

ANAS S.p.A.

DIREZIONE CENTRALE PROGRAMMAZIONE PROGETTAZIONE

PA 12/09

CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO - NORD EUROPA

ITINERARIO AGRIGENTO - CALTANISSETTA - A19

S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE"

AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001

Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19

PROGETTO ESECUTIVO

Contraente Generale:



IDROLOGIA E IDRAULICA

PARTE GENERALE

Relazione Idrologica

Codice Unico Progetto (CUP) : F91B09000070001

Codice Elaborato:

PA12_09 - E 0 0 0 G E 2 1 0 I I 0 1 H R I 0 0 1 A

Scala:

-

F																			
E																			
D																			
C																			
B																			
A	Aprile 2011	EMISSIONE				A. SALVAGO	A. TURSO	M. LITI	P. PAGLINI										
REV.	DATA	DESCRIZIONE				REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	AUTORIZZATO										
Responsabile del procedimento:		Ing. MAURIZIO ARAMINI																	

Il Progettista:



Il Consulente Specialista:



Il Coordinatore per la sicurezza in fase di progetto:



Il Direttore dei lavori:



SOMMARIO

1. <i>PREMESSA</i>	2
2. <i>INQUADRAMENTO E PIANIFICAZIONE ASSETTO IDROGEOLOGICO DEL TERRITORIO</i>	3
2.1. <i>PIANO STRALCIO DI BACINO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (P.A.I.)</i>	4
2.2. <i>CARATTERISTICHE DEL BACINO IDROGRAFICO</i>	5
2.2.1. <i>Generalità</i>	5
2.2.2. <i>Caratteristiche fisiche</i>	6
3. <i>DEFINIZIONE DELLE CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA CON METODOLOGIA VAPI</i>	8
3.1. <i>CURVA DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA - MODELLO PROBABILISTICO SU BASE REGIONALE TCEV</i>	9
3.1.1. <i>Curva di crescita</i>	9
3.1.2. <i>Media teorica</i>	11
3.1.3. <i>Elaborazioni delle Curve di Possibilità Pluviometrica</i>	11
4. <i>VALIDAZIONE DEI RISULTATI</i>	18
4.1. <i>LA METODOLOGIA DEL PAI</i>	18
4.2. <i>CONFRONTO DEI RISULTATI</i>	25
5. <i>CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA DELLE PIOGGE DI DURATA ORARIA</i>	28
6. <i>CONCLUSIONI</i>	29

1. PREMESSA

Lo studio idrologico oggetto della presente relazione, è finalizzato all'analisi ed alla definizione delle curve di possibilità pluviometrica necessarie alla successiva verifica idraulica delle opere in progetto lungo il tracciato della SS 640 interessata dai Lavori di ammodernamento e adeguamento Cat. B DM 5/11/2001 dal Km 44+00 allo svincolo con l'A19.

In particolare l'obiettivo del presente studio è quello di fornire gli elementi idrologici necessari per il mantenimento della continuità della rete di drenaggio naturale sul territorio e il dimensionamento di tutti i manufatti dell'asse stradale in progetto.

In generale l'obiettivo ultimo è quello di stimare la massima portata relativa alla sezione fissata del corso d'acqua in esame e la probabilità associata che tale portata venga raggiunta o superata.

L'approccio utilizzato per portare a termine questo studio è dunque di tipo probabilistico. Ma poiché, in genere, per un corso d'acqua manca un campione rappresentativo di osservazioni di portate (o di altezze idrometriche), si è scelto di utilizzare un approccio probabilistico indiretto. Tale approccio consiste nello stimare la portata di piena di progetto attraverso un'analisi probabilistica preliminare delle precipitazioni nel bacino interessato e la simulazione successiva del processo della loro trasformazione in deflussi.

Lo studio è stato effettuato per i valori del tempo di ritorno di 25, 50, 100, 200 e 500 anni, assumendo che la portata abbia il medesimo tempo di ritorno della pioggia che l'ha generata (linearità della trasformazione); è possibile così valutare le portate per i medesimi tempi di ritorno.

Lo studio si compone di una prima parte incentrata sull'inquadramento dell'assetto idrogeologico del territorio interessato dalle opere, una seconda parte che ripercorre e rielabora quanto già espresso nell'analisi idrologica del progetto definitivo ed una parte finale contenente la validazione dei risultati ottenuti mediante rielaborazione e confronto dei risultati derivanti dall'applicazione della metodologia suggerita dal PAI.

Nell'ultima parte della presente verranno esplicitate le conclusioni e definite le curve di possibilità pluviometrica al variare del tempo di ritorno e del tempo di pioggia, anche sulla base dell'analisi critica delle elaborazioni condotte, da utilizzare nelle successive verifiche idrauliche.

2. INQUADRAMENTO E PIANIFICAZIONE ASSETTO IDROGEOLOGICO DEL TERRITORIO

In attuazione delle disposizioni emanate dallo Stato con le leggi n. 267/98 e n. 226/99, la Regione Siciliana con Decreto dell'Assessorato Territorio ed Ambiente n°298/41 del 4 luglio 2000 si è dotata del "Piano straordinario per l'assetto idrogeologico".

Tale documento costituisce uno strumento di governo del territorio finalizzato alla tutela del rischio idrogeologico per l'eliminazione del rischio frana e del rischio di esondazioni ed alluvione in aree potenzialmente vulnerabili. Con il Piano straordinario viene operata una prima individuazione di aree a rischio molto elevato o elevato che consente, per tali aree, di adottare gli opportuni accorgimenti di prevenzione e di mitigazione. Nelle "Carte del rischio idrogeologico" in scala 1:50.000 sono individuate le aree a rischio idrogeologico "molto elevato" o "elevato" secondo la seguente classificazione:

- Aree franose a rischio "molto elevato";
- Aree franose a rischio "elevato";
- Aree potenzialmente soggette a fenomeni di esondazione a rischio "molto elevato";
- Aree potenzialmente soggette a fenomeni di esondazione a rischio "elevato".

Al tempo stesso, con il Piano straordinario, sempre in relazione a quanto disposto dalla legge n. 226/99, si è dato l'avvio dell'elaborazione del Piano di rischio idrogeologico stralcio del "Piano di bacino", previsto dalla legge n. 183/89.

Dopo aver realizzato il Piano Straordinario per l'Assetto Idrogeologico ed avere successivamente aggiornato i contenuti, nel 2003 l'Assessorato Regionale Territorio e Ambiente – Dipartimento Territorio e Ambiente, ha avviato l'elaborazione del Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) adottato nell'anno 2004.

2.1. PIANO STRALCIO DI BACINO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (P.A.I.)

Il P.A.I. rappresenta il primo vero strumento pianificatorio di settore, nelle more che la Regione si doti dei Piani di Bacino, che consentirà il concreto dispiegarsi delle azioni e degli interventi volti al eliminare o mitigare il rischio idrogeologico in relazione alle maggiori criticità individuate.

Il P.A.I. oltre a definire le aree a differente livello di rischio, individua gli interventi volti alla messa in sicurezza degli elementi (centri urbani, grandi infrastrutture, edifici strategici, aree di rilevante valore ambientale, archeologico, storico-artistico, ecc.) e per la salvaguardia della incolumità delle persone.

Nell'attuale quadro della pianificazione regionale è uno dei principali strumenti di tipo conoscitivo e normativo che ha valore di piano territoriale di settore (art. 17 della L. 183/1989) di cui tutti gli altri piani di livello regionale e subregionale dovranno tenere adeguatamente conto, in particolare nella redazione degli strumenti urbanistici a cui comunque andranno conformati.

Nel Piano Straordinario per l'assetto idrogeologico, approvato con D.A. n. 298/41 del 4/7/00, erano stati individuati nel territorio siciliano n. 57 bacini idrografici principali.

Nell'Aggiornamento del Piano Straordinario, approvato con D.A. n. 543 del 22/7/02, erano state individuate le aree territoriali intermedie ai sopraelencati bacini idrografici principali.

Nel P.A.I. vengono elencati i bacini idrografici di tutti i corsi d'acqua aventi sbocco a mare e le aree comprese tra una foce e l'altra, raggruppandoli, dal punto di vista geografico, nei tre versanti siciliani: settentrionale, meridionale ed orientale.

Nella Tabella 3.7 dei Bacini idrografici ed aree del versante meridionale del PAI, ricade il bacino del Fiume Imera Meridionale o Salso, che risulta di interesse per i nostri studi.

Considerata la vastità territoriale della Regione e in conformità a quanto stabilito dall'art. 17, comma 6 ter, della L. 183/89 che ha previsto la facoltà di redigere il Piano di bacino per stralci che possono riguardare sottobacini o settori funzionali, l'Assessore al

Territorio e Ambiente ha individuato, con D.A. n. 176/S9 del 4/4/02, ai sensi e per gli effetti dell'art. 130 della Legge regionale 3 maggio 2001 n° 6, i bacini idrografici prioritari dai quali iniziare il progetto di Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico.

2.2. CARATTERISTICHE DEL BACINO IDROGRAFICO

2.2.1. Generalità

Bacino idrografico : FIUME IMERA MERIDIONALE o SALSO

Versante: Meridionale

Province: Agrigento, Caltanissetta, Enna, Palermo

Comuni ricadenti nel bacino: Alimena, Barrafranca, Blufi, Bompietro, Calascibetta, Caltanissetta, Campobello di Licata, Castellana, Delia, Enna, Gangi, Licata, Petralia Soprana, Petralia Sottana, Pietraperzia, Resuttano, Riesi, San Cataldo, Sommatino, Villarosa.

