



**Centro di Ecologia e Climatologia**  
OSSERVATORIO GEOFISICO SPERIMENTALE MACERATA

**Campo medio della precipitazione  
annuale e stagionale  
sulle Marche per il periodo 1950-2000**

*Dott.ssa Maura Amici*

*Dott.ssa Romina Spina*

**Macerata, li 30 giugno 2002**

## Indice

Introduzione. . . . .	1
1. Caratteristiche geografiche del territorio marchigiano e condizioni meteorologiche generali. . . . .	3
2. Banca dati per l'analisi delle precipitazioni . . . . .	5
3. Elaborazioni statistiche	
3.1 Precipitazioni medie annuali e stagionali. . . . .	9
3.2 Distribuzione di probabilità della precipitazione mensile. . . . .	13
4. Analisi delle serie temporali di precipitazione. . . . .	32
5. Realizzazione ed analisi delle carte del campo medio della precipitazione annuale e stagionale sulle Marche dal 1950 al 1989. . . . .	52
6. Cluster analysis. . . . .	57
7. Coefficienti di correlazione e relativa matrice. . . . .	61
8. Standardized Precipitation Index (SPI). . . . .	62
9. Realizzazione delle carte del campo medio della precipitazione annuale e stagionale dal 1950 al 2000. . . . .	70
10. Classificazione climatica basata sul metodo di C. W. Thornthwaite. . . . .	74
11. Conclusioni e progetti futuri. . . . .	87
Bibliografia. . . . .	103
Appendice I, Appendice II, Appendice III, Appendice IV	

## Introduzione

Il presente lavoro è stato realizzato dall'Osservatorio Geofisico Sperimentale di Macerata (OGSM) su richiesta della Regione Marche – Servizio Protezione Civile, per approfondire la conoscenza della distribuzione della precipitazione sul territorio marchigiano e la caratterizzazione climatica regionale.

Per lo svolgimento della prima parte dello studio sono stati raccolti ed elaborati statisticamente i dati pluviometrici mensili di 102 stazioni di misura relativi al periodo 1950-1989/2000 in base alla continuità delle serie. Dato che solo 15 di queste risultavano complete fino al 2000, è stato scelto il 1950-1989 come intervallo di riferimento.

Per ogni stazione è stata determinata la rispettiva distribuzione di probabilità della precipitazione mensile, quale valido strumento per calcolare la probabilità che si verifichi una precipitazione minore o uguale oppure maggiore ad un valore critico.

Inoltre è stato analizzato l'andamento della precipitazione annuale in ciascuna località in esame nell'arco dell'intervallo temporale prescelto, è stato determinato il relativo trend applicando il test non parametrico di Mann-Kendall ed è stata espressa la variazione in percentuale della precipitazione rispetto al valor medio.

Sono state poi predisposte le mappe climatologiche del campo medio della precipitazione sulle Marche per il periodo 1950-1989, utilizzando i dati medi annuali e stagionali precedentemente calcolati nelle analisi statistiche.

Dalla rappresentazione cartografica è emersa l'esistenza di aree con regimi pluviometrici simili, che sono state classificate rigorosamente attraverso la tecnica di *cluster analysis*, utilizzando le serie dal 1950 al 1989 disponibili per tutte le stazioni, e visualizzate con un grafo ad albero ed una cartina territoriale.

Volendo scendere più in dettaglio e valutare l'interdipendenza tra ogni possibile coppia di stazioni, sono stati altresì calcolati i coefficienti di correlazione lineare, definitivamente organizzati nella rispettiva matrice.

Per evidenziare eventuali deficit o surplus di precipitazione su una determinata scala temporale, in relazione alla distribuzione di probabilità nell'intervallo di tempo studiato, è stato calcolato l'indice di precipitazione standardizzato (SPI), sviluppato a tale scopo da McKee et al. nel 1993. Tale computazione è stata limitata alle 15 stazioni per le quali si avevano registrazioni complete fino al 2000 al fine di individuare possibili episodi di siccità o di piovosità abbondante nell'intero periodo di studio 1950-2000.

Essendo poi pervenuti in data 10 giugno 2002 gli aggiornamenti delle serie temporali dal 1990 al 2000 per altre 33 stazioni ed al fine di rendere lo studio sviluppato il più aggiornato ed esauriente possibile, sono state configurate le mappe climatologiche del campo medio della precipitazione annuale e stagionale dal 1950 al 2000, limitatamente al settore del territorio regionale in cui era più densa la presenza delle predette stazioni e che all'incirca corrisponde con le provincie di Ancona e Macerata.

In ultimo per studiare i caratteri climatici delle Marche ed individuare eventuali aree climatologicamente affini è stato applicato il metodo di Thornthwaite (1957) con riferimento, oltre ai dati di precipitazione, a quelli di temperatura, radiazione solare ed eliofania relativi al periodo 1950-1989, disponibili per un totale di 29 stazioni.

Le elaborazioni eseguite sono descritte nei successivi paragrafi ed i risultati ottenuti sono riportati nelle conclusioni finali.

## **1. Caratteristiche geografiche del territorio marchigiano e condizioni meteorologiche generali**

Il territorio marchigiano è caratterizzato da una ristretta pianura costiera, la cui larghezza varia da poche centinaia di metri a qualche decina di chilometri, sovrastata da una fascia di colline piuttosto basse, intorno ai 300-400 m, che sono solcate da valli trasversali percorse da fiumi per lo più a carattere torrentizio. Alla zona collinare seguono le prime pendici della dorsale appenninica, con un'altitudine di 600-800 m; la retrostante barriera montana raggiunge in più tratti i 1500-1800 m, fino a superare i 2000 m nella catena dei Monti Sibillini, la cui cima più alta, il Monte Vettore, tocca i 2476 m. Numerosi valichi e passi fra i 600 e i 1000 m interrompono la continuità dei rilievi, permettendo agevoli comunicazioni fra le Marche e le regioni limitrofe.

L'Appennino marchigiano ha una struttura molto complessa, costituito com'è da diverse linee orografiche con andamento pressoché parallelo e direzione N/NW – S/SE.

Si distinguono così la linea del Falterona, tra il Colle dei Mandrioli e quello di Scheggia; la linea del Catria, che si estende dal monte omonimo al Pennino; la linea del S. Vicino, che si prolunga fino ai Sibillini; le due linee minori del Montefeltro, una delle quali comprende il Monte Carpegna; quindi al centro la linea che culmina con il Monte Acuto e, infine, più ad est quella più breve del Monte Conero, che si affaccia sull'Adriatico.

Tra queste linee orografiche ed il mare si distende la zona delle colline, una successione trasversale di rilievi digradanti dall'Appennino verso il litorale. Le loro sommità sono arrotondate e debolmente ondulate con forme morbide ed attenuate, mentre sui loro pendii compaiono a volte i tipici "calanchi", ossia profondi solchi scavati dalle acque dilavanti. Tale fascia collinare è incisa da lunghi e tortuosi avvallamenti, nei quali scorrono i fiumi che hanno un corso breve, con pochi affluenti ed a carattere saltuario. Il corso superiore è incassato tra i monti del retrostante Appennino, mentre quello inferiore si allarga su fertili vallate, i cui nomi sono quelli dei rispettivi fiumi: tra le principali, la Valle del Foglia, del Metauro, dell'Esino, del Potenza, del Chienti, del Tenna, dell'Aso e del Tronto [Mennella, 1970].

Le caratteristiche climatiche del territorio marchigiano sono influenzate ad oriente dall'esposizione verso l'Adriatico, che esercita la sua azione debolmente mitigatrice nei confronti degli afflussi di masse d'aria relativamente fredda da nord e da est, e ad ovest dalla presenza dell'Appennino, il quale ostacola il corso delle correnti occidentali, per lo più temperate ed umide, predominanti alle nostre latitudini.

Essendo l'Adriatico un mare quasi chiuso, incassato e poco profondo, il carattere di marittimità delle aree costiere risulta attenuato e per qualche aspetto diviene addirittura ininfluente, specie nelle zone a nord del Monte Conero e nel corso dell'inverno.

In sintesi, la dinamica dei fenomeni meteorologici sulle Marche nelle varie stagioni può essere così schematizzata:

in *inverno*, il tempo perturbato proviene solitamente da est o nordest: afflussi di aria fredda dall'Europa balcanico-danubiana causano neviccate anche sulle coste. Nondimeno, i periodi di brutto tempo abbastanza intensi e prolungati si hanno in correlazione con la formazione e l'approfondimento di depressioni sul Tirreno, che richiamando aria umida dal Mediterraneo e aria fredda da settentrione, generano corpi nuvolosi, che risalgono la penisola italiana secondo un moto ciclonico e scaricano il loro contenuto di acqua precipitabile sulle Marche sotto forma di piogge frequenti e copiose;

in *primavera*, le condizioni meteorologiche sono all'insegna della variabilità, a causa dei reiterati ritorni di masse d'aria fredda da nordest e dell'arrivo di aria umida di origine atlantica, che portano tempo instabile; l'espansione o il regresso dell'area anticiclonica delle Azzorre dal Mediterraneo condiziona in modo determinante, rispettivamente, il perdurare del bel tempo o di quello caratterizzato dalle piogge e dagli acquazzoni primaverili;

in *estate*, la regione può avere tempo perturbato soprattutto ad opera dell'instabilità a carattere locale, perché le depressioni atlantiche in transito da ovest verso est seguono traiettorie più settentrionali, interessando marginalmente l'alto Adriatico. Possono comunque verificarsi rapide variazioni diurne della nuvolosità, più accentuate lungo la fascia appenninica ove si formano cumuli imponenti;

in *autunno*, si raggiunge il massimo apporto delle precipitazioni, per il fatto che sia le perturbazioni atlantiche provenienti da nordovest, che le depressioni mediterranee vanno ad interessare direttamente la regione; inoltre le perturbazioni risultano particolarmente attive, poiché le masse di aria subiscono l'intensa azione destabilizzatrice del Mar Mediterraneo, che, a fine estate ed inizio autunno, ha ancora una temperatura relativamente alta e quindi elevato risulta il suo contributo in vapor d'acqua [Murri e Fusari, 1987].

