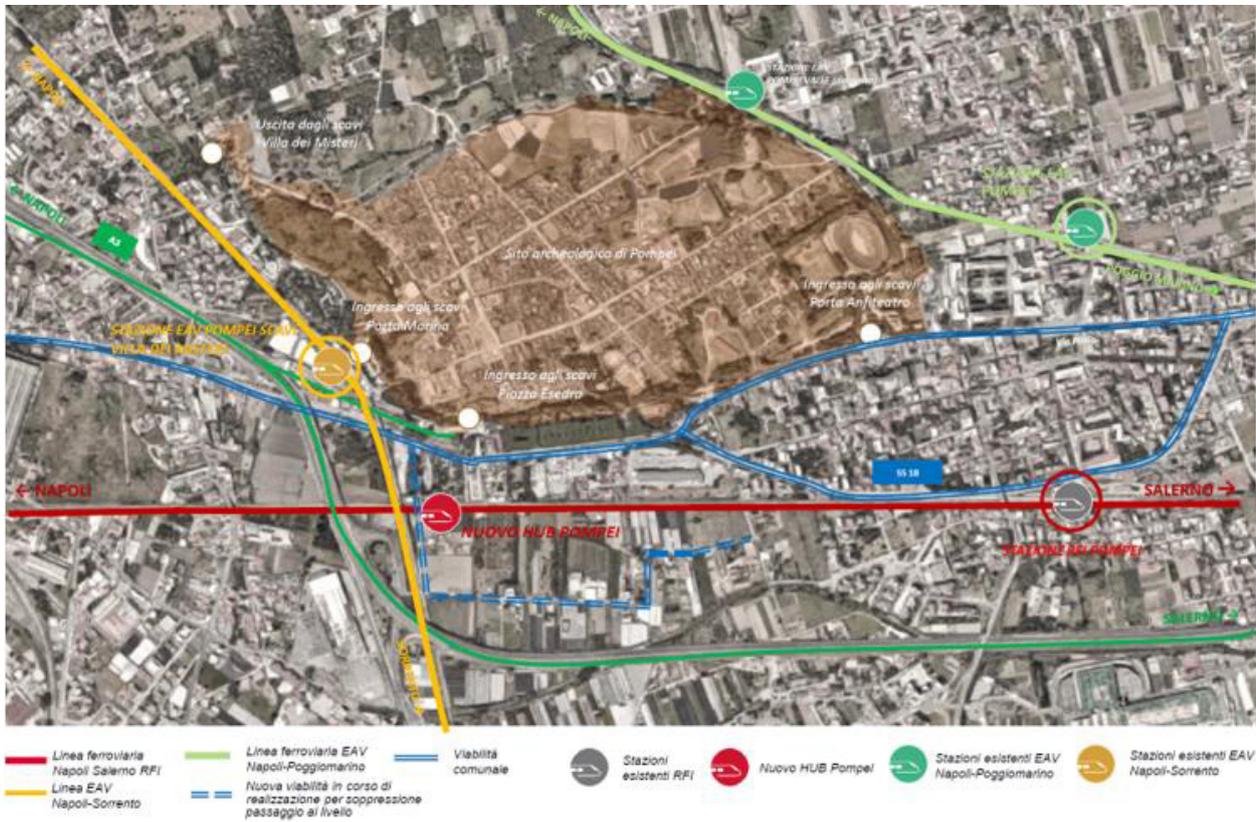


Figura 1 - Inquadratura Territoriale

5 ANALISI IDROLOGICA

Gli interventi in progetto ricadono tutti nel territorio del Bacino Idrografico del Fiume Sarno e sono pertanto soggetti alle disposizioni contenute nel Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico della relativa Autorità di Bacino. A sud di via Masseria Curato e di via Stabiana scorre il Canale Bottaro, in destra idraulica, al di fuori della fascia fluviale.

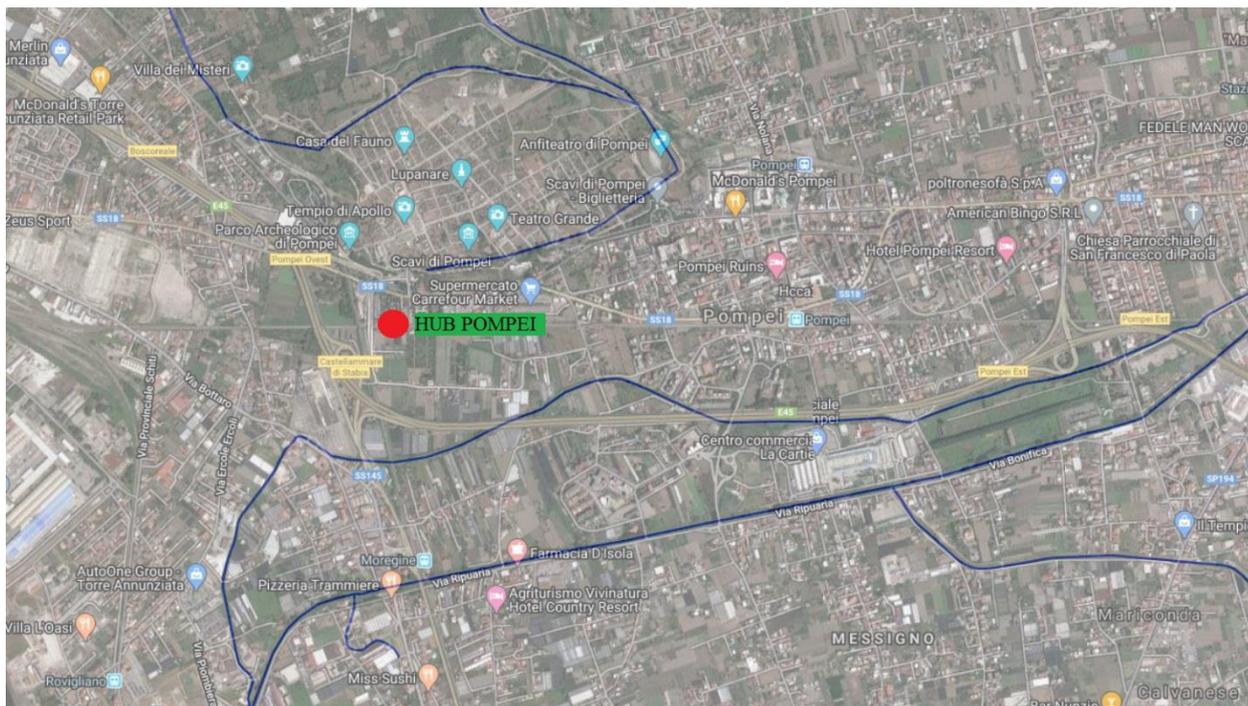


Figura 2 - Rete Idrografica

L'analisi idrologica ha come obiettivo la valutazione delle portate di piena e dei relativi volumi che, per prefissati tempi di ritorno, interessano il bacino idrografico e, di conseguenza, il territorio e tutti gli elementi vulnerabili in esso presenti.