Compartimento idrografico: Palermo

Bacino idrografico principale: Fiume Imera Meridionale

Recapito del corso d'acqua: Mare Mediterraneo

Superficie totale del bacino imbrifero (Kmq): 2.002,5

Affluenti: Salso, T. Braemi, Rio Segnaferi, T. S. Cataldo, V.ne dell'Acqua Nuova, F. Morello, F. Gibbesi, F. Vaccarizzo, V.ne Cicuta, V.ne Valentino, F. Torcicoda, T. Mendola, V.ne Arinella, T. Carusa, T. Fucile, F. di Furiana, T. Alberi S. Giorgio, T. Lannari, T. Ficuzza

Serbatoi ricadenti nel bacino: Villarosa, Olivo e Gibbesi

Altitudine minima (m.s.m.): 0

Altitudine massima (m.s.m.): 1.912

Altitudine media (m.s.m.): 498

Lunghezza dell'asta principale (Km). 132

Utilizzazione prevalente del suolo: Seminativo 71%

Colture arboree 20%

2.2.2. Caratteristiche fisiche

Il bacino del F. Imera Meridionale ricade nel versante meridionale della Sicilia e si estende per una superficie di circa 2000 Km². Il bacino ha uno sviluppo preferenziale in senso nord-sud dalle Madonie al Mar Mediterraneo; per estensione può essere considerato il secondo tra i bacini dell'isola, dopo quello del F. Simeto. Esso si inserisce tra il bacino idrografico del F. Platani ad ovest e quello del F. Simeto ad est e interessa il territorio delle provincie di Agrigento, Caltanissetta, Enna e Palermo.

I caratteri morfologici del bacino sono assai vari: esso comprende infatti il gruppo montuoso delle Madonie a nord mentre, nella zona centro-meridionale, è caratterizzato da gobbe e dossi che si susseguono senza una disposizione preferenziale. Una caratteristica del bacino è rappresentata dagli affioramenti della serie gessoso-solfifera che ricoprono una parte notevole del territorio. Le colture prevalenti del bacino sono di tipo erbaceo (seminativo); le altitudini media e massima sono rispettivamente di 498 e 1912 m.s.m. Il Fiume Imera Meridionale si sviluppa per circa 132 Km e riceve da oriente nel settore settentrionale del bacino, il F. Salso (da non confondere con l'omonimo affluente del F. Simeto o con lo stesso Imera Meridionale). Il F. Salso nasce alle pendici di Pizzo di Corvo con il nome di V.ne Acqua Amara e lungo il suo sviluppo di circa 28 Km, riceve le acque di un solo affluente di una certa importanza, ossia il F. Gangi.

Il F. Imera Meridionale denominato all'origine T. Mandarinini e poi F. Petralia, riceve i maggiori contributi in destra, dagli affluenti T. Alberi S. Giorgio e F. Vaccarizzo, alimentato a sua volta dal T. della Cava. Dalla località Ponte Cinque Archi al Ponte di Capodarso, i contributi provengono da un insieme di 11 piccoli valloni che drenano sottobacini di limitata estensione, il maggiore dei quali è il Vallone Arenella che si innesta in destra idrografica, presso la stazione ferroviaria di Imera. Nel tratto di fiume compreso tra il Ponte di Capodarso e il ponte Besaro, pervengono i deflussi di alcuni importanti corsi d'acqua, il maggiore dei quali è il F. Morello. Questo confluisce nella asta principale in sinistra idrografica, poco a valle del Ponte di Capodarso; a breve distanza, e sempre in sinistra, si ha la confluenza di un altro affluente importante, denominato F. Torcicoda e, più a monte, Vallone Cateratta. Tra Ponte Besaro e località Drasi l'asta principale, che si presenta con ampie curvature e meandri, riceve le acque di un numero elevato di affluenti, tra i quali il T. Braemi, il T. Carusa, il F. di Furiana e il F. Gibbesi. A valle della località Drasi e fino alla foce del Mar

Mediterraneo, confluiscono pochi valloni di secondaria importanza fatta eccezione per il T. Mendola. Attualmente, nel bacino del F. Imera Meridionale sono stati realizzati tre laghi artificiali: il Villarosa, l'Olivo e il Gibbesi. Importanti interventi per la difesa e la conservazione del suolo sono stati eseguiti dall'A.N.A.S. che ha inserito nel bacino l'importante infrastruttura autostradale Catania-Palermo. Tali opere, in genere effettuate per la protezione delle pile dei viadotti, sono state realizzate con la sistemazione idraulica dell'asta principale e di qualche affluente. Il bacino del F. Imera Meridionale comprende 7 sottobacini con superficie superiore a 100 Km² (Salso, Morello, Torcicoda, Furiana, Braemi, Gibbesi e Mendola) oltre a quelli di minore estensione. Caratteristiche idrologiche Le stazioni idrometriche nel bacino del F. Imera Meridionale, che hanno funzionato in vari periodi a partire dal 1922, sono 12 di cui 3 nel bacino del F. Salso, 1 nel bacino del F. Gibbesi, 6 sull'asta principale del F. Imera Meridionale, 1 sul T. Alberi S. Giorgio e 1 sul T. Castello. Di seguito vengono prese in considerazione le 6 stazioni poste sull'asta principale (Petralia, Cinque Archi, Imera, Capodarso, Besaro, Drasi), la stazione sul T. Alberi S. Giorgio (Alberi) e la stazione sul T. Castello (Castello). La stazione a Petralia, posta a 805 m.s.m., sottende un bacino di circa 28 Km² avente una altitudine media di 1.231 m.s.m. Il deflusso medio annuo, rilevato in base a 4 anni di osservazioni (dal 1971 al 1972 e dal 1974 al 1975), risulta di 560 mm (pari a 15.6 Mmc/anno), mentre la precipitazione risulta pari a 748 mm. Per quanto riguarda le portate solide, sempre in base ai 4 anni di osservazioni, si è registrata una portata media di 129 T/Km² e una portata massima di 190 T/Km². La stazione di Alberi, sul T. Alberi S. Giorgio, sottende un bacino di circa 62 Km² ed è in funzione dal 1978. La stazione a Castello, posta sul Rio Segnaferi (o Castello), è entrata in funzione nel 1978 e sottende un bacino di circa 25 Km². La stazione a Ponte Cinque Archi, posta a 340 m.s.m., sottende un bacino di circa 545 Km² avente una altitudine media di 726 m.s.m. Il deflusso medio annuo, misurato in base a 8 anni di osservazioni (dal 1960 al 1966 e 1975) risulta di 123 mm (pari a circa 67 Mmc/anno), mentre la precipitazione risulta pari a 678 mm. La stazione idrometrica di Imera ha funzionato dal 1922 al 1926. La stazione a Capodarso, posta a 270 m.s.m., sottende un bacino di circa 611 Km² avente una altitudine media di 690 m.s.m. Il deflusso medio annuo misurato in base a 30 anni di osservazioni (1923-1938, 1953-1956, 1963-1972) risulta di 150 mm (pari a circa 91.6 Mmc/anno) mentre la precipitazione risulta pari a 652 mm. La stazione a Besaro, posta a 230 m.s.m., sottende un bacino di circa 995 Km² avente una altitudine media di 632 m.s.m. Il deflusso medio annuo misurato, in base a 13 anni di osservazioni (1924-1927, 1955, 1959 -1966), risulta di 112 mm (pari a circa 111.4 Mmc/anno), mentre la precipitazione risulta pari a 652 mm. La stazione a Drasi, posta a 56

m.s.m., sottende un bacino di circa 178.2 Km² avente una altitudine media di 586 m.s.m. Il deflusso medio annuo misurato, in base a 16 anni di osservazioni (1960-1975), risulta di 90 mm (pari a circa 160 Mmc/anno), mentre la precipitazione risulta pari a 560 mm; la portata massima, registrata il 25 ottobre 1976, ammonta a 3170 mc/s e determina un coefficiente udometrico di 1,779 (mc/s x km²).

Dal 1964 ha funzionato in località Drasi una stazione torbidometrica per la misura delle portate solide. In base a 12 anni di osservazioni (1964-1975) risulta una portata solida media di 885 T/Km² e una portata massima di 3.380 T/Km².

Nei tabulati di seguito allegati si riporta la serie storica delle portate medie giornaliere, massime annue e delle portate massime al colmo registrate nelle stazioni idrometriche di Capodarso, Besero, Drasi e Giggesi.

3. DEFINIZIONE DELLE CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA CON METODOLOGIA VAPI

La valutazione delle curve di possibilità pluviometrica (piogge intense) e la stima delle portate di piena viene condotta secondo i criteri sviluppati dal Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche nell'ambito del Progetto VAPI (Valutazione delle Piene in Italia) e pubblicati nel rapporto "Valutazione delle piene in Sicilia" relativamente alla Linea 1 "Previsione e prevenzione degli eventi idrologici estremi e loro controllo". Obiettivo del GNDCI è quello di predisporre una procedura, uniforme su tutto il territorio italiano, per la valutazione probabilistica delle piene in fase di redazione dei progetti e nel loro successivo esame da parte della pubblica amministrazione.

Nell'ambito di tale studio si è utilizzata l'informazione pluviografica e idrometrica raccolta dal Servizio Idrografico Italiano elaborando tecniche di analisi statistica a scala regionale ed applicando la legge di distribuzione a doppia componente su tre livelli successivi di regionalizzazione.

3.1. CURVA DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA - MODELLO PROBABILISTICO SU BASE REGIONALE TCEV

Nel primo livello di regionalizzazione, nell'ipotesi che la Sicilia fosse una zona pluviometrica omogenea si è testata l'applicabilità della legge di distribuzione TCEV (Two Component Extreme Value distribution) o legge di distribuzione a doppia componente.

Il modello probabilistico su base regionale TCEV ipotizza la serie dei massimi annuali come provenienti da due diverse popolazioni di dati legati a due differenti fenomenologie meteorologiche. I valori estremamente più elevati degli altri (Outliers) ma rari e una componente base o ordinaria che assume valori non elevati ma frequenti.

L'altezza di precipitazione $h(t,T)$ di durata generica t e tempo di ritorno T , secondo tale metodo si scrive :

$$h_{t,T} = h'_{t,T} \cdot \mu$$

Con $h'_{t,T}$, curva di crescita, variabile dipendente dalla sottozona geografica in cui è stata divisa la Sicilia, dalla durata t e dal tempo di ritorno T , e μ media teorica della variabile idrologica nella legge probabilistica.