## 2. Banca dati per l'analisi delle precipitazioni

I dati pluviometrici a disposizione dell'OGSM riguardano l'archivio storico costituito dagli annuali pubblicati dall'Istituto Idrografico di Bologna per l'intervallo temporale 1921-1989, dove sono riportate, tra l'altro, le registrazioni di precipitazione di tutte le stazioni delle Marche gestite dal suddetto ente. A queste si aggiungono le rilevazioni effettuate nelle stazioni dell'OGSM per periodi con inizio variabile, in base all'installazione dei pluviometri, aggiornate fino al 2000.

Per lo studio svolto sono stati calcolati e tabulati a livello informatico i dati di precipitazione totale mensile (pioggia, neve e grandine espresse in mm di acqua equivalente) delle stazioni a disposizione sia dell'Idrografico di Bologna che dell'Osservatorio. Di tutte le stazioni considerate ne sono state selezionate 102, in base alla continuità delle serie storiche ed alla possibilità di ricostruire i dati mancanti per interpolazione con stazioni vicine aventi caratteristiche simili. Sono state incluse nell'elenco anche 11 stazioni non appartenenti al territorio marchigiano, ma necessarie per la copertura di zone limitrofe ai fini della realizzazione delle mappe climatologiche del campo medio della precipitazione annuale e stagionale.

Pur tenendo conto del periodo 1950-2000 proposto dall'Ente Regione per l'attuazione dello studio, è stato scelto l'intervallo temporale di riferimento 1950-1989, poiché la maggioranza delle stazioni in esame presenta misure pluviometriche costanti nel suddetto quarantennio.

Di seguito sono riportati l'elenco e la distribuzione geografica delle 102 stazioni (Fig.1):

<i>Cod.</i>	<i>Stazione</i>	<i>Latitudine</i>	<i>Longitudine (M.te Mario)</i>	<i>Altitudine m s.l.m.</i>	<i>Bacino Idrografico</i>	<i>Periodo dati disponibili</i>
1	Acqualagna	43° 37' 00" N	0° 14' 00" E	204	Metauro	1950-1989
2	Acquasanta	42° 46' 10" N	0° 57' 30" E	392	Tronto	1950-1989
3	Amandola	42° 58' 45" N	0° 54' 26" E	550	Tenna	1950-1989
4	Amatrice	42° 37' 41" N	0° 50' 15" E	955	Tronto	1950-1989
5	Ancona (Baraccola)	43° 33' 50" N	1° 03' 30" E	37	Musone	1950-1989
6	Ancona (Torrette)	43° 36' 35" N	1° 00' 05" E	6	Esino-Musone	1950-2000
7	Apiro	43° 23' 30" N	0° 40' 48" E	516	Esino	1950-1989
8	Arcevia	43° 29' 58" N	0° 29' 13" E	535	Misa	1950-1989
9	Arquata del Tronto	42° 46' 19" N	0° 50' 34" E	720	Tronto	1950-1989
10	Ascoli Piceno	42° 51' 30" N	1° 08' 35" E	136	Tronto	1950-2000
11	Badia Tedalda	43° 42' 25" N	0° 15' 48" W	756	Marecchia	1950-1989
12	Barbara	43° 34' 55" N	0° 34' 25" E	219	Misa	1950-1989
13	Barchi	43° 40' 20" N	0° 28' 33" E	319	Metauro	1950-1989

14	Bargni	43° 45' 00" N	0° 24' 05" E	273	Metauro	1950-1989
15	Bocca Serriola	43° 31' 00" N	0° 06' 00" W	730	Metauro	1950-1989
16	Bocca Trabaria	43° 35' 40" N	0° 13' 00" W	1049	Metauro	1950-1989
17	Bolognola	42° 59' 30" N	0° 46' 30" E	1070	Chienti	1950-2000
18	Cagli	43° 32' 48" N	0° 11' 47" E	276	Metauro	1950-1989
19	Calcinelli	43° 45' 00" N	0° 28' 00" E	64	Metauro	1950-1989
20	Camerino	43° 08' 10" N	0° 37' 00" E	664	Potenza	1950-2000
21	Campodiegoli	43° 18' 35" N	0° 22' 20" E	507	Esino	1950-1989
22	Candelara	43° 51' 15" N	0° 26' 00" E	210	Arzilla	1950-1989
23	Cantiano	43° 28' 15" N	0° 10' 30" E	360	Metauro	1950-1989
24	Capo il Colle	42° 50' 30" N	1° 01' 00" E	539	Tronto	1950-1989
25	Capodacqua	42° 44' 10" N	0° 47' 20" E	817	Tronto	1950-1989
26	Carpegna	43° 46' 47" N	0° 07' 08" W	748	Foglia	1950-1989
27	Cattolica	43° 57' 45" N	0° 17' 25" E	10	Conca-Ventena	1950-1989
28	Cingoli	43° 22' 25" N	0° 45' 50" E	631	Musone	1950-1989
29	Corinaldo	43° 38' 57" N	0° 35' 38" E	203	Misa	1950-1989
30	Croce di Casale	42° 54' 42" N	0° 58' 35" E	657	Tronto	1950-1989
31	Cupramontana	43° 26' 40" N	0° 39' 53" E	506	Esino	1950-1989
32	Diga di Carassai	43° 02' 30" N	1° 13' 40" E	130	Aso	1950-1989
33	Diga di Quarto	43° 53' 30" N	0° 22' 00" W	325	Savio	1950-1989
34	Fabriano	43° 20' 10" N	0° 27' 14" E	357	Esino	1950-2000
35	Falconara	43° 38' 00" N	0° 55' 00" E	9	Esino	1950-1989
36	Fano	43° 50' 30" N	0° 33' 58" E	14	Arzilla-Metauro	1950-1989
37	Fermo	43° 09' 41" N	1° 15' 40" E	280	Tenna	1950-1989
38	Filottrano	43° 26' 08" N	0° 53' 35" E	270	Musone	1950-1989
39	Fiume di Fiastra	43° 02' 15" N	0° 42' 53" E	618	Chienti	1950-1989
40	Fonte Avellana	43° 28' 13" N	0° 16' 30" E	689	Cesano	1950-1989
41	Foresta della Cesana	43° 42' 22" N	0° 17' 30" E	640	Metauro	1950-1989
42	Fossombrone	43° 41' 20" N	0° 21' 22" E	116	Metauro	1950-1989
43	Gelagna Alta	43° 04' 48" N	0° 33' 00" E	711	Chienti	1950-1989
44	Grottammare	42° 59' 25" N	1° 25' 00" E	4	Menocchia-Tesino	1950-2000
45	Grottazzolina	43° 06' 41" N	1° 09' 08" E	227	Tenna	1950-1989
46	Jesi	43° 31' 27" N	0° 47' 40" E	96	Esino	1950-1989
47	Loreto	43° 26' 15" N	1° 09' 12" E	127	Musone	1950-1989
48	Lornano	43° 17' 10" N	0° 58' 07" E	232	Chienti	1950-1989
49	Loro Piceno	43° 10' 00" N	0° 57' 48" E	435	Chienti	1950-1989
50	Macerata	43° 18' 00" N	1° 00' 00" E	280	Chienti	1950-2000
51	Mercatello	43° 38' 47" N	0° 07' 00" W	429	Metauro	1950-1989
52	Moie	43° 30' 00" N	0° 40' 40" E	110	Esino	1950-1989
53	Mondolfo	43° 45' 05" N	0° 38' 35" E	144	Cesano	1950-1989
54	Monte Jottone	43° 59' 45" N	0° 17' 12" W	442	Savio	1950-1989
55	Montecarotto	43° 31' 34" N	0° 36' 38" E	388	Misa	1950-1989
56	Montecassiano	43° 21' 45" N	0° 59' 00" E	215	Potenza	1950-1989
57	Montemonaco	42° 53' 53" N	0° 52' 18" E	987	Aso	1950-1989