Poiché il comune di Maddaloni rientra in un'area di zonizzazione del VA.PI. Campania, si è provveduto alla definizione della curva di probabilità pluviometrica utilizzando i risultati di sintesi del rapporto VA.PI. Campania.

In congruenza con le finalità dello studio, volto a definire un assetto idraulico dei luoghi di interesse adeguato allo stato di fatto, si deve fare riferimento ad eventi con tempi di ritorno di 25 anni, attraverso i quali si stabiliscono le condizioni di sicurezza idraulica stradale.

Il D.P.C.M. 29.09.1998, in materia di difesa del suolo, stabilisce che "Ove possibile è consigliabile che si traggano i valori di riferimento della portata al colmo di piena, con assegnato tempo di ritorno, dalle elaborazioni eseguite

dal Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale, oppure dai rapporti tecnici del progetto Va.Pi. messo a disposizione dal G.N.D.C.I.- C.N.R."

Il progetto VAPI sulla valutazione delle piene in Italia, portato avanti dalla Linea 1 del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche, si prefigge l'obiettivo di predisporre una procedura uniforme sull'intero territorio nazionale per la valutazione delle portate di piena naturali.

Scopo di tale rapporto è quello di fornire uno strumento ed una guida ai ricercatori ed ai tecnici operanti sul territorio, per comprendere i fenomeni coinvolti nella produzione delle portate di piena naturali e per effettuare previsioni sui valori futuri delle piene in una sezione di un bacino naturale con il minimo possibile di incertezza.

L'approccio più moderno per lo studio degli eventi estremi in idrologia viene condotto con un insieme di procedure atte a trasferire l'informazione idrologica e nota come "analisi regionale". Alla base di un modello di regionalizzazione vi è la preventiva individuazione del meccanismo fisico-stocastico che spiega la distribuzione della variabile idrologica di interesse nello spazio e nel dominio di frequenza statistica.

La scelta del tipo di modello richiede la conoscenza di alcuni aspetti fondamentali legati alla qualità dell'informazione disponibile ed alla precisione richiesta dai risultati. Pertanto, la struttura del modello richiede la costruzione del risolutore numerico e un'attenta identificazione dei parametri di taratura.

Numerosi studi sono stati condotti in Inghilterra, negli Stati Uniti ed in Italia su questi modelli a più parametri che sono noti in letteratura con gli acronimi GEV (Jenkinson,1955), Wakeby (Houghton 1978) e TCEV (Rossi e Versace,1982; Rossi et al. 1984). Questa ultima sigla deriva dall'espressione inglese Two Component Extreme Value, che rappresenta la distribuzione di probabilità corrispondente ad un certo evento estremo, sia che provenga dalla distribuzione statistica di eventi ordinari sia che provenga da quella degli eventi straordinari. A tal fine occorre sottolineare che la principale fonte di incertezza deriva proprio dagli eventi estremamente intensi che hanno caratteristiche di rarità in ogni sito e aleatorietà per quel che riguarda il sito ove potranno verificarsi nel futuro. Da ciò deriva il fatto che se in un punto eventi straordinari di un certo tipo non si siano verificati storicamente, non è garanzia di sicurezza sulla loro non occorrenza nel futuro.

La metodologia propria del progetto Va.Pi. effettua la regionalizzazione delle piogge su sei zone omogenee, in cui è stata suddivisa la Puglia, con formulazioni diverse per ognuna di esse.

Lo studio idrologico per il progetto di reblading è stato condotto rifacendosi alle procedure individuate dal Gruppo Nazionale Difesa della Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del Consiglio Nazionale delle Ricerche nell'ambito degli studi per:

- la “Valutazione delle Piene in Campania” (a cura di Rossi F. e Villani, 1994), nel seguito, denominato “**VA.PI. Campania**”.

L’identificazione dei parametri della distribuzione TCEV consente di costruire un modello regionale con struttura gerarchica, che utilizza tre differenti livelli di scala spaziale per la stima dei parametri del modello probabilistico utilizzato, in modo da ottimizzare l’informazione ricavabile dai dati disponibili e dal numero di stazioni della rete di misura.

La procedura adottata e i calcoli effettuati sono ampiamente descritti nei paragrafi successivi.

I valori derivati dall’applicazione delle due metodologie su descritte sono stati successivamente confrontati con i risultati ottenuti dall’applicazione di formule semplificate basate sulla stima, di carattere geomorfologico, dei tempi di concentrazione propri del bacino.

5.1 Analisi idrologica attraverso il modello VA.PI. Campania

Per la stima della legge di probabilità pluviometrica, che definisce appunto la variazione della media del massimo annuale dell’altezza di pioggia con la durata, il Rapporto VAPI Campania fa riferimento ad una legge a quattro parametri del tipo:

$$m[h(d)] = \frac{m[I_0] \cdot d}{\left(1 + \frac{d}{d_c}\right)^{C-D \cdot z}}$$

dove:

- $m[h(d)]$ rappresenta il valore dell’altezza di pioggia media espressa in mm in funzione della durata dell’evento;
- $m[I_0]$ rappresenta il limite dell’intensità di pioggia per d che tende a 0 il cui valore è costante per ogni area pluviometrica omogenea;
- d rappresenta la durata dell’evento espresso in ore;
- d_c C D sono dei parametri costanti per ogni area pluviometrica omogenea;
- z è l’altezza media del sito (nel caso in esame z è pari a circa 20 mslm).

Nel Rapporto VA.PI. Campania il territorio regionale è stato suddiviso in sei zone pluviometriche omogenee per ognuna della quale i parametri della suddetta legge sono costanti e sono stati determinati

attraverso una procedura di stima regionale utilizzando i dati di 44 stazioni pluviografiche con più di 10 anni di osservazioni, ed in particolare:

- i massimi annuali delle altezze di pioggia in intervalli di 1, 3, 6, 12 e 24 ore;
- le altezze di pioggia relative ad eventi di notevole intensità e breve durata, che il SIMN non certifica come massimi annuali.

Nell'immagine a seguire si riporta la suddivisione della Regione Campania in aree pluviometriche omogenee e l'individuazione dell'area d'intervento.



Figura 3 - Suddivisione del territorio in 6 aree pluviometriche omogenee, in blu è evidenziata l'area di intervento.