3.1.1. Curva di crescita

Il secondo livello di regionalizzazione suddivide il territorio siciliano in tre "sottozone omogenee" denominate A, B e C e definite rispettivamente:

A Sottozona Ovest, delimitata ad Est dallo spartiacque del F. Imera Meridionale e del F. Pollina.;

B Sottozona Nord-Est, delimitata dai bacini del F. Pollina a Ovest e del F. Salso-Simeto a Sud;

C Sottozona Sud-Est, delimitata a Nord dal bacino Salso-Simeto e ad Ovest dallo spartiacque del F. Imera Meridionale.

Per ciascuna sottozona lo studio VAPI fornisce l'espressione esplicita approssimata, valida per tempi di ritorno superiori a 10 anni, della curva di crescita (cioè la legge di

distribuzione della variabile adimensionale $h' = x/\mu$, avendo indicato con x la variabile idrologica e con μ il valore medio teorico della legge TCEV).

Per la sottozona A tale curva si scrive:

$$h',T = 0.5391 - 0.001635 t + (0.0002212 t^2 + 0.00117 t + 0.9966) \log T;$$

Per la sottozona B tale curva si scrive:

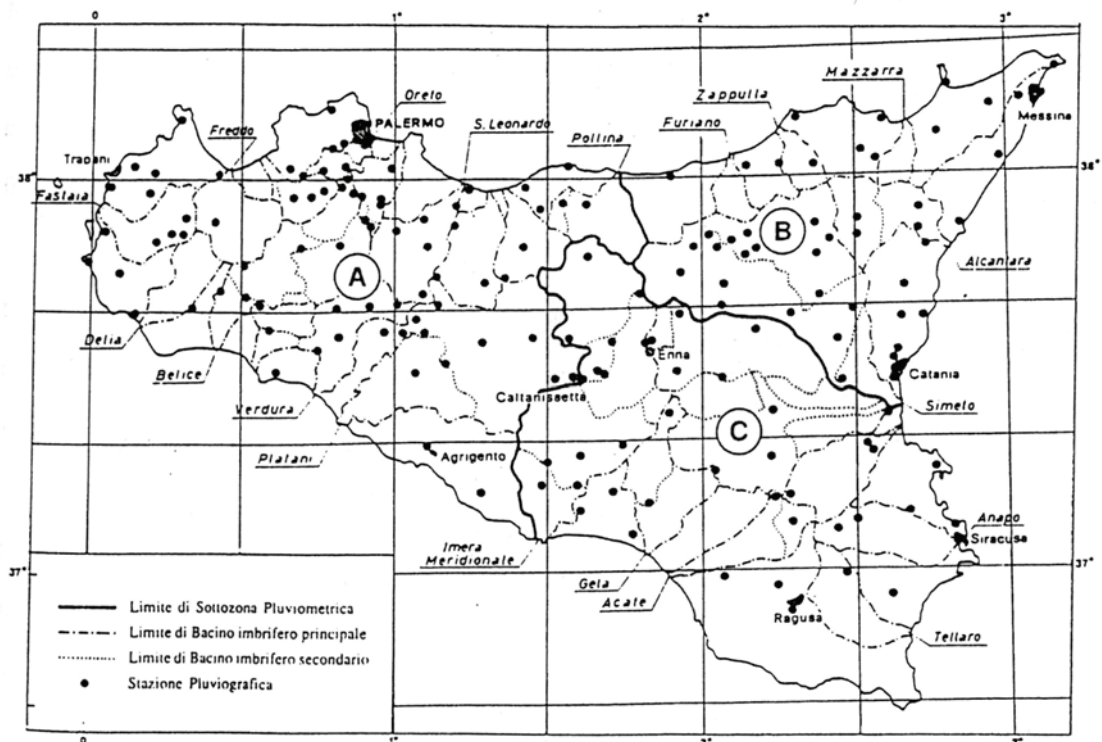
$$h',T = 0.5135 - 0.002264 t + (0.000198 t^2 + 0.00329 t + 1.0508) \log T;$$

Per la sottozona C tale curva si scrive:

$$h',T = 0.5015 - 0.003516 t + (0.000372 t^2 + 0.00102 t + 1.0101) \log T;$$

nella quale t indica la durata di precipitazione e T il tempo di ritorno.

Figura - Suddivisione in sottozone omogenee effettuata nell'ambito del progetto VAPI



3.1.2. Media teorica

Nel terzo livello di regionalizzazione, per ciascuna stazione siciliana, si sono confrontate le medie teoriche μ con le medie campionarie M_c , riscontrando che possono ritenersi, con buona approssimazione, coincidenti. Pertanto è stato possibile determinare un legame tipo monomio per la media M_c , relativa alle durate di precipitazione considerate (1, 3, 6, 12 e 24 ore), per ciascuna delle stazioni pluviografiche siciliane, secondo l'espressione:

$$\mu = M_c(t) = a t^n$$

Per tutte le stazioni pluviografiche siciliane sono stati elaborati e tabellati i valori delle costanti a ed n .

Per le stazioni pluviografiche utilizzate nei successivi calcoli si riportano i dati principali :

3.1.3. Elaborazioni delle Curve di Possibilità Pluviometrica

L'espressione della curva di possibilità pluviometrica delle piogge di breve durata (1-3-6-12-24 ore) secondo il metodo TCEV, benché matematicamente definita assume una forma complessa diversa dalla forma canonica $h = a t^n$.

Al fine di riportare la CPP in forma canonica, si sono calcolati, per assegnato tempo di ritorno, i valori delle altezze di pioggia probabili al variare della durata t .

Correlando i due campioni di dati ottenuti, su di un piano logaritmico si sono trovati i parametri a ed n della curva di possibilità pluviometrica nella forma classica, per assegnato T_r .

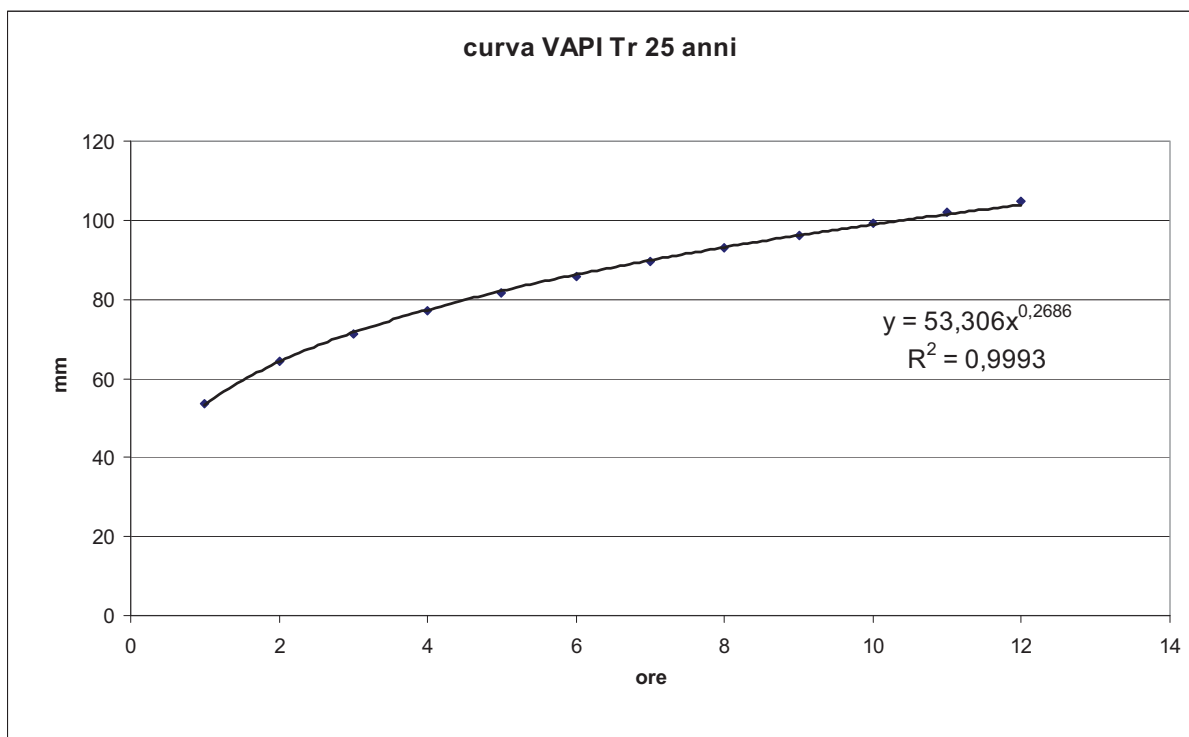
Le variazioni dei valori così ottenuti, da quelli originari, risultano contenuti entro un range di $\pm 3\%$, valore che risulta compatibile con il grado di precisione dell'indagine idrologica effettuata.