58	Monterubbiano	43° 05' 06" N	1° 15' 50" E	463	Aso	1950-1989
59	Montottone	43° 03' 42" N	1° 07' 57" E	277	Ete Vivo	1950-1989
60	Morrovalle	43° 18' 48" N	1° 07' 44" E	246	Chienti	1950-1989
61	Novafeltria	43° 53' 30" N	0° 09' 43" W	293	Marecchia	1950-1989
62	Offida	42° 55' 54" N	1° 14' 20" E	293	Tronto	1950-1989
63	Osimo	43° 29' 06" N	1° 01' 58" E	265	Musone	1950-2000
64	Ostra	43° 36' 48" N	0° 42' 20" E	193	Misa	1950-1989
65	Pedaso	43° 05' 45" N	1° 23' 27" E	4	Aso-Menocchia	1950-2000
66	Pennabilli	43° 49' 00" N	0° 11' 20" W	600	Marecchia	1950-1989
67	Pergola	43° 33' 46" N	0° 23' 00" E	306	Cesano	1950-1989
68	Pesaro	43° 54' 45" N	0° 27' 30" E	11	Foglia	1950-2000
69	Petriano	43° 46' 43" N	0° 16' 55" E	327	Foglia	1950-1989
70	Petriolo	43° 13' 15" N	1° 00' 45" E	271	Chienti	1950-1989
71	Piagge	43° 43' 51" N	0° 31' 00" E	201	Cesano	1950-1989
72	Pianello	43° 30' 48" N	0° 06' 05" E	384	Metauro	1950-1989
73	Piè del Sasso	42° 59' 35" N	0° 32' 55" E	653	Chienti	1950-1989
74	Pievebovigliana	43° 03' 32" N	0° 38' 00" E	451	Chienti	1950-1989
75	Pioraco	43° 10' 46" N	0° 32' 03" E	441	Potenza	1950-1989
76	Poggio Cancelli	42° 33' 30" N	0° 51' 14" E	1314	Tronto	1950-1989
77	Porto S. Elpidio	43° 15' 30" N	1° 18' 25" E	6	Chienti-Tenna	1950-2000
78	Recanati	43° 24' 18" N	1° 05' 30" E	235	Potenza	1950-2000
79	Ripatransone	43° 00' 00" N	1° 18' 45" E	494	Tesino	1950-1989
80	Roseto degli Abruzzi	42° 41' 00" N	1° 34' 00" E	3	Vomano	1950-1989
81	S. Angelo in Pontano	43° 05' 47" N	0° 56' 43" E	473	Chienti	1950-1989
82	S. Angelo in Vado	43° 40' 00" N	0° 02' 30" W	359	Metauro	1950-1989
83	S. Lorenzo in Campo	43° 36' 15" N	0° 29' 37" E	209	Cesano	1950-1989
84	S. Maria di Pieca	43° 04' 30" N	0° 49' 45" E	467	Chienti	1950-1989
85	S. Marino	43° 56' 30" N	0° 00' 25" W	652	Marecchia	1950-1989
86	S. Martino	42° 44' 00" N	0° 59' 57" E	783	Tronto	1950-1989
87	S. Severino Marche	43° 13' 42" N	0° 43' 32" E	344	Potenza	1950-1989
88	Sarnano	43° 02' 08" N	0° 51' 00" E	539	Tenna	1950-1989
89	Sassocorvaro	43° 46' 50" N	0° 02' 32" E	331	Foglia	1950-1989
90	Sassoferrato	43° 26' 06" N	0° 24' 25" E	312	Esino	1950-1989
91	Senigallia	43° 42' 44" N	0° 45' 56" E	5	Misa-Esino	1950-2000
92	Serralta	43° 18' 40" N	0° 43' 48" E	546	Potenza	1950-1989
93	Serravalle del Chienti	43° 04' 30" N	0° 30' 12" E	647	Chienti	1950-1989
94	Servigliano	43° 04' 48" N	1° 02' 27" E	215	Tenna	1950-1989
95	Sorti	43° 07' 10" N	0° 29' 56" E	716	Potenza	1950-1989
96	Spinetoli	42° 53' 15" N	1° 19' 13" E	52	Tronto	1950-1989
97	Tavoleto	43° 50' 36" N	0° 08' 30" E	426	Foglia	1950-1989
98	Tolentino	43° 12' 33" N	0° 49' 52" E	224	Chienti	1950-2000
99	Urbania	43° 40' 03" N	0° 04' 12" E	273	Metauro	1950-1989
100	Urbino	43° 43' 30" N	0° 11' 00" E	451	Metauro	1950-2000
101	Verghereto	43° 47' 31" N	0° 27' 00" W	812	Savio	1950-1989
102	Ville S. Lucia	43° 11' 15" N	0° 24' 06" E	664	Potenza	1950-1989



Fig.1 *Distribuzione geografica delle stazioni pluviometriche.*

### 3. Elaborazioni statistiche

#### 3.1 Precipitazioni medie annuali e stagionali

Al fine di ottenere i dati necessari per la predisposizione delle cartografie della precipitazione media annuale, primaverile, estiva, autunnale ed invernale sono stati calcolati per ogni stazione i totali annui e stagionali dei valori raccolti e le relative medie in mm dal 1950 al 1989 indicate nella seguente tabella:

<i>Stazione</i>	<i>Media annuale</i>	<i>Media primaverile</i>	<i>Media estiva</i>	<i>Media autunnale</i>	<i>Media invernale</i>
Acqualagna	972,9	245,1	190,9	291,7	245,9
Acquasanta	946,9	241,3	166,3	278,1	261,8
Amandola	951,7	251,7	204,8	257,8	237,8
Amatrice	879,7	221,0	134,2	249,3	275,7
Ancona (Baraccola)	814,9	187,1	165,6	254,0	209,3
Ancona (Torrette)	759,9	172,6	153,5	236,3	198,6
Apiro	1137,8	284,8	245,2	310,4	298,1
Arcevia	945,8	238,8	190,7	267,7	249,4
Arquata del Tronto	1124,8	296,2	183,2	331,3	315,3
Ascoli Piceno	803,5	202,7	170,2	236,4	194,3
Badia Tedalda	1240,6	311,7	192,1	355,2	380,8
Barbara	901,1	226,2	193,4	256,5	226,0
Barchi	906,0	220,7	209,6	258,9	217,4
Bargni	881,8	218,2	187,4	263,0	214,1
Bocca Serriola	1183,1	304,5	210,8	336,2	332,3
Bocca Trabaria	1470,1	386,3	219,6	431,1	433,5
Bolognola	1626,6	429,4	269,0	473,5	456,3
Cagli	1291,8	326,1	235,8	377,1	354,0
Calcinelli	923,1	221,7	197,0	279,1	225,8
Camerino	880,2	212,8	173,5	247,1	246,7
Campodiegoli	1263,1	310,5	244,8	363,0	347,0
Candelara	763,8	184,1	171,7	239,0	169,5
Cantiano	1279,0	329,3	212,2	367,5	374,3
Capo il Colle	892,2	230,3	164,8	264,1	233,1
Capodacqua	1060,4	273,7	162,5	303,6	321,8
Carpegna	1148,9	299,4	210,9	332,6	306,9
Cattolica	757,2	176,7	162,7	238,7	178,9
Cingoli	964,4	242,1	195,8	280,3	247,5
Corinaldo	923,6	225,6	193,0	269,4	236,3
Croce di Casale	1018,9	266,9	209,4	281,2	264,5
Cupramontana	970,9	240,6	202,7	275,6	252,3
Diga di Carassai	843,7	200,7	178,3	245,6	218,9
Diga di Quarto	882,8	229,4	181,0	258,5	215,7
Fabriano	949,9	229,3	201,6	269,5	251,5
Falconara	800,9	188,2	174,9	232,4	202,0

Fano	749,1	174,9	161,6	233,1	179,9
Fermo	735,8	173,2	148,9	218,7	195,2
Filottrano	826,5	203,2	170,1	242,0	211,4
Fiume di Fiastra	1213,5	323,9	201,9	336,7	352,1
Fonte Avellana	1738,9	446,0	280,5	482,1	532,4
Foresta della Cesana	977,7	241,4	196,7	290,3	249,6
Fossombrone	975,0	243,8	202,3	279,4	249,7
Gelagna Alta	1288,0	323,2	228,1	354,1	383,8
Grottammare	619,5	140,9	120,5	181,3	177,8
Grottazzolina	758,9	184,7	156,0	224,2	193,9
Jesi	801,4	197,4	167,7	225,2	211,6
Loreto	795,6	188,7	163,3	241,2	202,5
Lornano	752,6	184,7	175,1	211,7	181,4
Loro Piceno	831,1	204,3	184,9	230,1	211,8
Macerata	805,0	196,4	188,1	232,4	188,2
Mercatello	1162,1	288,0	180,6	346,2	348,2
Moie	868,5	208,1	185,5	248,3	227,5
Mondolfo	805,9	187,5	174,4	237,7	207,0
Monte Jottone	942,5	239,2	198,4	278,0	228,8
Montecarotto	927,7	226,6	207,3	263,6	231,0
Montecassiano	767,6	185,7	163,8	226,0	192,4
Montemonaco	1217,1	313,3	224,7	348,4	331,3
Monterubbiano	777,3	177,2	162,6	237,4	199,9
Montottone	924,4	234,3	200,2	264,6	225,6
Morrovalle	757,8	186,7	155,7	220,5	195,0
Novafeltria	963,4	240,1	211,0	283,1	229,8
Offida	847,9	214,5	176,4	239,2	217,5
Osimo	697,9	160,0	153,8	217,2	167,3
Ostra	852,6	212,0	183,4	240,7	217,2
Pedaso	696,8	153,4	148,8	204,2	187,8
Pennabilli	1083,1	265,6	218,9	310,2	288,7
Pergola	998,5	250,7	210,3	287,0	252,0
Pesaro	776,3	184,9	171,3	237,4	183,1
Petriano	916,8	233,9	186,2	277,2	220,4
Petriolo	832,3	203,4	194,4	233,2	201,2
Piagge	852,2	205,0	190,5	249,0	208,3
Pianello	1271,7	326,6	210,6	376,0	359,8
Piè del Sasso	1273,4	322,3	221,2	342,9	388,6
Pievebovigliana	1044,0	258,3	205,2	288,1	293,5
Pioraco	1070,7	265,0	208,8	298,2	299,1
Poggio Cancelli	998,2	258,5	158,0	288,2	304,3
Porto S. Elpidio	680,2	151,9	139,0	214,6	174,9
Recanati	741,8	179,7	149,3	228,5	184,5
Ripatransone	818,2	189,5	163,1	251,2	214,1
Roseto degli Abruzzi	699,6	159,6	133,5	218,2	189,0
S. Angelo in Pontano	904,5	235,0	169,2	241,1	258,6
S. Angelo in Vado	1006,0	246,7	183,5	300,4	276,2
S. Lorenzo in Campo	878,0	216,9	188,5	255,4	218,4
S. Maria di Pieca	1061,3	275,0	208,3	291,4	286,6
S. Marino	868,5	213,4	188,0	266,3	200,5
S. Martino	1039,6	270,9	185,9	297,6	288,1