I valori dei parametri della legge di probabilità pluviometrica per ognuna delle 6 aree omogenee sono riportati nella tabella a seguire.

| Area omogenea | n. stazioni | m[lo] (mm/ora) | dc (ore) | C | D*10 ⁵ |
|---------------|-------------|----------------|----------|--------|-------------------|
| 1 | 14 | 77.08 | 0.3661 | 0.7995 | 3.6077 |
| 2 | 12 | 83.75 | 0.3312 | 0.7031 | 7.7381 |
| 3 | 5 | 116.7 | 0.0976 | 0.738 | 8.73 |
| 4 | 3 | 78.61 | 0.3846 | 0.81 | 24.87 |
| 5 | 6 | 231.8 | 0.0508 | 0.8351 | 10.8 |
| 6 | 4 | 87.87 | 0.2205 | 0.7265 | 8.8476 |

Tabella 1 - Parametri statistici delle leggi di probabilità pluviometriche regionali per ogni area pluviometrica omogenea

Il valore dell'altezza di pioggia in funzione del periodo di ritorno viene calcolato a partire dal valore dell'altezza di pioggia media moltiplicando quest'ultima per il fattore di crescita che dipende dal periodo di ritorno e dai parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle piogge in Campania.

Il legame tra il fattore di crescita e i parametri della distribuzione è dato dall'espressione:

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

I valori dei parametri della distribuzione validi per la Campania sono riportati nella tabella a seguire:

| PIOGGE | | | | |
|---------------------|--------------------|---------------------|------------------|----------------|
| Parametri regionali | | | | |
| Piogge | $\theta^* = 2.136$ | $\Lambda^* = 0.224$ | $\Lambda_1 = 41$ | $\eta = 4.688$ |

Tabella 2 - Parametri d'interesse (<http://www.idrologia.polito.it/gndci/rapporti/Napoli.htm>)

In funzione di questi parametri sono stati ricavati i seguenti valori del fattore di crescita:

| Tempo di ritorno (anni) | | | | | | |
|-------------------------|------|------|------|------|------|------|
| | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | 200 |
| Kt | 1.16 | 1.38 | 1.64 | 2.03 | 2.36 | 2.71 |

La valutazione della pioggia media sull'intero bacino (pioggia media areale) viene effettuata moltiplicando l'espressione della legge del valore medio per il coefficiente di riduzione areale dato dalla seguente espressione:

$$k_A(d) = 1 - (1 - \exp(-c_1 A)) \exp(-c_2 d^{c_3})$$

dove: A è l'area del bacino espressa in km², d la durata dell'evento espressa in ore, c₁ c₂ c₃ tre parametri che assumono i seguenti valori:

- c₁ = 0.0021
- c₂ = 0.53
- c₃ = 0.25

Si fa presente che il coefficiente di riduzione areale tende a 1 per valori di A sempre più piccoli. Infatti, per piccoli bacini, come l'area della stazione di progetto, tale coefficiente viene direttamente assunto pari ad 1.

Con riferimento al progetto (appartenente alla zona omogenea A1), si è assunto pari ad 1 il valore del coefficiente di riduzione areale.

Sulla base dei dati e delle informazioni sopra riportate, Zona di studio 1, altezza media del bacino +20.00 m s.l.m. ed i Fattori di Crescita associati ai tempi di ritorno pari a 5, 10, 20, 50, 100 e 200 anni, si sono elaborate le seguenti equazioni di possibilità pluviometrica:

$$\text{Tr} = 5 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 32.49t^{0.27}$$

$$\text{Tr} = 10 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 38.65t^{0.27}$$

$$\text{Tr} = 20 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 47.77t^{0.27}$$

$$\text{Tr} = 50 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 56.85t^{0.27}$$

$$\text{Tr} = 100 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 66.09t^{0.27}$$

$$\text{Tr} = 200 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 75.89t^{0.27}$$