Rispetto al progetto definitivo, allo scopo di migliorare l'aderenza delle curve interpolate alle serie numeriche calcolate, sono stati utilizzati i valori con tempo di pioggia compreso tra 1 e 12 ore. L'intervallo è stato scelto sulla base dei tempi di corrivazione

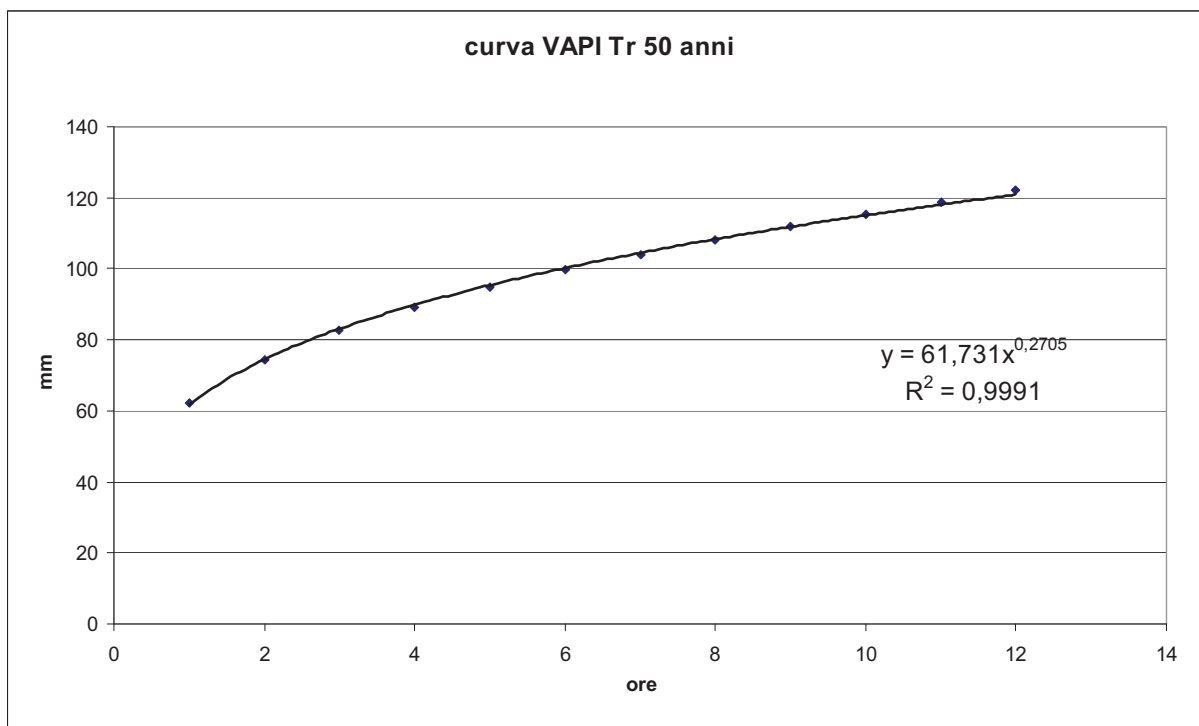
caratteristici dei bacini idrografici oggetto delle successive elaborazioni il cui valore è sempre compreso in tale intervallo temporale. Le curve ottenute sono molto simili a quelle elaborate nel progetto definitivo ma più aderenti ai valori numerici delle serie calcolate con il metodo TCEV nell'intervallo di tempo considerato.

Si riportano di seguito i tabulati e le curve di possibilità pluviometrica della stazione di Caltanissetta che risulta la più rappresentativa per il territorio in esame (4,5Km iniziale del tracciato), elaborate per un tempo di ritorno 25, 50, 100, 200 e 500 anni.

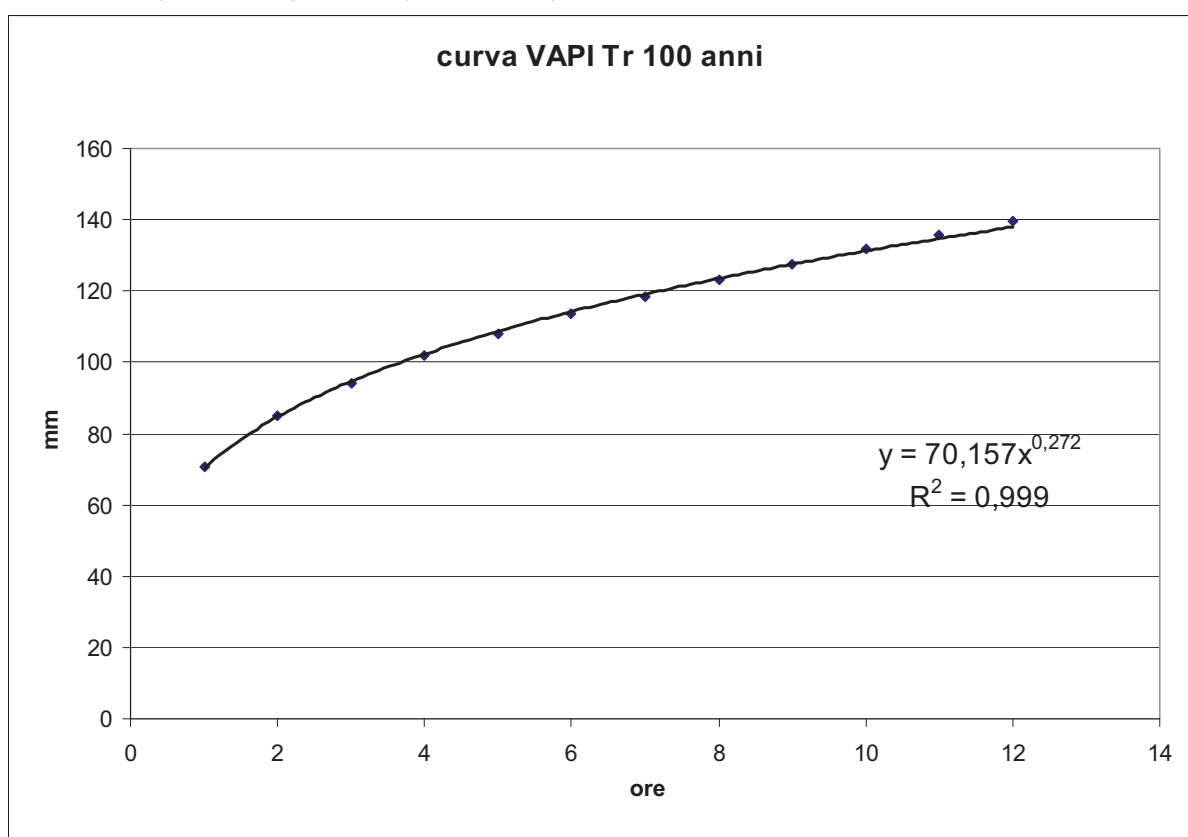
	KT	a	n	h
1	1,91199	53,7269	0,2588	53,7269
2	1,91146	53,712	0,2588	64,2655
3	1,91197	53,7263	0,2588	71,3947
4	1,91352	53,7699	0,2588	76,9755
5	1,91611	53,8427	0,2588	81,662
6	1,91974	53,9447	0,2588	85,7698
7	1,92441	54,0759	0,2588	89,4778
8	1,93012	54,2364	0,2588	92,8989
9	1,93687	54,4261	0,2588	96,1092
10	1,94466	54,645	0,2588	99,1632
11	1,95349	54,8931	0,2588	102,101
12	1,96336	55,1705	0,2588	104,954



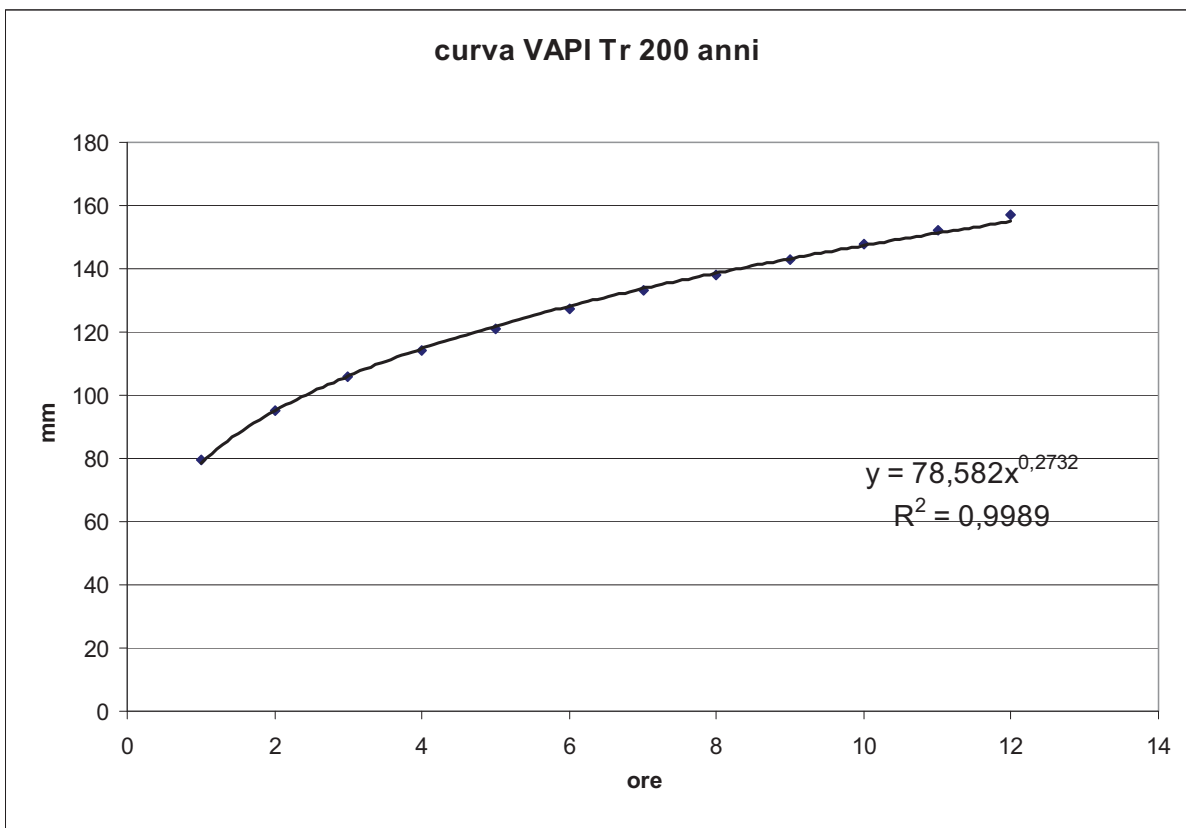
	KT	a	n	h
1	2,21648	62,283	0,2588	62,283
2	2,21659	62,2862	0,2588	74,5244
3	2,21797	62,3249	0,2588	82,821
4	2,22061	62,3991	0,2588	89,3288
5	2,22451	62,5089	0,2588	94,8058
6	2,22968	62,6541	0,2588	99,6174
7	2,23612	62,8349	0,2588	103,971
8	2,24381	63,0512	0,2588	107,997
9	2,25278	63,303	0,2588	111,785
10	2,263	63,5903	0,2588	115,396
11	2,27449	63,9132	0,2588	118,878
12	2,28724	64,2715	0,2588	122,267