S. Severino Marche	790,5	195,5	169,2	215,4	211,2
Sarnano	1032,8	276,3	223,8	276,1	256,7
Sassocorvaro	784,2	196,3	162,6	239,0	187,3
Sassoferrato	1057,4	259,6	212,7	310,7	276,0
Senigallia	797,0	190,6	164,6	240,9	201,4
Serralta	913,4	228,9	196,5	249,4	239,3
Serravalle del Chienti	1277,4	320,2	222,1	350,9	385,3
Servigliano	821,8	206,5	187,5	223,6	205,9
Sorti	1456,0	352,3	248,5	403,4	453,5
Spinetoli	764,4	180,8	161,5	227,8	196,5
Tavoletto	881,1	219,2	185,1	266,6	210,6
Tolentino	862,1	210,9	193,6	237,1	220,9
Urbania	998,1	249,1	195,4	298,5	256,4
Urbino	847,6	208,0	185,8	253,9	199,5
Verghereto	1354,5	344,8	224,4	385,9	408,2
Ville S. Lucia	1319,5	336,6	250,6	356,8	381,8

Facendo riferimento ai principali bacini idrografici delle Marche, i dati elaborati sono stati poi utilizzati per realizzare la seguente ripartizione delle medie annue e stagionali della precipitazione dal 1950 al 1989 in base all'altitudine [Mennella, 1970]:

<i>Bacino Idrografico</i>	<i>Altitudine</i>	<i>Media annuale</i>	<i>Media primaverile</i>	<i>Media estiva</i>	<i>Media autunnale</i>	<i>Media invernale</i>
Foglia	tra 0 e 200 m	776,3	184,9	171,3	237,4	183,1
	tra 200 e 400 m	850,5	215,1	174,4	258,1	203,8
	tra 400 e 600 m	881,1	219,2	185,1	266,6	210,6
	tra 600 e 800 m	1148,9	299,4	210,9	332,6	306,9
	tra 800 e 1000 m	-	-	-	-	-
	tra 1000 e 1200 m	-	-	-	-	-
Metauro	tra 0 e 200 m	949,0	232,7	199,6	279,2	237,7
	tra 200 e 400 m	1075,9	270,2	203,2	316,6	287,2
	tra 400 e 600 m	1004,8	248,0	183,2	300,1	273,8
	tra 600 e 800 m	1080,4	273,0	203,7	313,2	290,9
	tra 800 e 1000 m	-	-	-	-	-
	tra 1000 e 1200 m	1470,1	386,3	219,6	431,1	433,5
Cesano	tra 0 e 200 m	805,9	187,5	174,4	237,7	207,0
	tra 200 e 400 m	909,6	224,2	196,4	263,8	226,2
	tra 400 e 600 m	-	-	-	-	-
	tra 600 e 800 m	1738,9	446,0	280,5	482,1	532,4
	tra 800 e 1000 m	-	-	-	-	-
	tra 1000 e 1200 m	-	-	-	-	-
Misa	tra 0 e 200 m	852,6	212,0	183,4	240,7	217,2
	tra 200 e 400 m	917,5	226,1	197,9	263,1	231,1
	tra 400 e 600 m	945,8	238,8	190,7	267,7	249,4
	tra 600 e 800 m	-	-	-	-	-
	tra 800 e 1000 m	-	-	-	-	-
	tra 1000 e 1200 m	-	-	-	-	-

Esino	tra 0 e 200 m	823,6	197,9	176,1	235,3	213,7
	tra 200 e 400 m	1003,7	244,4	207,1	290,1	263,7
	tra 400 e 600 m	1123,9	278,6	230,9	316,3	299,1
	tra 600 e 800 m	-	-	-	-	-
	tra 800 e 1000 m	-	-	-	-	-
	tra 1000 e 1200 m	-	-	-	-	-
Musone	tra 0 e 200 m	805,3	187,9	164,4	247,6	205,9
	tra 200 e 400 m	762,2	181,6	161,9	229,6	189,4
	tra 400 e 600 m	-	-	-	-	-
	tra 600 e 800 m	964,4	242,1	195,8	280,3	247,5
	tra 800 e 1000 m	-	-	-	-	-
	tra 1000 e 1200 m	-	-	-	-	-
Potenza	tra 0 e 200 m	-	-	-	-	-
	tra 200 e 400 m	766,6	187,0	160,7	223,3	196,0
	tra 400 e 600 m	992,1	247,0	202,7	273,8	269,2
	tra 600 e 800 m	1218,6	300,6	224,2	335,8	360,7
	tra 800 e 1000 m	-	-	-	-	-
	tra 1000 e 1200 m	-	-	-	-	-
Chienti	tra 0 e 200 m	-	-	-	-	-
	tra 200 e 400 m	801,9	196,4	181,4	227,0	197,3
	tra 400 e 600 m	960,2	243,2	191,9	262,7	262,6
	tra 600 e 800 m	1263,1	322,4	218,3	346,2	377,4
	tra 800 e 1000 m	-	-	-	-	-
	tra 1000 e 1200 m	1626,6	429,4	269,0	473,5	456,3
Aso	tra 0 e 200 m	843,7	200,7	178,3	245,6	218,9
	tra 200 e 400 m	-	-	-	-	-
	tra 400 e 600 m	777,3	177,2	162,6	237,4	199,9
	tra 600 e 800 m	-	-	-	-	-
	tra 800 e 1000 m	1217,1	313,3	224,7	348,4	331,3
	tra 1000 e 1200 m	-	-	-	-	-
Tronto	tra 0 e 200 m	784,0	191,7	165,8	232,1	195,4
	tra 200 e 400 m	897,4	227,9	171,3	258,7	239,7
	tra 400 e 600 m	892,2	230,3	164,8	264,1	233,1
	tra 600 e 800 m	1061,1	278,0	192,9	303,4	289,3
	tra 800 e 1000 m	1060,4	273,7	162,5	303,6	321,8
	tra 1000 e 1200 m	-	-	-	-	-

E' da sottolineare che tale analisi è da considerarsi incompleta a causa di una carenza di stazioni pluviometriche a quote elevate. Comunque dal confronto fra i dati tabulati è possibile osservare che agli stessi livelli altitudinali i bacini studiati presentano similitudini nei quantitativi medi annuali e stagionali di acqua precipitata.

### 3.2 Distribuzione di probabilità della precipitazione mensile

Al fine di determinare la probabilità con cui si verifica per ogni località in esame una precipitazione mensile minore o uguale oppure maggiore ad una certa soglia è stata studiata la distribuzione di probabilità dei dati di precipitazione mensile, che è ben rappresentata dalla distribuzione continua Gamma.

La quantità di precipitazione mensile, nonostante sia calcolata a partire da misure arrotondate a valori discreti, è classificabile come variabile aleatoria continua, poiché può assumere un qualsiasi valore in un certo intervallo prefissato quando il numero di osservazioni è sufficientemente grande.

La distribuzione Gamma è definita attraverso la funzione densità di probabilità (PDF):

$$f(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{(\alpha-1)} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad \text{per } x > 0 \quad (1)$$

dove  $\alpha > 0$  è il parametro di forma e  $\beta > 0$  è il parametro di scala,  $x > 0$  è la quantità di precipitazione e  $\Gamma(\alpha)$  è la funzione Gamma definita come segue:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{(\alpha-1)} e^{-y} dy \quad (2)$$

e che soddisfa la relazione ricorrente fattoriale:  $\Gamma(\alpha+1) = \alpha \Gamma(\alpha)$ .