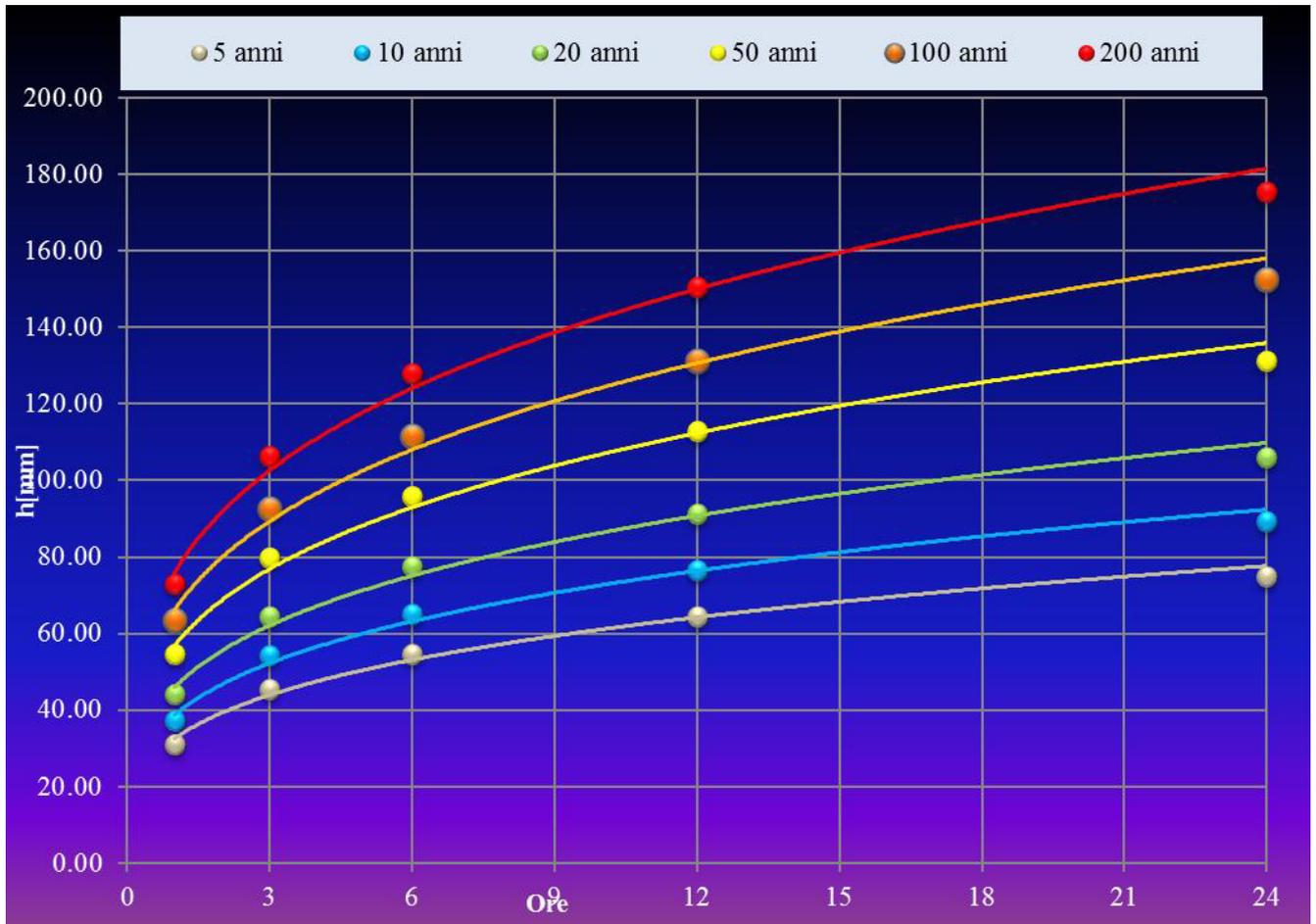


Figura 4 - Curve di possibilità pluviometrica piogge orarie VA.PI t>1h

5.2 Stima delle piogge di forte intensità e breve durata

È stato notato che i rapporti rt tra le altezze di durata t molto breve e l'altezza oraria sono relativamente poco dipendenti dalla località. Bell (1969), osservando che i valori medi di tali rapporti variano in misura modesta negli Stati Uniti e in Australia, riporta i parametri statistici indicati nella Tabella 3. Il campo di variabilità di rt negli Stati Uniti e nell'ex-Unione Sovietica è indicato nella Tabella 4.

| Parametro | t (minuti) | | | |
|---|--------------|------|------|------|
| | 5 | 15 | 30 | 120 |
| Stati Uniti | | | | |
| Media | 0,29 | 0,57 | 0,79 | 1,25 |
| Deviazione standard (appross.) | 0,03 | 0,04 | 0,04 | 0,08 |
| Australia | | | | |
| <i>Tempo di ritorno 2 anni (media)</i> | 0,30 | 0,57 | 0,77 | 1,24 |
| <i>Tempo di ritorno 10 anni (media)</i> | 0,31 | 0,58 | 0,78 | 1,25 |
| <i>Tempo di ritorno 25 anni (media)</i> | 0,30 | 0,58 | 0,79 | 1,23 |
| Media | 0,30 | 0,57 | 0,78 | 1,24 |
| Deviazione standard | 0,04 | 0,04 | 0,03 | 0,06 |

Tabella 3 - Rapporti rt tra i massimi annuali delle altezze di pioggia di diversa durata e la corrispondente altezza oraria negli Stati Uniti e in Australia (Bell, 1969)

| Parametro | t (minuti) | | | |
|------------------|--------------|------|------|------|
| | 5 | 15 | 30 | 120 |
| Stati Uniti | | | | |
| Valore superiore | 0,32 | 0,61 | 0,83 | 1,31 |
| Valore inferiore | 0,26 | 0,53 | 0,75 | 1,17 |
| Unione Sovietica | | | | |
| Valore superiore | 0,32 | 0,61 | 0,83 | 1,31 |
| Valore inferiore | 0,26 | 0,53 | 0,75 | 1,17 |

Tabella 4 - Intervalli di variazione dei rapporti rt tra i massimi annuali delle altezze di pioggia di diversa durata e la corrispondente altezza oraria negli Stati Uniti e nell'ex-Unione Sovietica (Bell, 1969)

Per brevi durate (meno di 2 ore) i rapporti appaiono più stabili che per durate maggiori (Bell, 1969, Goswami, 1973). Gli stessi rapporti per la curva inviluppo delle massime piogge osservate nel mondo, di equazione:

$$h_t = 390 \cdot t^{0.50}$$

con t in ore, sono (Jennings, 1950, Hershfield ed Engman, 1981):

| | | | | | | | | |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <i>t (minuti)</i> | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 45 | 120 | 240 |
| $r_t = h_t/h_1$ | 0,29 | 0,41 | 0,50 | 0,58 | 0,71 | 0,87 | 1,41 | 2,00 |

Al pluviometro registratore di Roma Macao su un campione di 8 anni sono stati calcolati i seguenti rapporti dei valori medi delle massime altezze di pioggia annue di diversa durata rispetto al valor medio della massima altezza oraria dell'anno (Domanico, 1986; Calenda e altri, 1993):

| | | | | | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <i>t (minuti)</i> | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
| $r_{t,m} = h_{t,m}/h_{1,m}$ | 0,278 | 0,435 | 0,537 | 0,632 | 0,709 | 0,758 |

Al pluviografo di Milano Monviso, su un campione di 17 anni (Piga e altri, 1990) sono stati calcolati i seguenti rapporti tra i valori medi delle massime altezze di pioggia annue di diversa durata h_t e il valor medio della massima altezza annua oraria h_1 , nonché i corrispondenti rapporti dei valori massimi:

| | | | | | | | | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <i>t (minuti)</i> | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 10 | 15 | 30 | 45 |
| $r_t = h_t/h_1$ | 0,130 | 0,180 | 0,229 | 0,272 | 0,322 | 0,489 | 0,601 | 0,811 | 0,913 |
| $r_{t,m} = h_{t,m}/h_{1,m}$ | 0,155 | 0,178 | 0,215 | 0,241 | 0,304 | 0,449 | 0,568 | 0,700 | 0,799 |

Infine, facendo riferimento allo studio V. Ferro e V. Bagarello, Rainfall “Depth – Duration Relationship for South Italy” che per la Regione Puglia individua la seguente relazione tra i valori medi regionali annui h_t e l'altezza massima oraria h_{60}

$$\frac{h_t}{h_{60}} = (t/60)^s$$

dove s, per il caso in esame è pari a 0.50.

Applicando i coefficienti di riduzione ricavabili dalle elaborazioni condotte da Ferro e Bagarelli e riformulando le analisi statistiche come eseguito per le piogge orarie si ottiene la relazione che lega l'altezza di pioggia con la durata per eventi meteorici di notevole intensità e breve durata con i tempi di ritorno oggetto di studio.