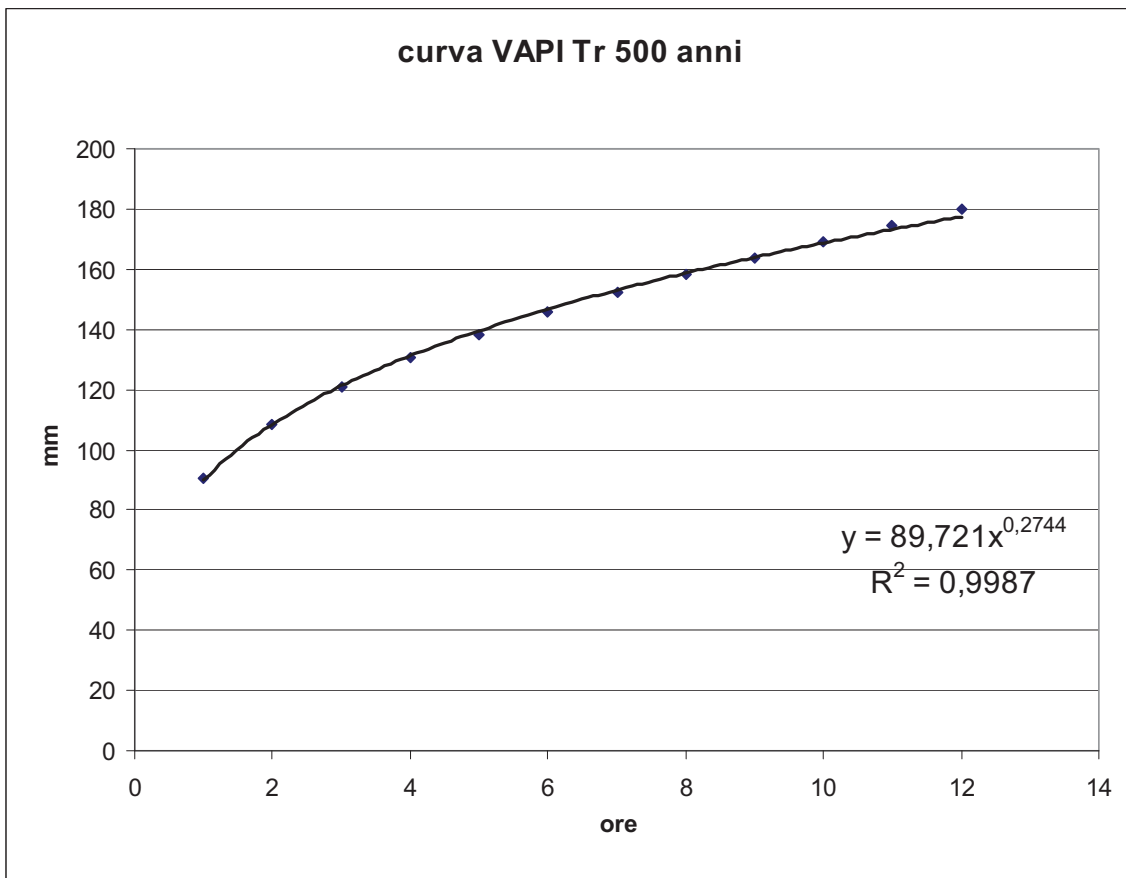
	KT	a	n	h
1	2,52097	70,8392	0,2588	70,8392
2	2,52172	70,8604	0,2588	84,7833
3	2,52397	70,9235	0,2588	94,2473
4	2,5277	71,0284	0,2588	101,682
5	2,53292	71,1751	0,2588	107,95
6	2,53963	71,3635	0,2588	113,465
7	2,54782	71,5939	0,2588	118,464
8	2,55751	71,866	0,2588	123,096
9	2,56868	72,1799	0,2588	127,46
10	2,58134	72,5357	0,2588	131,629
11	2,59549	72,9332	0,2588	135,656
12	2,61112	73,3726	0,2588	139,581



	KT	a	n	h
1	2,82546	79,3954	0,2588	79,3954
2	2,82686	79,4347	0,2588	95,0422
3	2,82997	79,5221	0,2588	105,674
4	2,83479	79,6576	0,2588	114,036
5	2,84133	79,8412	0,2588	121,093
6	2,84957	80,073	0,2588	127,313
7	2,85953	80,3528	0,2588	132,957
8	2,8712	80,6808	0,2588	138,194
9	2,88458	81,0568	0,2588	143,136
10	2,89968	81,481	0,2588	147,862
11	2,91649	81,9533	0,2588	152,433
12	2,935	82,4736	0,2588	156,894



	KT	a	n	h
1	3,22797	90,706	0,2588	90,706
2	3,23022	90,7692	0,2588	108,604
3	3,23448	90,8888	0,2588	120,778
4	3,24074	91,0648	0,2588	130,366
5	3,24901	91,2973	0,2588	138,469
6	3,2593	91,5862	0,2588	145,618
7	3,27159	91,9315	0,2588	152,116
8	3,28588	92,3333	0,2588	158,153
9	3,30219	92,7915	0,2588	163,857
10	3,3205	93,3061	0,2588	169,321
11	3,34082	93,8771	0,2588	174,611
12	3,36315	94,5046	0,2588	179,781



4. VALIDAZIONE DEI RISULTATI

Allo scopo di validare i risultati ottenuti è stata rielaborata la pluviometria dell'area mediante la metodologia proposta dal PAI.

4.1. LA METODOLOGIA DEL PAI

Lo studio idrologico proposto è stato effettuato avvalendosi delle tecniche proprie dei Sistemi Informativi Geografici (GIS) e di un modello di pubblico dominio: l'HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) dell' Hydrologic Engineering Center.

Per la costruzione delle CPP, si è fatto riferimento alle stazioni pluviografiche ricadenti nel territorio regionale siciliano ed aventi almeno dieci anni di funzionamento anche non consecutivo.

Per ciascuna di queste stazioni si è proceduto alla raccolta delle altezze di pioggia massime annuali per assegnate durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore dalla parte I degli Annali del Servizio Idrografico della Regione Siciliana relativi al periodo 1929-1998. Per ciascuna stazione e per ogni durata si è provveduto al calcolo della media e dello scarto quadratico medio. Inoltre, sempre per ogni stazione, si è calcolato il valore dei coefficienti a ed n della relazione:

$$\mu_t = at^n$$

dove μ_t è la media della precipitazione osservata per una durata di t ore. Infine si è anche calcolato il coefficiente di variazione rappresentativo della stazione (CVS), nell'ipotesi di invarianza di scala delle distribuzioni di probabilità delle altezze di pioggia relative alle diverse durate utilizzando la seguente formula:

$$CVS = \sqrt{\sum_{i=1}^{N_{tot}} \frac{1}{N_{tot} - 1} (1 - w_i)^2}$$

dove N_{tot} è pari al prodotto della numerosità campionaria per il numero di durate osservate (di solito pari a 5) e w_i è l'altezza di pioggia adimensionalizzata rispetto alla media della durata corrispondente.

L'ipotesi di invarianza di scala per le precipitazioni estreme esprime il concetto che le distribuzioni di probabilità delle altezze di pioggia di due diverse durate coincidono a meno di un fattore di scala pari al rapporto tra le due durate elevato ad n . Studi condotti da Supino (1964) e da Rosso e Burlando (1990, 1995) hanno dimostrato, sulla base della verifica condotta su una lunga serie di eventi storici, che i nubifragi sono caratterizzati da questa proprietà, che risulta sostanzialmente ancora verificata qualora si prendano in esame i casi critici, vale a dire i massimi relativi delle osservazioni sperimentali di pioggia ottenuti da eventi anche diversi.

Per la determinazione delle CPP si è utilizzata la legge di distribuzione di probabilità del massimo valore EV1, meglio nota come legge di Gumbel. Nell'ipotesi che le precipitazioni seguano la legge di invarianza di scala temporale, le CPP, espresse attraverso la legge di Gumbel, si possono scrivere nella seguente forma:

$$h_{t,T} = K_T a t^n$$

in cui $h_{t,T}$ è l'altezza di pioggia di durata t e tempo di ritorno T , mentre K_T è il coefficiente di scala, detto coefficiente di crescita, che dipende dal tempo di ritorno T e dal coefficiente di variazione della stazione CVS attraverso la seguente relazione:

$$K_T = 1 - CVS \left\{ 0.450 + 0.779 \ln \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] \right\}$$

I valori di a , n e CV sopra riportati sono stati interpolati tramite kriging (Matheron, 1971) su tutto il territorio regionale creando delle carte dei valori di a , n e CV riportate nel prosieguo. L'algoritmo utilizzato per l'interpolazione, il kriging, meglio conosciuto come metodo dell'interpolazione ottimale, si basa sul fatto che la grandezza regionale da

interpolare è troppo irregolare perché sia modellata da funzioni matematiche regolari ma può essere descritta da una superficie stocastica.

L'interpolazione prevede una prima fase nella quale si indagano gli aspetti stocastici delle variabili regionalizzate ed una fase successiva di modellazione vera e propria. Il successo del kriging consiste nella validità di importanti assunzioni che si fanno sulla natura statistica della variazione, assunzioni che sono contenute nella teoria delle variabili regionalizzate. Questa assume che la variazione spaziale di una qualsiasi grandezza può essere espressa come somma di tre componenti:

1. una componente strutturale, associata ad un valor medio costante o ad un trend ben definito;
2. una componente random, spazialmente correlata;
3. una componente di errore residuo o rumore casuale (random noise).