I parametri  $\alpha$  e  $\beta$  della PDF della distribuzione Gamma sono stati stimati attraverso il metodo del *maximum likelihood* dovuto a Thom (1958), secondo il quale:

$$\hat{\alpha} = \frac{1 + \sqrt{1 + (4D/3)}}{4D} \quad e \quad \hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}} \quad (3)$$

con

$$D = \ln(\bar{x}) - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(x_i) \quad (4)$$

dove  $n$  è il numero di osservazioni delle precipitazioni mensili e  $\bar{x}$  è la media mensile.

La probabilità di avere una precipitazione mensile minore o uguale ad un valore fissato  $\tilde{x}$  è data allora dalla funzione di distribuzione cumulativa (CDF) definita come:

$$F(\tilde{x}) = P(x \leq \tilde{x}) = \int_0^{\tilde{x}} f(x) dx. \quad (5)$$

Volendo calcolare la probabilità che la precipitazione mensile risulti maggiore al valore  $\tilde{x}$

si tiene conto della proprietà generale della CDF secondo la quale  $F(+\infty) = \int_0^{+\infty} f(x) dx = 1$

da cui segue che:

$$P(x > \tilde{x}) = 1 - \int_0^{\tilde{x}} f(x) dx. \quad (6)$$

E' da osservare che la PDF della distribuzione Gamma non è integrabile analiticamente, quindi per ottenere la CDF si procede per calcolo approssimato (vedi algoritmo di calcolo Par.8) [Abramowitz and Stegun, 1965] o utilizzando l'apposita tabella nell'Appendice I dopo aver standardizzato la variabile  $x$  con la trasformazione:

$$t = \frac{x}{\beta} \quad (7)$$

da cui segue la distribuzione Gamma standardizzata con  $\beta = 1$  [Wilks, 1995].

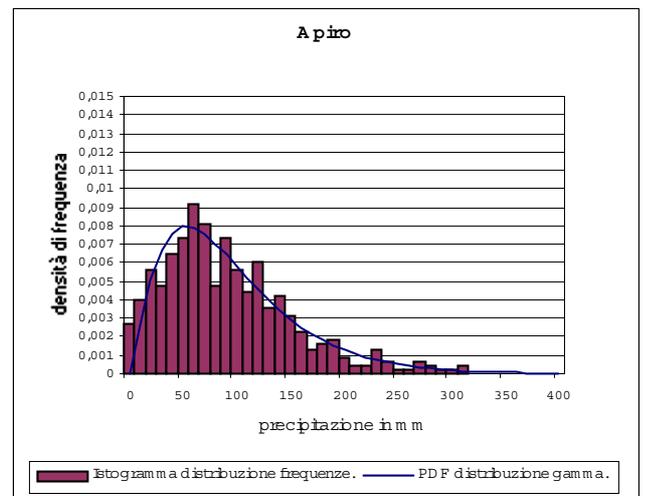
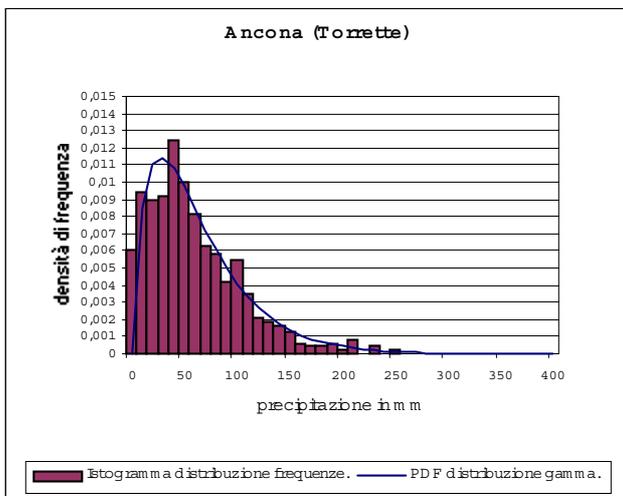
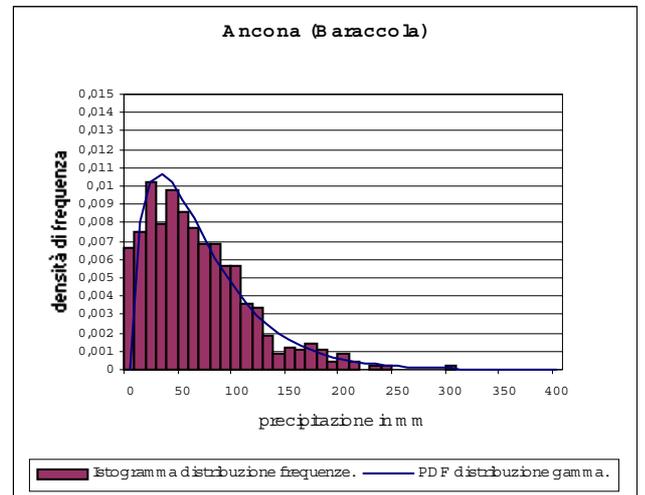
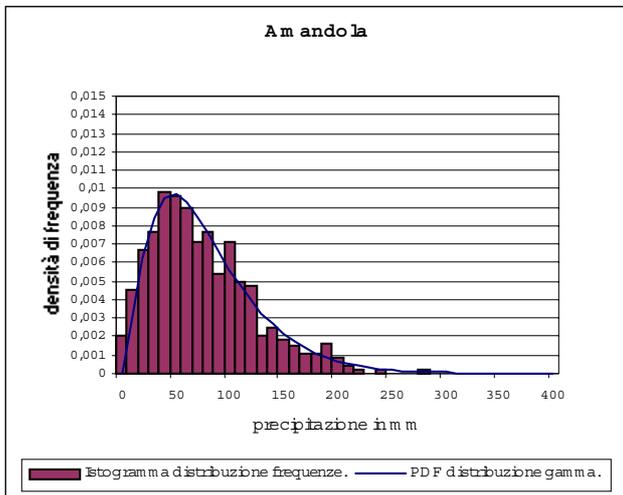
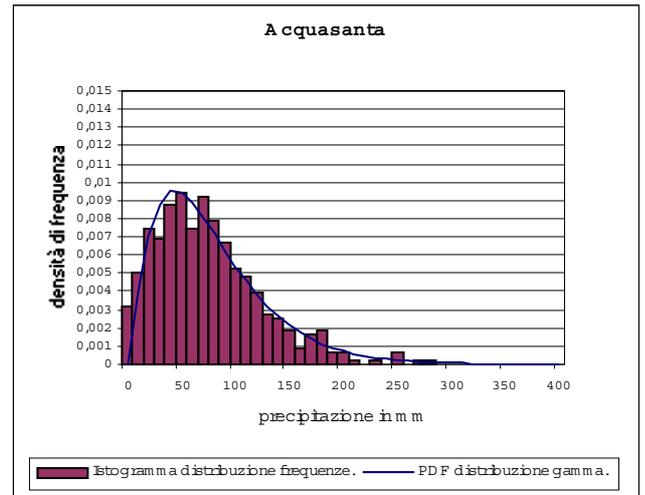
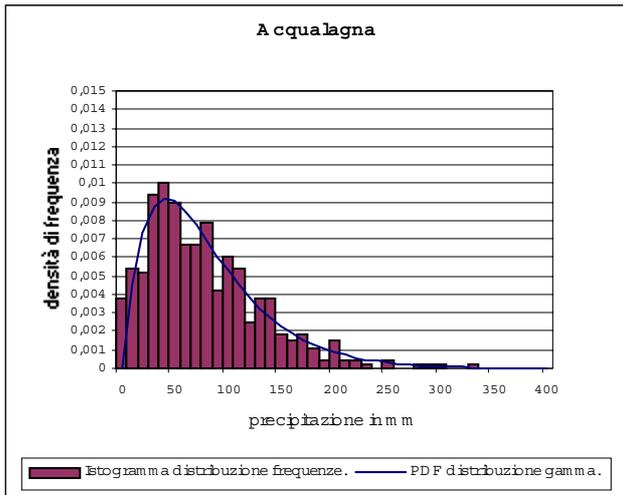
Sono riportati di seguito i valori dei parametri  $\alpha$  e  $\beta$  di ciascuna delle 91 stazioni di misura appartenenti al territorio marchigiano, calcolati relativamente al periodo 1950-1989, che definiscono univocamente la rispettiva PDF. Inoltre sono visualizzati i grafici rappresentanti gli istogrammi delle densità di frequenza dei dati di precipitazione mensile e l'andamento della PDF stessa.