$$Tr = 5 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 31.23t^{0.50}$$

$$Tr = 10 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 37.15t^{0.50}$$

$$Tr = 20 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 45.93t^{0.50}$$

$$Tr = 50 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 54.66t^{0.50}$$

$$Tr = 100 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 63.54t^{0.50}$$

$$Tr = 200 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 72.96t^{0.50}$$

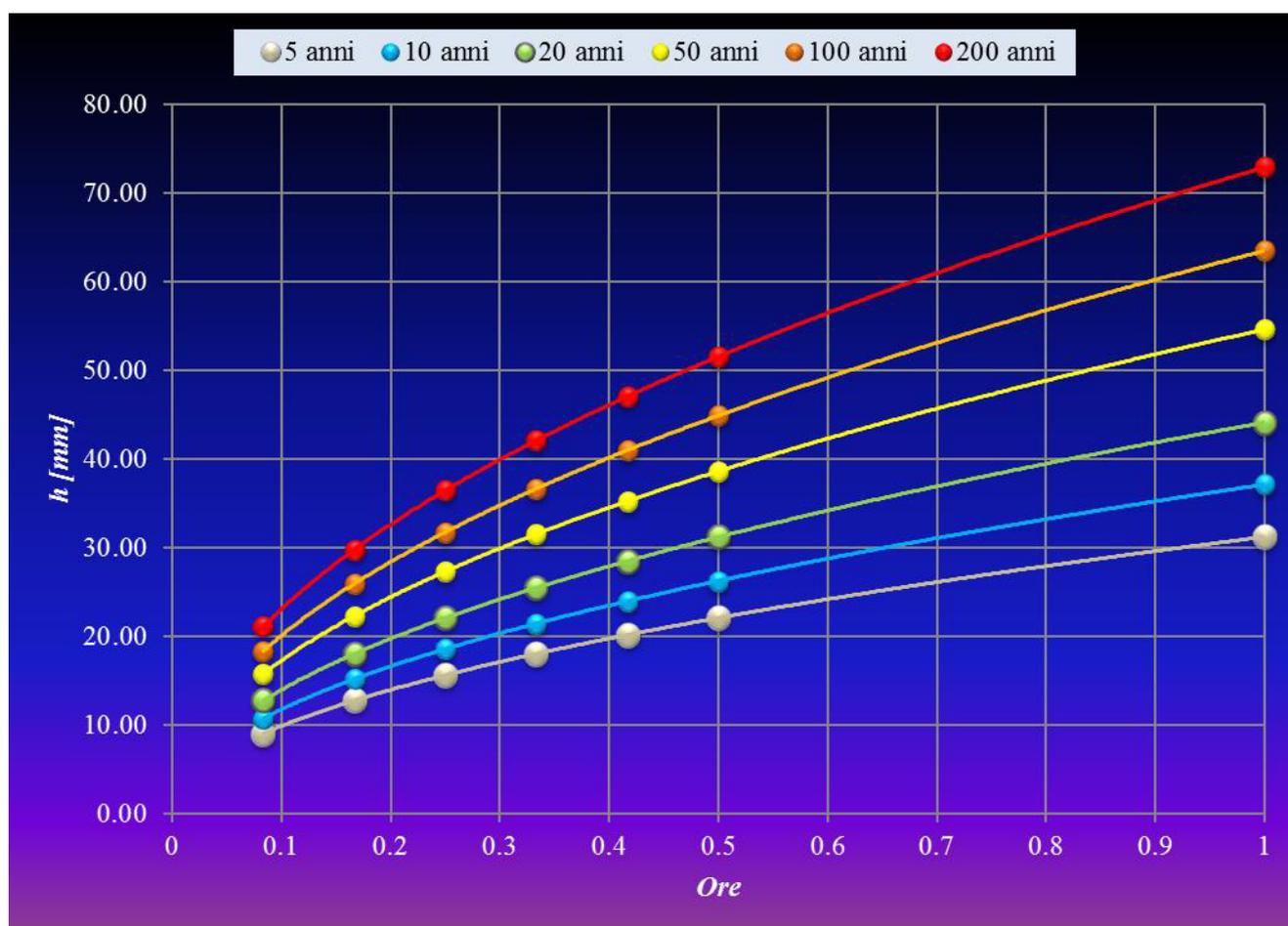


Figura 5 - Curve di possibilità pluviometrica piogge orarie $t < 1h$

5.3 Stima dei coefficienti di deflusso

Per poter determinare la portata transitante lungo la nuova piattaforma viaria si devono stimare i coefficienti di deflussi, cioè l'uso del suolo lungo tutta l'area di intervento.

Nel caso in esame la stima di tali parametri è stata mediante l'utilizzo della mappatura del Corine Land Cover 2012 IV livello e ricavando il corrispettivo coefficiente di deflusso in funzione del Curve Number.

Il CN (Curve Number) è un parametro sintetico che esprime l'attitudine di una porzione di territorio a produrre deflusso diretto (superficiale) proposto dal Soil Conservation Service (USDA) nel 1972.

Tale modello è concentrato nello spazio e nel tempo e si basa sulla semplificazione concettuale del processo idrologico. La sua formulazione deriva dall'equazione di bilancio fra i valori cumulati nel tempo dei principali termini dell'afflusso e quelli del deflusso. Si ipotizza che durante l'intero evento preso in considerazione resti invariata la seguente relazione di proporzionalità tra le perdite per infiltrazione e il deflusso superficiale:

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{P - I_a}$$

Dove

- F = perdite effettive generate durante l'evento [mm];
- S = massima capacità di ritenzione idrica del suolo [mm];
- Q = pioggia netta cumulata [mm],
- P = pioggia lorda cumulata [mm];
- I_a = perdite iniziali dovute all'intercettazione, all'infiltrazione e alla saturazione delle depressioni superficiali [mm].

Lo sviluppo successivo richiede la stima della portata massima adottando come forzante del bacino una pioggia netta desunta dal metodo del Curve Number introdotto dal Soil Conservation Service (SCS). Il volume specifico di pioggia netta P_e , dall'inizio dell'evento meteorico fino all'istante generico t è legato al volume specifico di pioggia lorda P , caduta nel medesimo intervallo temporale, dalla relazione:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

Nella quale S è il massimo volume specifico di acqua che il terreno può trattenere in condizioni di saturazione ed I_a è la cosiddetta perdita iniziale. Questa relazione è valida soltanto per:

$$P \geq I_a$$

mentre nel caso in cui l'altezza di pioggia risulti minore di I_a si ha $P_e = 0$.

I parametri S ed I_a possono essere determinati attraverso operazioni di taratura del modello, ma in maniera semplificata si adotta $I_a = 0,2S$ verificata con buona approssimazione.

La valutazione di S può invece essere ricondotta a quella dell'indice CN, tramite:

$$S = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

Con S espresso in millimetri.

L'indice CN, numero adimensionale compreso tra 0 e 100, è una funzione della natura del suolo, del tipo di copertura vegetale e delle condizioni di umidità del suolo antecedenti la precipitazione. Nella fattispecie esistono quattro gruppi che distinguono le tipologie di terreno sulla base delle capacità di assorbimento del terreno nudo a seguito di prolungato adacquamento: a ciascuno di essi corrisponde un determinato valore di CN. Per quanto riguarda l'influenza dello stato di imbibimento del suolo all'inizio dell'evento meteorico, il metodo individua tre classi caratterizzate da differenti condizioni iniziali (AMC).