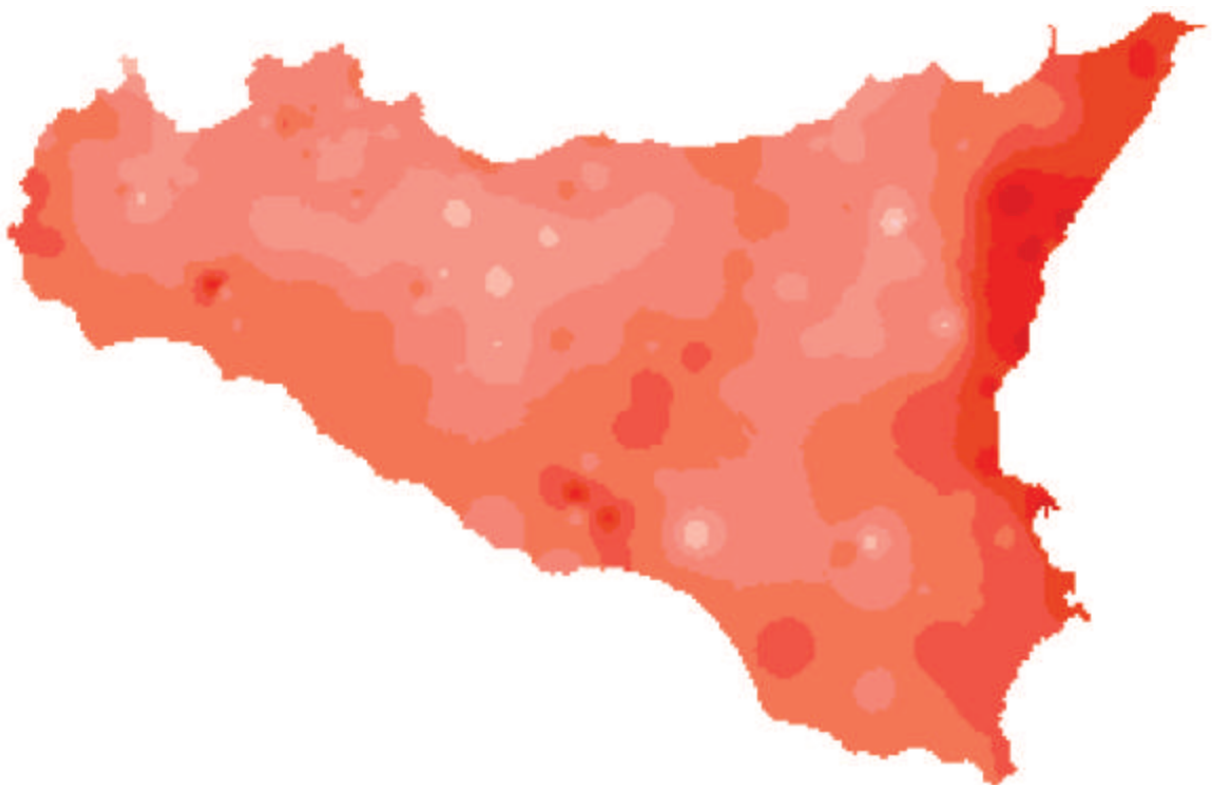
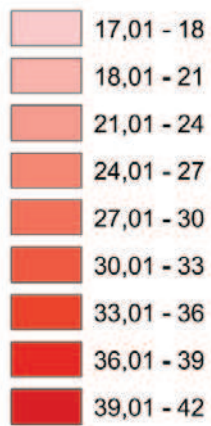
Dalle carte così ottenute, tramite l'utilizzo del software ArcView, è possibile risalire al valore medio areale di tali coefficienti senza fare ricorso al classico metodo dei topoi.

Si è deciso inoltre di non effettuare il ragguglio spazio-temporale necessario per tener conto del fatto che il centro di scroscio si verifichi proprio in corrispondenza dell'ubicazione dello strumento di misura. In letteratura si trovano infatti studi (Paoletti, 1988) che avanzano dei dubbi sulla correttezza di tale operazione nel caso di determinazione di portate di progetto, in quanto già l'ipotesi di pioggia uniforme su tutto il bacino porta ad una sottostima della massima portata risultante.

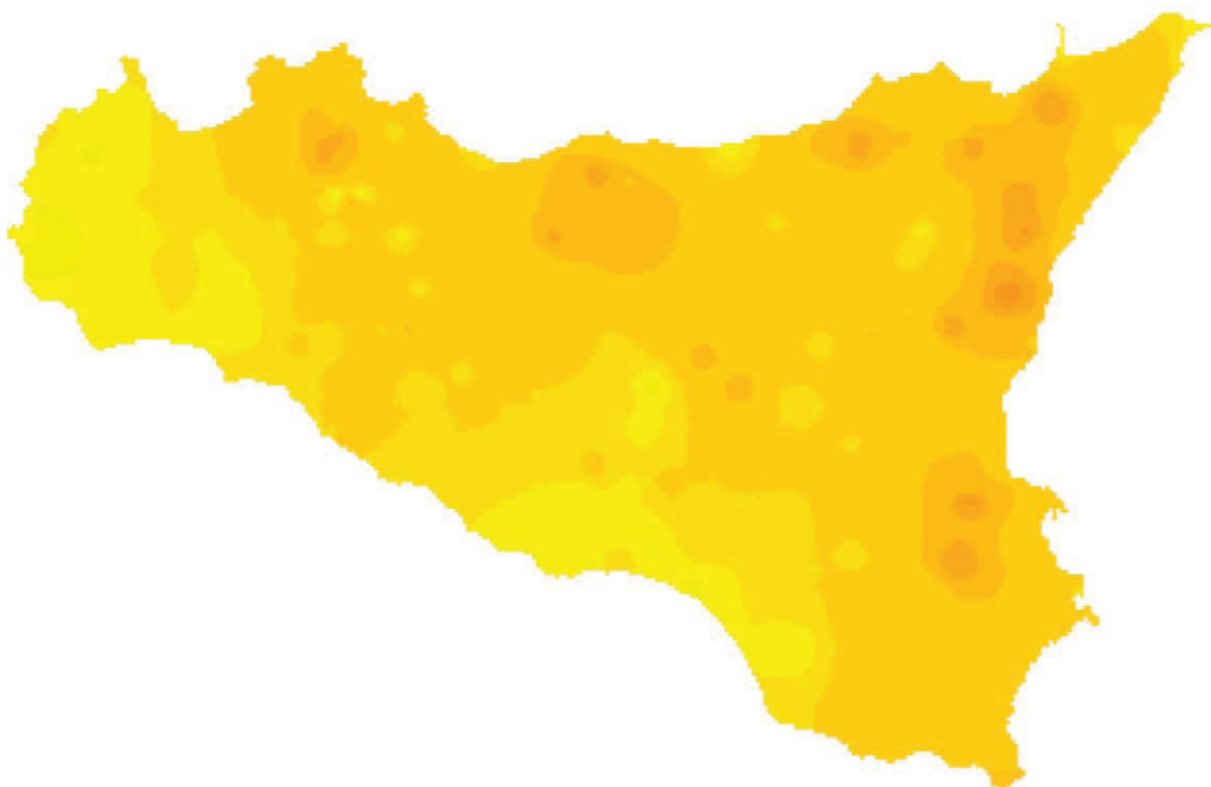
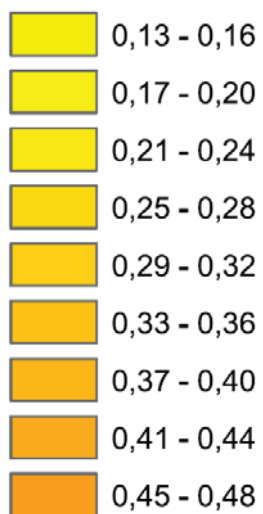
La ricostruzione degli ietogrammi sintetici lordi a partire dalle CPP è stata effettuata utilizzando il modulo Meteorological Models del modello HEC-HMS. Questo modulo permette di definire la pioggia di progetto e tenere conto, eventualmente, del fenomeno dell'evapotraspirazione. Tra i metodi proposti vi è la possibilità di considerare delle serie storiche di pioggia, registrate nelle stazioni pluviografiche ricadenti nell'area di studio, ovvero ricostruire ietogrammi sintetici a partire dai dati di altezze di pioggia di massima intensità e fissata durata registrati.

Sulla base dello studio condotto il PAI fornisce le seguenti carte sintetiche.