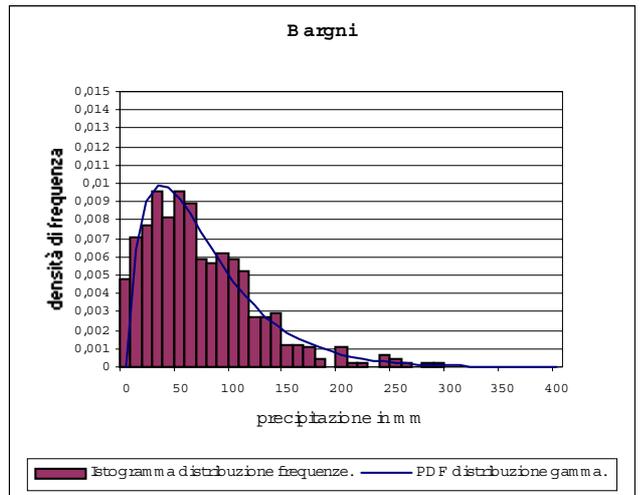
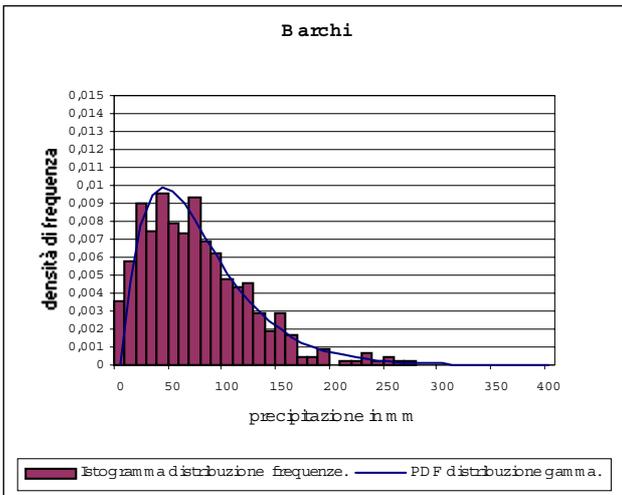
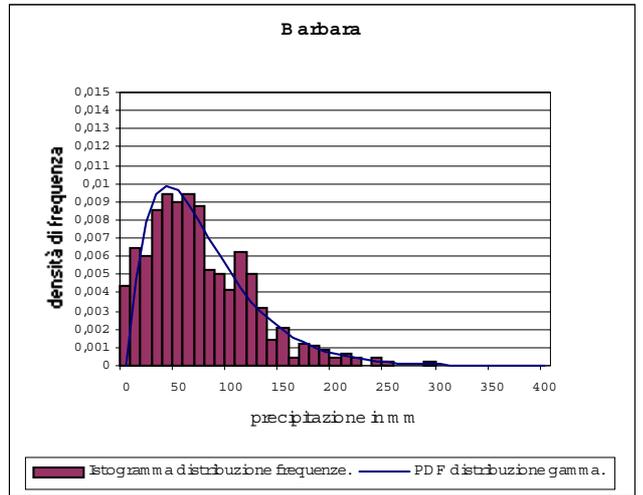
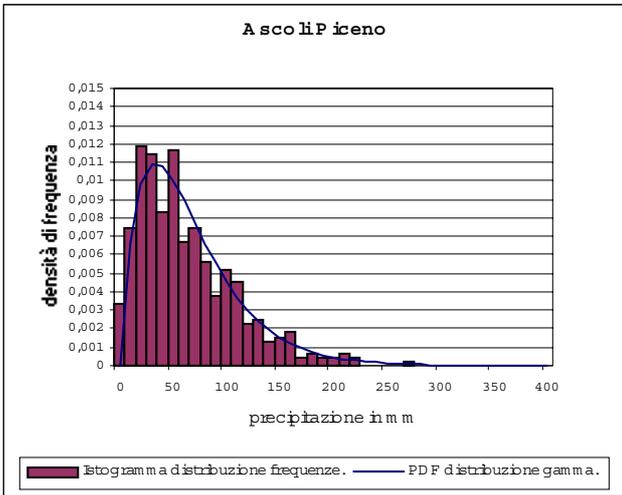
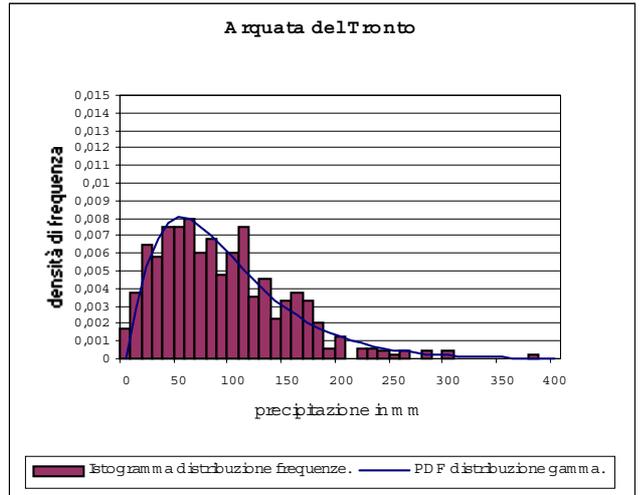
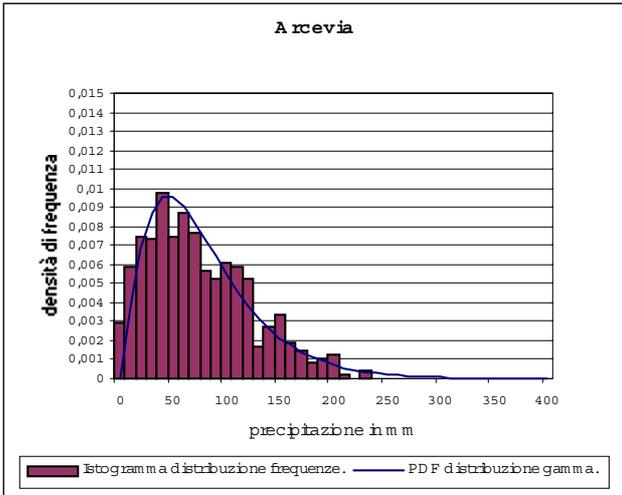
Tabella dei valori dei parametri  $\alpha$  e  $\beta$  di ciascuna stazione.