La stima del CN è stata eseguita utilizzando i dati del Corine Land Cover 2012 IV livello e ricavando il corrispettivo Curve Number, tale tabella ci fornisce il CN(II) che a sua volta è stato utilizzato per stimare il CN(III) mediante la seguente formulazione:

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0.13CN(II)}$$

L'opera in progetto si trova all'interno del valore CLC pari a 242 e 111, come si evince dalla figura sottostante:

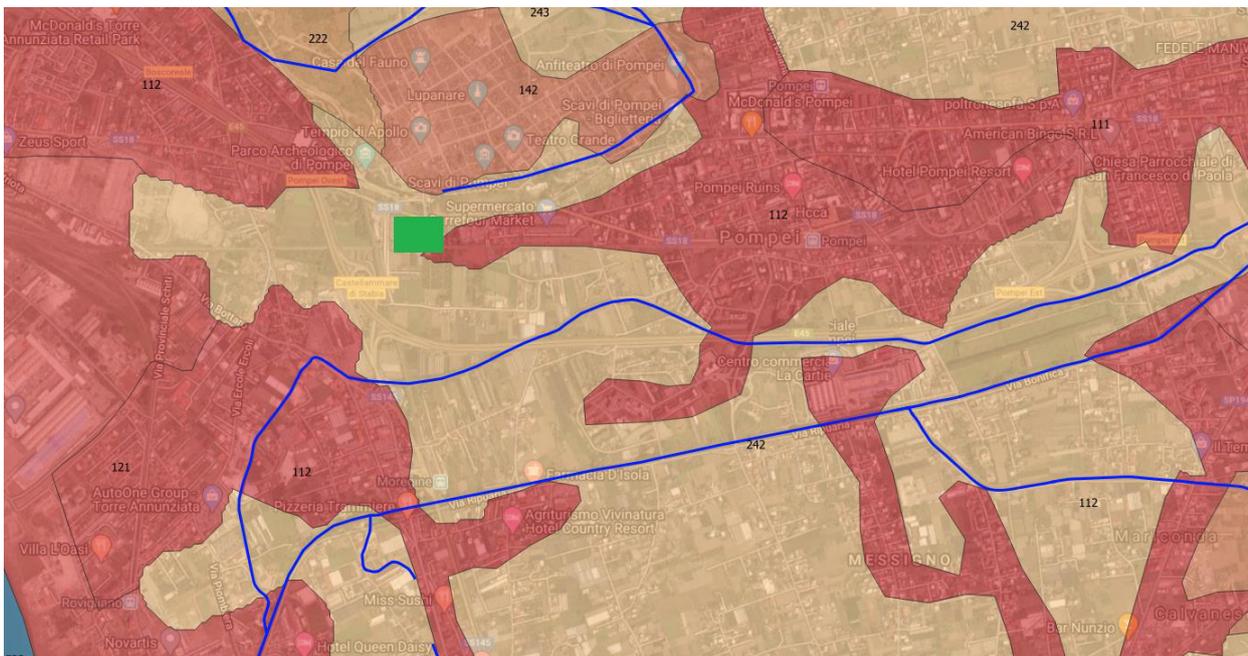


Figura 6 – CLC

Il progetto in esame interessa aree classificate come agricole, ma l'PHUB prevede la realizzazione di opere impermeabili quali nuove viabilità e nuove pensiline. All'interno del progetto sono presenti, però, aree a verde quali i nuovi giardini e gli stalli permeabili del parcheggio annesso. La stima dei coefficienti di deflusso hanno tenuto conto di tali opere.

| | | | |
|---------|-------|------|---------------------|
| CLC | 242 | ---- | CLC Number |
| Gruppo | B | ---- | tipo di suolo |
| CN(II) | 73 | ---- | Curve number AMCII |
| CN(III) | 86.15 | ---- | Curve number AMCIII |

Tabella 5 - CLC per aree non totalmente impermeabili

| | | | |
|---------|-------|------|---------------------|
| CLC | 111 | ---- | CLC Number |
| Gruppo | B | ---- | tipo di suolo |
| CN(II) | 98 | ---- | Curve number AMCII |
| CN(III) | 99.12 | ---- | Curve number AMCIII |

Tabella 6 - CLC per aree impermeabili

Applicando la seguente relazione si è ricavato il coefficiente di deflusso ϕ dal CN(III):

$$\phi = \frac{1 - 0.2k^2}{1 + 0.8k}$$

Dove k è ricavabile dalla seguente espressione:

$$k = \frac{S}{h}$$

La valutazione di S può invece essere ricondotta a quella dell'indice CN, tramite:

$$S = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

con S espresso in millimetri.

Nel caso specifico si hanno i seguenti valori del coefficiente di deflusso ϕ :

- 0.90 per aree impermeabili (CN(III)=99.12);
- 0.40 per aree permeabili (CN(III)=86.15).

5.4 Valutazione del fattore probabilistico di crescita delle portate

Alla stregua di quanto già condotto in merito alle precipitazioni, è necessario al fine di valutare le portate di piena al variare del tempo di ritorno, stimare il valore assunto dal fattore probabilistico al variare dei parametri individuati nella stima dei livelli di regionalizzazione. L'analisi regionale delle portate conduce all'individuazione di un'unica zona omogenea, essa è caratterizzata dai seguenti valori dei parametri della TCEV:

PORTATE

Parametri

| | | | | |
|---------|--------------------|---------------------|------------------|----------------|
| Portate | $\theta^* = 2.634$ | $\Lambda^* = 0.350$ | $\Lambda 1 = 13$ | $\eta = 3.901$ |
|---------|--------------------|---------------------|------------------|----------------|

Tabella 7 - Parametri d'interesse (<http://www.idrologia.polito.it/gndci/rapporti/Napoli.htm>)

6 CONSIDERAZIONE SUI CAMBIAMENTI CLIMATICI

La conoscenza delle variazioni climatiche sul territorio italiano, in corso e previste, è il presupposto fondamentale per la valutazione degli impatti e della strategia di adattamento ai cambiamenti climatici. Mentre la conoscenza del clima presente e passato e delle variazioni in corso si fonda sulla osservazione delle variabili climatiche e sull'applicazione di metodi e modelli statistici di riconoscimento e stima delle tendenze in corso, la conoscenza del clima futuro si basa sulle proiezioni dei modelli climatici.