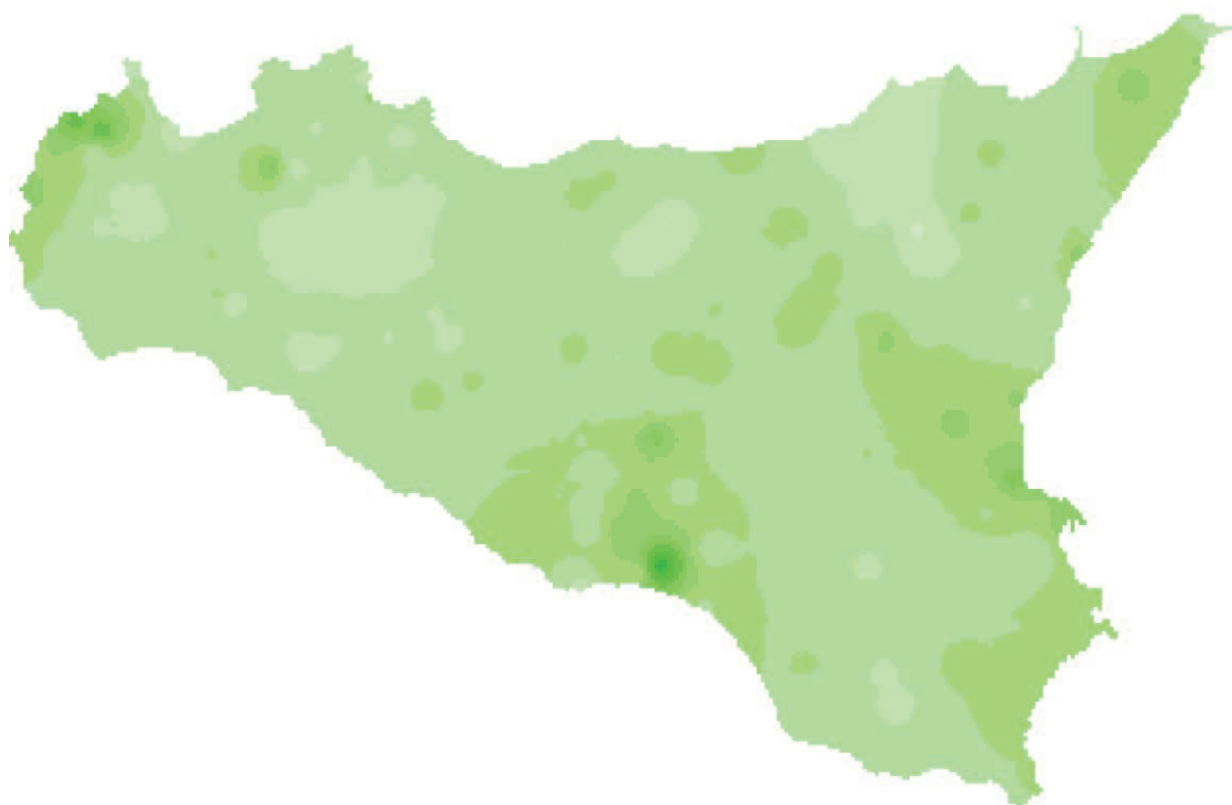
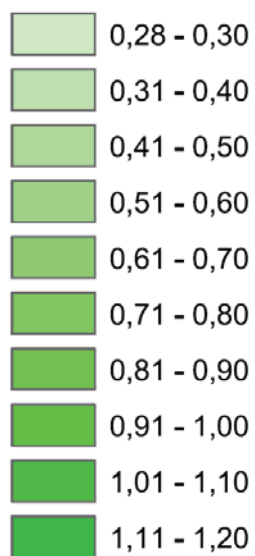
CARTA DEI VALORI DI α



CARTA DEI VALORI DI n



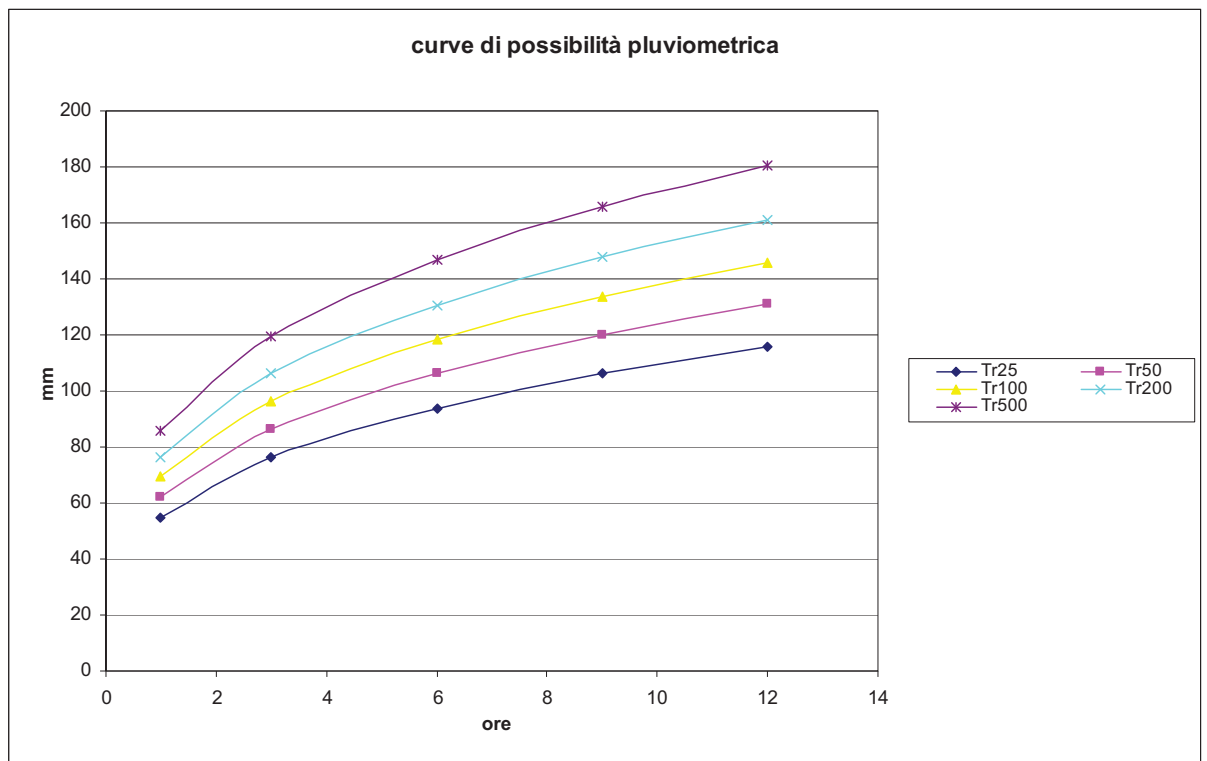
CARTA DEI VALORI DI c_v



Sulla base di quanto esposto sono stati elaborati i seguenti parametri caratteristici risultanti:

T	\bar{z}	σ	ϵ
25	1,95958	54,8682	0,3
50	2,21712	62,0793	0,3
100	2,47275	69,2371	0,3
200	2,72746	76,3688	0,3
500	3,06349	85,7777	0,3

La rappresentazione grafica delle curve ottenute nell'intervallo di tempo considerato è la seguente:



4.2. CONFRONTO DEI RISULTATI

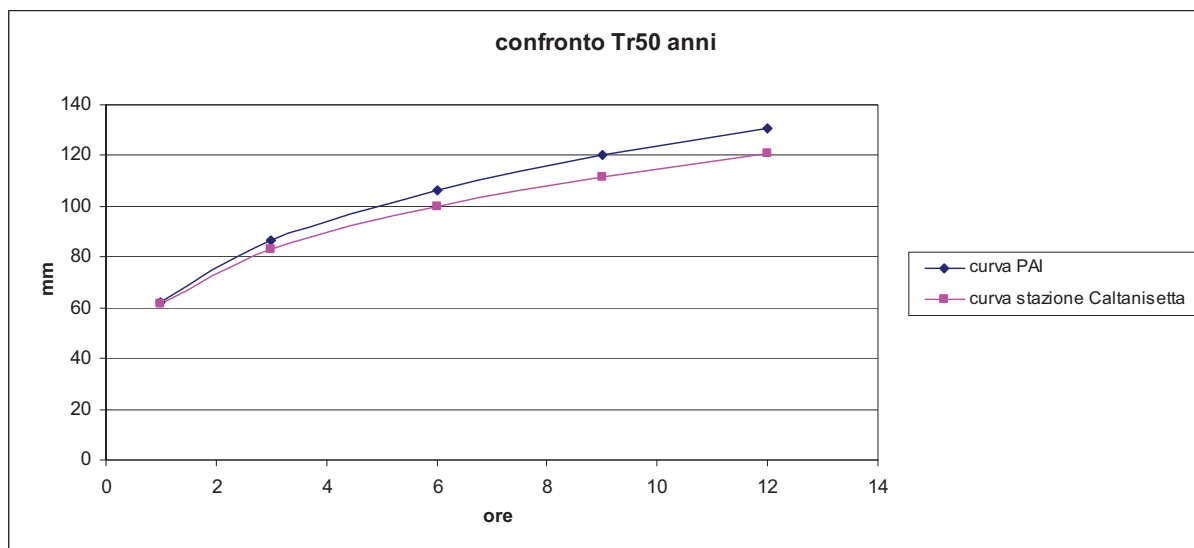
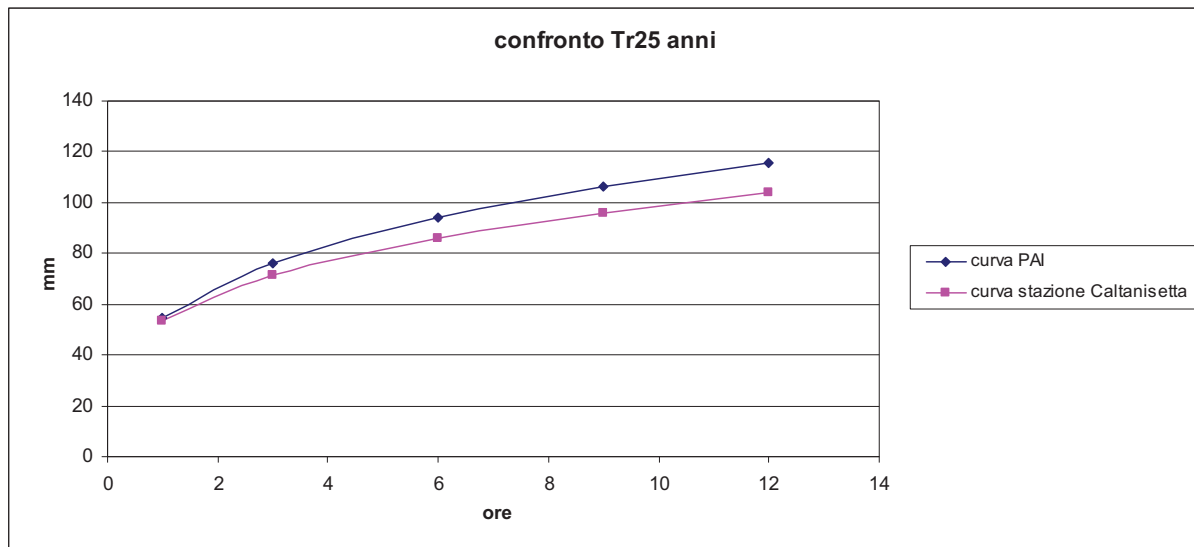
I risultati ottenuti risultano in completo accordo con quanto espresso sulla base della procedura VAPI. Il risultato ottenuto ci consente quindi di garantire la sostanziale correttezza di quanto elaborato con la procedura TCEV nel progetto definitivo.