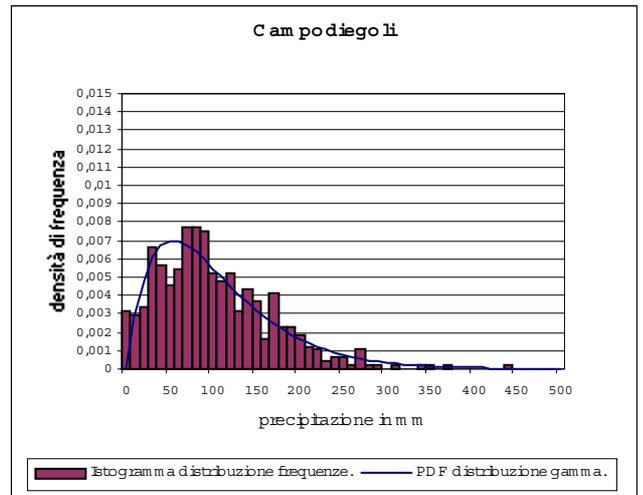
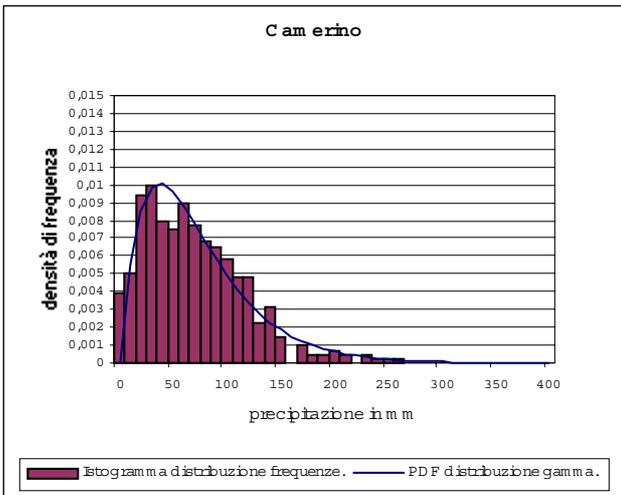
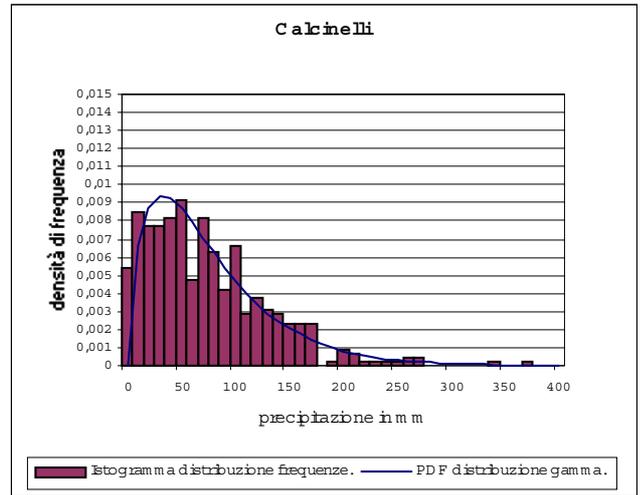
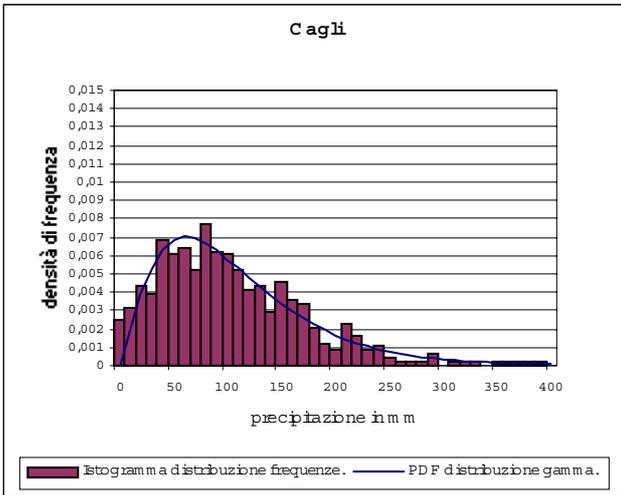
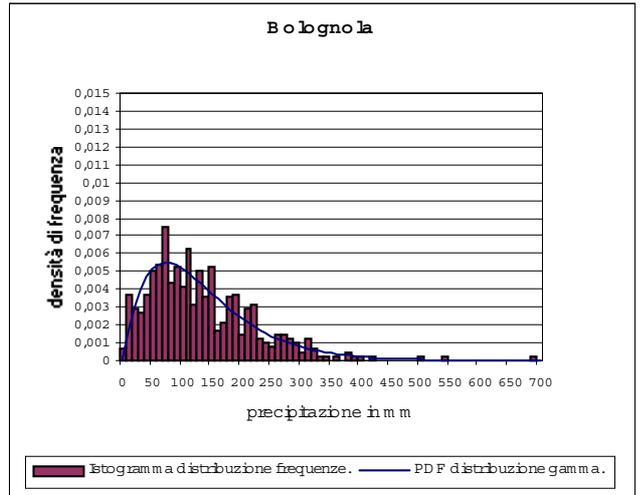
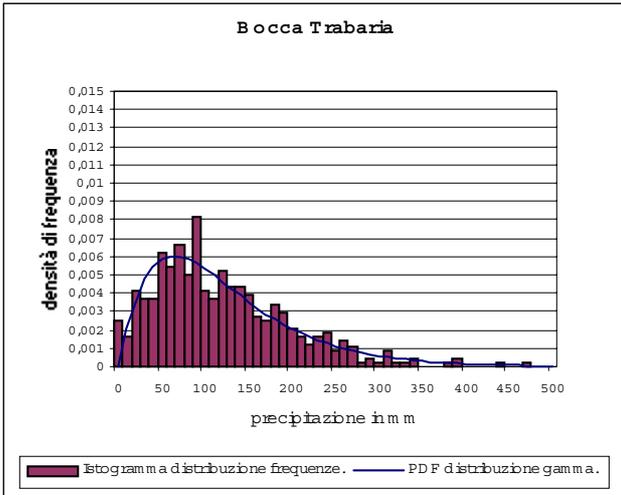
Stazione	$\alpha$	$\beta$
Acqualagna	2,07	39,26
Acquasanta	2,26	34,95
Amandola	2,50	31,77
Ancona (Baraccola)	1,72	39,41
Ancona (Torrette)	1,78	35,50
Apiro	2,28	41,52
Arcevia	2,32	34,04
Arquata del Tronto	2,24	41,79
Ascoli Piceno	2,00	33,42
Barbara	2,16	34,83
Barchi	2,19	34,50
Bargni	1,85	39,78
Bocca Trabaria	2,09	58,66
Bolognola	2,15	62,98
Cagli	2,32	46,48
Calcinelli	1,73	44,40
Camerino	2,03	36,09
Campodiegoli	2,05	51,26
Candelara	1,94	32,78
Cantiano	2,10	50,84
Capo il Colle	1,97	37,79
Capodacqua	2,20	40,10
Carpegna	2,31	41,41
Cingoli	2,03	39,66
Corinaldo	1,85	41,57
Croce di Casale	2,29	37,08
Cupramontana	1,85	43,79
Diga di Carassai	2,07	34,46
Fabriano	2,14	37,08
Falconara	1,77	37,80
Fano	1,96	31,83
Fermo	1,78	34,53
Filottrano	1,93	35,76
Fiume di Fiastra	2,21	45,82
Fonte Avellana	2,23	65,06
Foresta della Cesana	2,11	38,59
Fossombrone	2,28	35,67
Gelagna Alta	2,54	42,21
Grottammare	1,64	31,50
Grottazzolina	2,17	29,18
Jesi	1,90	35,13
Loreto	1,94	34,26
Lornano	2,23	28,10
Loro Piceno	2,16	32,02
Macerata	1,97	34,14

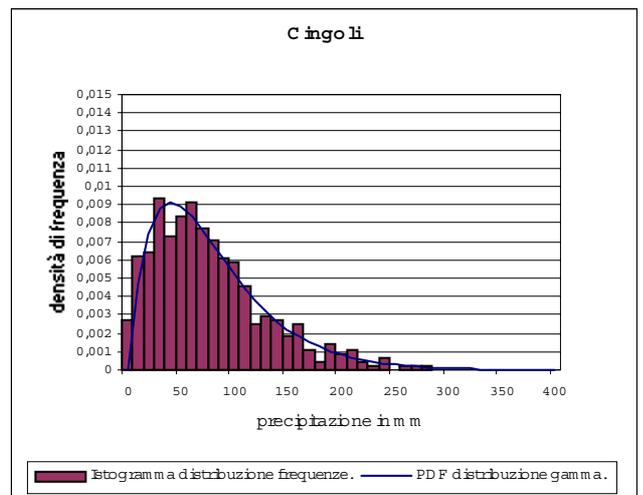
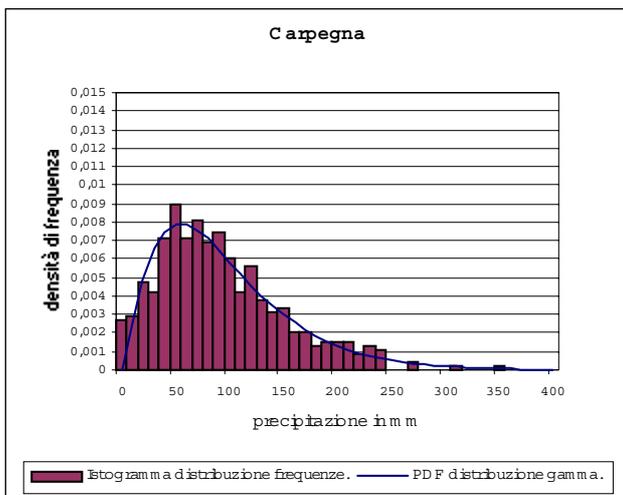
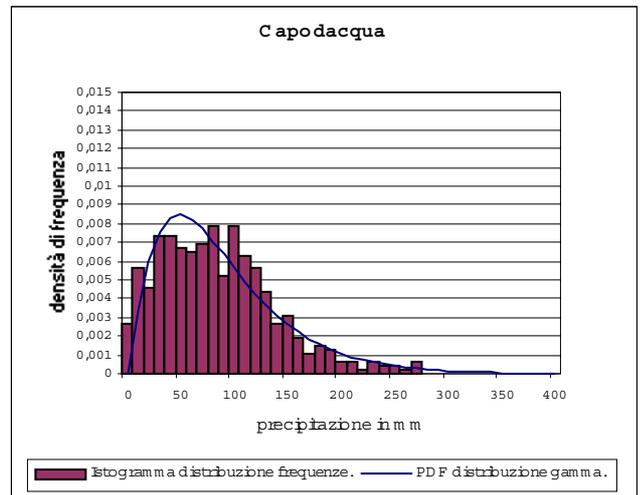
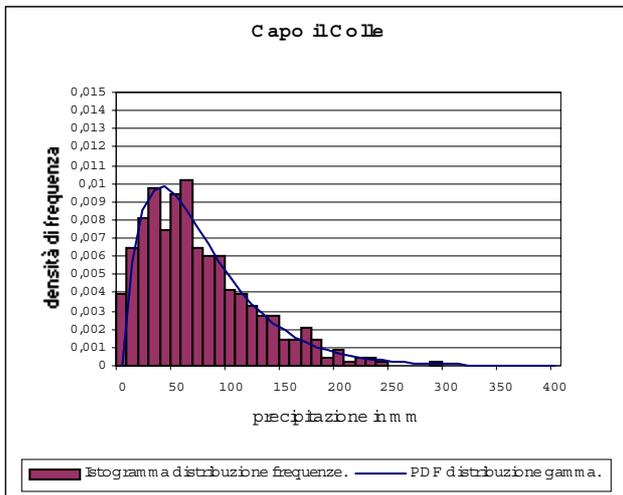
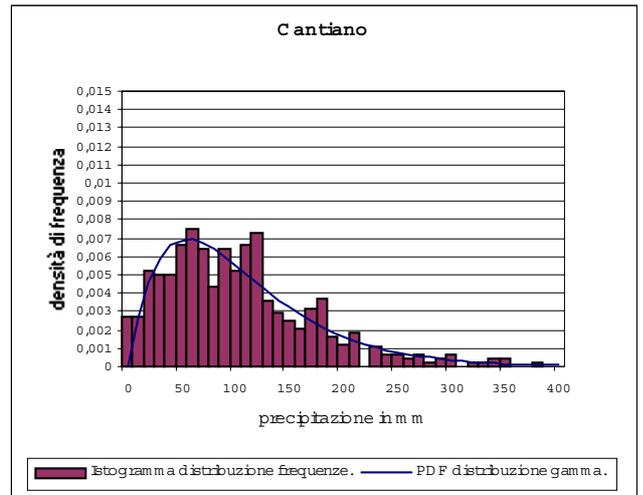
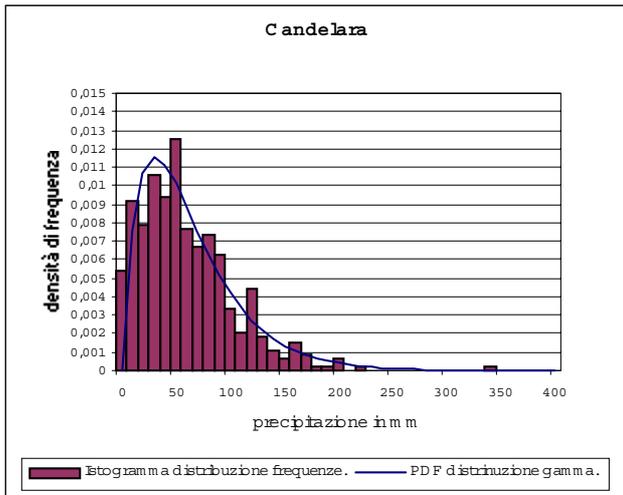
Mercatello	2,15	45,00
Moie	2,15	33,67
Mondolfo	1,91	35,14
Montecarotto	2,18	35,48
Montecassiano	1,98	32,34
Montemonaco	2,44	41,52
Monterubbiano	1,83	35,42
Montottone	2,17	35,54
Morrovalle	2,04	30,96
Novafeltria	2,17	37,02
Offida	1,88	37,67
Osimo	1,73	33,55
Ostra	2,05	34,90
Pedaso	1,72	33,28
Pennabilli	2,04	44,24
Pergola	2,20	37,78
Pesaro	1,84	35,16
Petriano	2,11	36,20
Petriolo	2,09	33,15
Piagge	2,20	32,31
Pianello	2,21	48,01
Pié del Sasso	2,46	43,15
Pievebovigliana	2,44	35,17
Pioraco	2,34	38,10
Porto S. Elpidio	1,81	31,27
Recanati	1,90	32,51
Ripatransone	1,97	34,67
S. Angelo in Pontano	1,91	39,42
S. Angelo in Vado	2,37	35,40
S. Lorenzo in Campo	2,20	33,26
S. Maria di Pieca	2,39	36,97
S. Martino	2,14	40,52
S. Severino Marche	1,92	34,34
Sarnano	2,55	33,70
Sassocorvaro	2,29	28,54
Sassoferrato	2,30	38,35
Senigallia	1,82	36,50
Serralta	1,91	39,85
Serravalle del Chienti	2,49	42,76
Servigliano	2,27	30,16
Sorti	2,26	53,66
Spinetoli	1,91	33,38
Tavoletto	2,04	35,98
Tolentino	2,31	31,10
Urbania	2,26	36,82
Urbino	2,06	34,28