Secondo la definizione della World Meteorological Organization (WMO), le proiezioni climatiche forniscono la probabilità con cui determinate variazioni del clima possono verificarsi nei prossimi decenni, in relazione a diverse possibili evoluzioni dello sviluppo socio-economico globale. Tali condizioni (scenari) comportano, in particolare, diversi andamenti delle emissioni di gas climalteranti in atmosfera. A tale proposito, l'Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC) ha recentemente ridefinito gli scenari futuri a scala globale (Representative Concentration Pathways – RCP), allo scopo di fornire informazioni sulla probabile evoluzione delle diverse componenti della forzante radiativa (emissioni di gas serra, inquinanti e uso del suolo), da utilizzare come input per i modelli climatici. Gli scenari RCP sostituiscono i precedenti scenari pubblicati dall'IPCC nello Special Report on Emission Scenarios (SRES). I quattro nuovi RCP includono uno scenario di mitigazione, che stima un valore molto basso della forzante radiativa al 2100 (2.6 W/m² - RCP2.6), due scenari intermedi (4.5 W/m² - RCP4.5 e 6 W/m² - RCP6) e uno scenario caratterizzato da un'elevata emissione e da un elevato valore della forzante radiativa (8.5 W/m² - RCP8.5).

Proprio l'IPCC ha introdotto una definizione più specifica del termine “proiezione climatica”, riferendola alla stima delle variazioni del clima futuro che viene fornita dai modelli climatici. Questi ultimi possono essere classificati in due categorie, globali e regionali, che contraddistinguono la diversa scala spaziale delle simulazioni del clima futuro. I modelli regionali (“Regional Climate Models”, RCM) rispondono alla necessità di fornire una migliore rappresentazione dei fenomeni a scala locale. Tali modelli, innestandosi su un modello globale da cui vengono acquisite le condizioni iniziali e al contorno, producono le proiezioni climatiche su una specifica area di interesse, ad una risoluzione più elevata (fino a una massima risoluzione orizzontale di 10-50 km).

Recentemente l'ISPRA (rif. “Il clima futuro in Italia: analisi delle proiezioni dei modelli regionali”, 2015) ha condotto l'analisi e il confronto tra le proiezioni climatiche in Italia più aggiornate prodotte da diversi modelli.

Dall'insieme degli output dei modelli climatici disponibili, sono state estratte e analizzate le proiezioni di precipitazione cumulata annuale fino al 2100 di quattro modelli, negli scenari di emissione RCP4.5 e RCP8.5. Nello specifico, sono stati selezionati i dati che ricoprono l'intero territorio nazionale e per tre orizzonti temporali, rappresentati da periodi di 30 anni (2021-2050, 2041-2060 e 2061-2090), sono stati calcolati sia i valori medi che gli indici rappresentativi degli estremi di precipitazione.

Nelle figure seguenti, si riportano le mappe delle variazioni della precipitazione massima giornaliera (in 24 ore) previste da quattro modelli climatici (ALADIN, GUF, CMCC, LMD) con riferimento ai tre orizzonti temporali considerati: 2021-2050; 2041-2070; 2061-2090, per i due scenari RCP4.5 e RCP8.5.

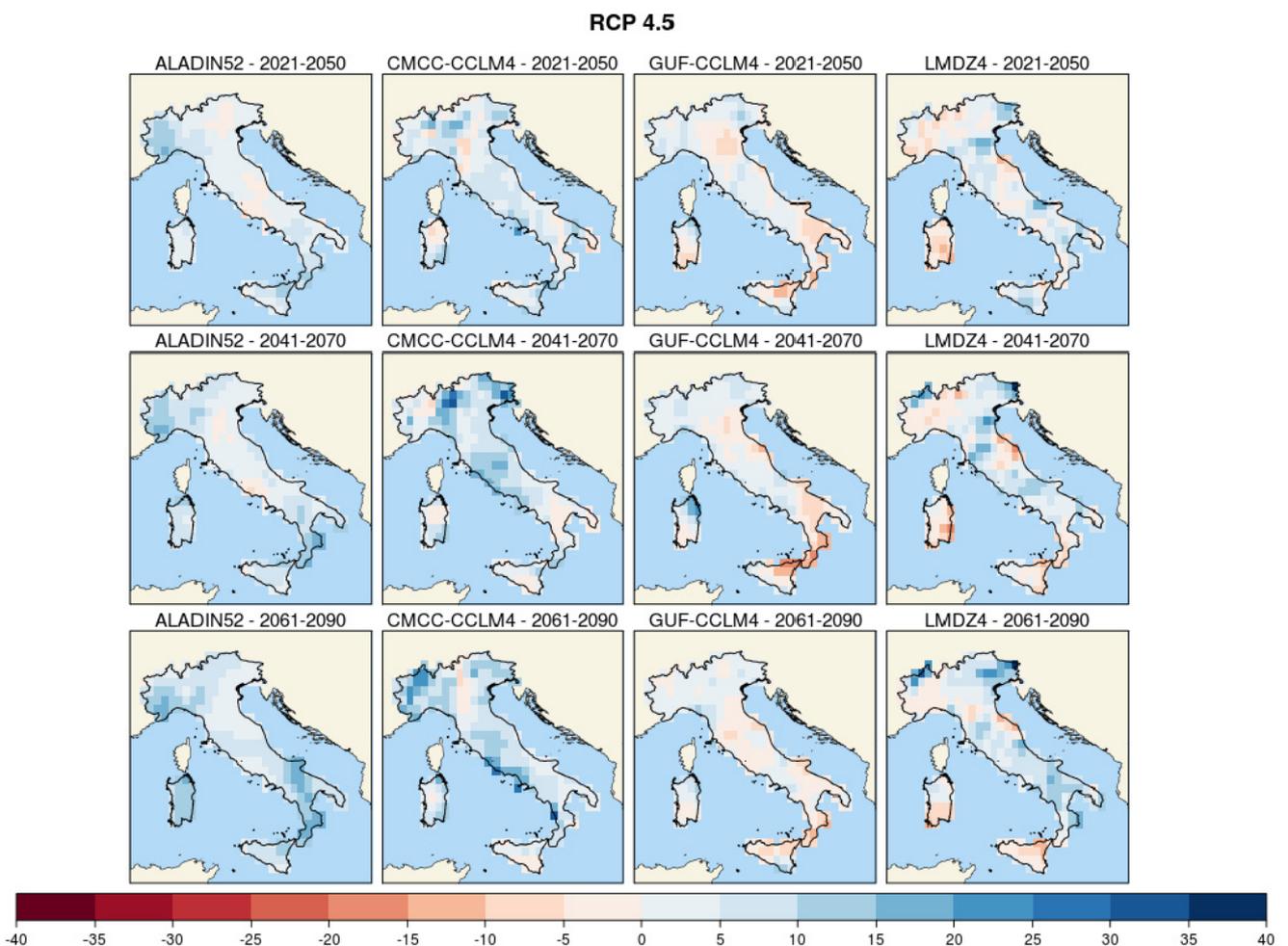


Figura 7 - Precipitazione massima giornaliera (mm), scenario RCP4.5 Mappe delle variazioni previste dai modelli climatici per i tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga).