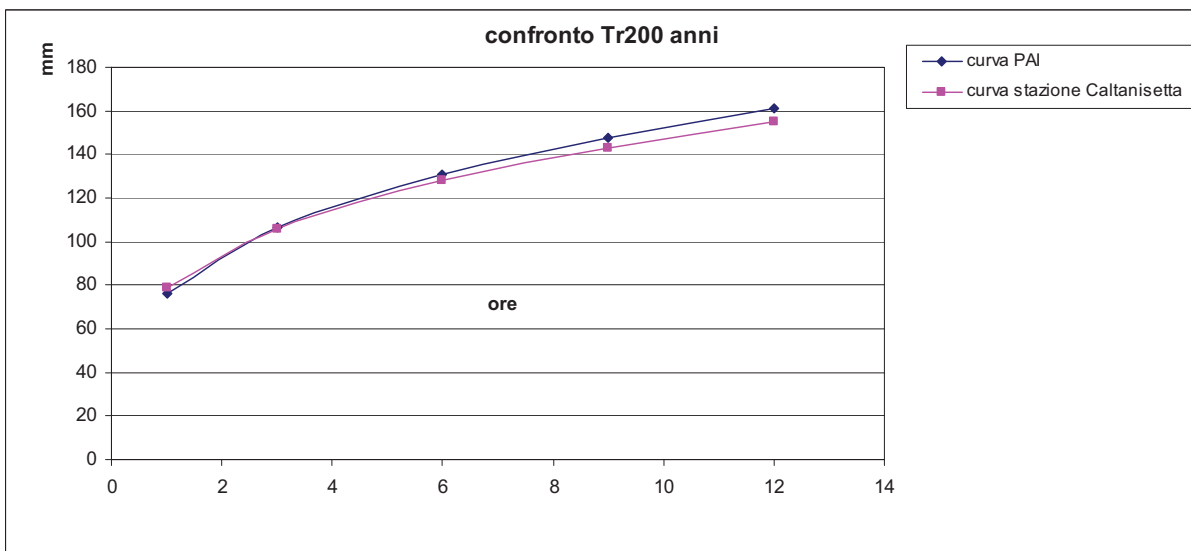
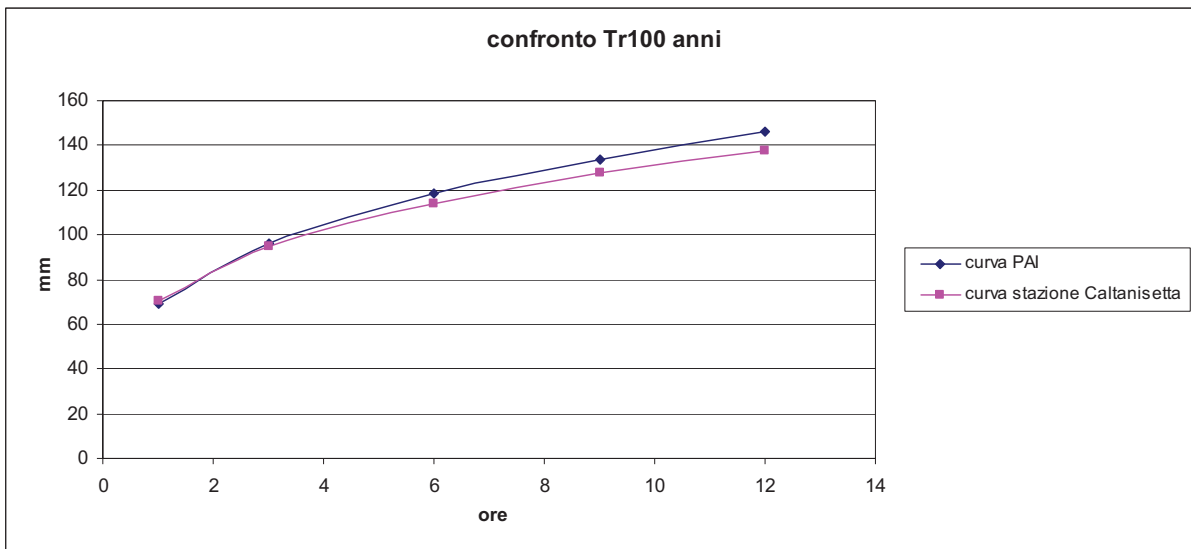
curve ottenute con la procedura del PAI

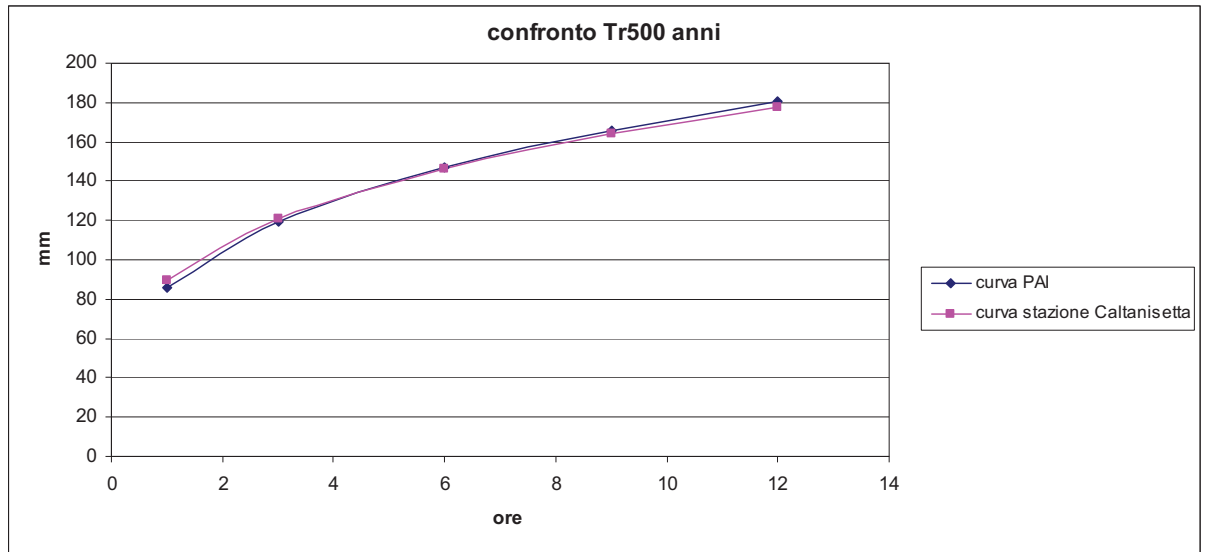
h	1	3	6	9	12
Tr25	54,8682	76,2882	93,9218	106,07	115,631
Tr50	62,0793	86,3143	106,265	120,011	130,828
Tr100	69,2371	96,2665	118,518	133,848	145,913
Tr200	76,3688	106,182	130,726	147,635	160,942
Tr500	85,7777	119,264	146,832	165,824	180,771

curve ottenute con il metodo VAPI per la stazione di Caltanissetta

h	1	3	6	9	12
Tr25	53,3	71,5477	86,1533	96,0427	103,74
Tr50	61,73	83,0461	100,138	111,723	120,747
Tr100	70,157	94,5906	114,216	127,534	137,914
Tr200	78,58	106,087	128,204	143,222	154,933
Tr500	89,72	121,233	146,589	163,814	177,249







5. CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA DELLE PIOGGE DI DURATA ORARIA

Nella zona in studio non esistono osservazioni pluviometriche di durata inferiori a un'ora.

Non avendo disponibilità di tali misure bisogna fare riferimento a dati relativi di altre regioni. Studi condotti da Bell, sul territorio degli Stati Uniti ed in Australia e studi paralleli in Unione Sovietica, evidenziano come il rapporto r tra le altezze di durata δ molto breve e l'altezza oraria sono relativamente poco dipendenti dalla località.

Con riferimento alla curva inviluppo delle massime piogge osservate nel mondo di equazione $h\delta = 390 \delta^{0,5}$ con δ in ore, alcuni studiosi [Jennings, 1950; Hershfield e Engman, 1981] propongono di adottare i seguenti rapporti :

δ [minuti]	5	10	15	20	30	45
$r_\delta = h_\delta/h_1$	0,29	0,41	0,5	0,58	0,71	0,87

Utilizzando questi rapporti, nota la pioggia oraria per assegnato tempo di ritorno, si sono determinate le altezze di pioggia per le durate di 5, 10, 15, 20, 30 e 45 minuti.

Riportati questi campioni di dati, su di un piano logaritmico, ed interpolati, si sono determinati i parametri a ed n della curva di possibilità pluviometrica di durata inferiore ad un'ora $h = a t^n$ con t espresso in ore.

Per la pioggia oraria al variare di T_r sono state considerate le curve del PAI.

Si ottengono i seguenti parametri:

	a	n
25	55,00	0,5
50	62,28	0,5
100	70,02	0,5

6. CONCLUSIONI

Nel presente studio idrologico sono stati ripresi e rielaborati le notazioni e i dati utilizzati nel progetto definitivo, pervenendo sostanzialmente a risultati analoghi.

Allo scopo di fornire una ulteriore garanzia sulla validità dei risultati ottenuti è stata esperita un'analisi idrologica mediante la metodologia proposta dal PAI. Tale analisi ha fornito risultati in completo accordo con i precedenti assicurando quindi la validità delle ipotesi e delle conclusioni del progetto definitivo.

Per i successivi calcoli idraulici, a favore di sicurezza, sono state utilizzate le curve risultanti dalla metodologia del PAI.