In entrambi gli scenari, due modelli climatici indicano un aumento delle precipitazioni massime giornaliere su quasi tutto il territorio nazionale, di entità generalmente modesta (inferiore a 10 mm) e punte superiori a 20 mm in alcune zone.

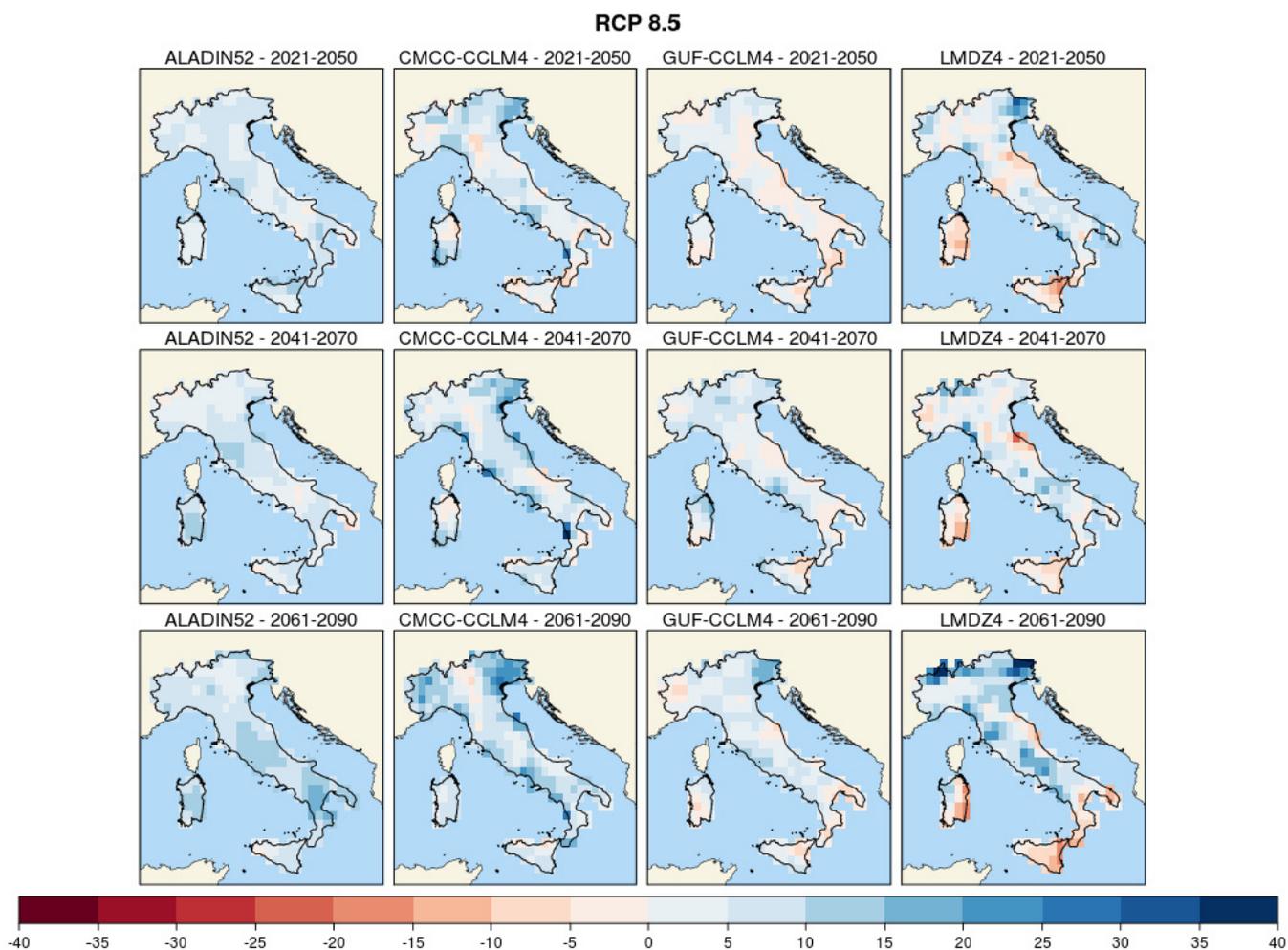


Figura 8 - Precipitazione massima giornaliera (mm), scenario RCP8.5. Mappe delle variazioni previste dai modelli climatici per i tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga).

Nella tabella seguente si riportano le variazioni di precipitazione massima giornaliera (h24) (rispetto al valore nel periodo climatologico di riferimento 1971-2000), previste nell'area di intervento, per i tre orizzonti temporali: 2021-2050; 2041-2070; 2061-2090, con riferimento ai due scenari RCP4.5 e RCP8.5, dedotte dalle mappe sopra descritte.

| Periodo | Variazione max h_{24} (RCP4.5) | Variazione max h_{24} (RCP8.5) |
|-----------|----------------------------------|----------------------------------|
| 2021-2050 | +5-10 mm (LMDZ4) | +10-15 mm (ALADIN52) |
| 2041-2070 | +0-5 mm (ALADIN52) | +5-10 mm (ALADIN52) |
| 2061-2090 | +15-20 mm (ALADIN52) | +20-25 mm (ALADIN52) |

Tabella 8 - Variazioni di precipitazione massima giornaliera previste nell'area di intervento (ISPRA, 2015).

Con riferimento allo studio idrologico annesso, per l'area di intervento nel presente progetto, la variazione massima prevista ammonta a +5-15 mm nel trentennio 2061-2090, corrisponderebbe ad un incremento della precipitazione massima giornaliera che non pregiudica le analisi effettuate con i modelli classici.

7 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Per poter dimensionare le opere idrauliche inerenti al progetto definitivo del "HUB DI POMPEI", è stato svolto lo studio idrologico dell'area in esame per poter definire le portate che dovranno transitare su di esse (opere di drenaggio).

In primo luogo, si è provveduto al calcolo del regime pluviometrico mediante l'utilizzo riportato nella metodologia VA.PI. Campania.

Individuate i parametri delle LSPP si sono ricavate le curve di possibilità pluviometrica al variare del tempo di ritorno sia in condizioni di piogge con durata superiore all'ora e sia le piogge di grande intensità e breve durata.

Lo step successivo è stato schematizzare il terreno dell'area oggetto di studio. In questo caso si è ricavato il coefficiente di deflusso dal valore del Curve Number individuando i differenti usi del suolo. Si sono individuati i parametri di amplificazione delle portate così come previsto dalla metodologia VA.PI. Campania ed infine sono stati presi in considerazione anche dei modelli che analizzano lo scenario dei cambiamenti climatici nei prossimi 70 anni.