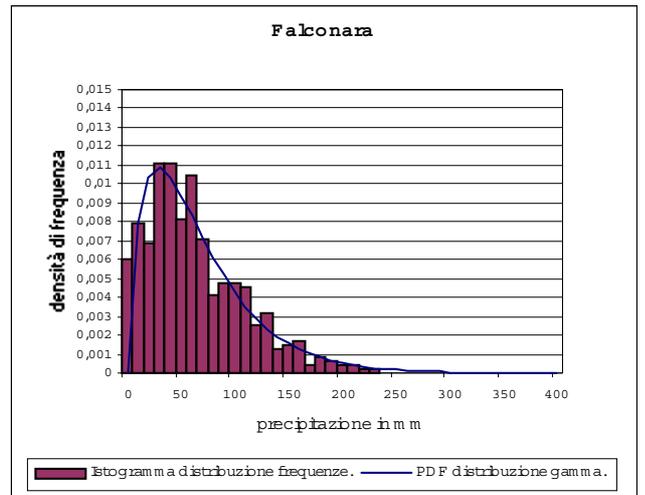
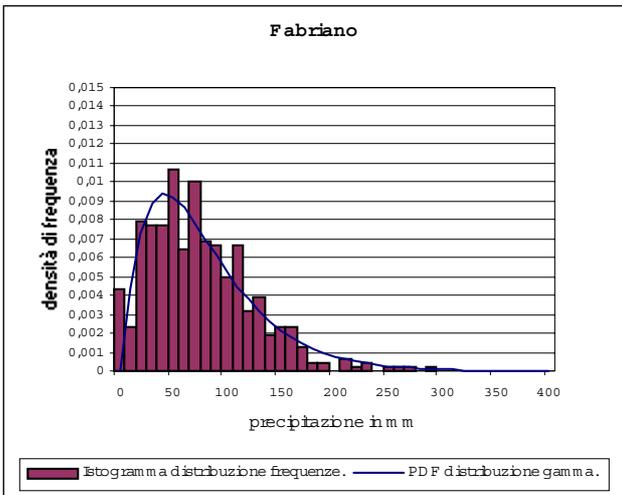
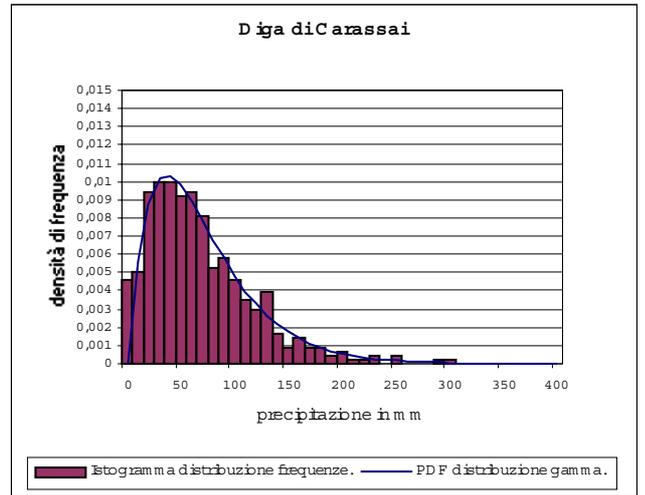
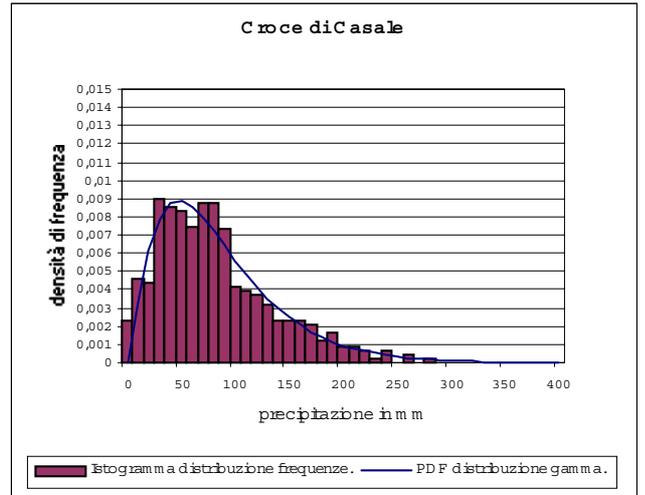
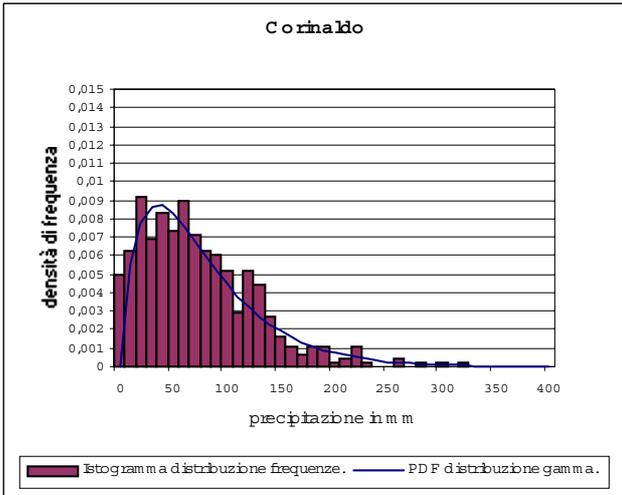
Grafici delle densità di frequenza della precipitazione mensile e relative PDF.

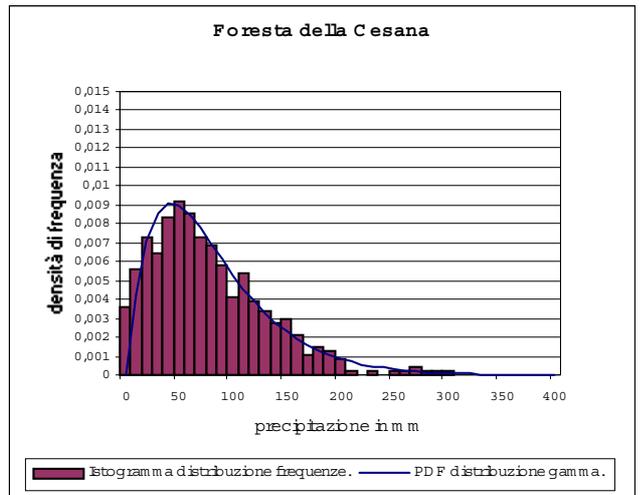
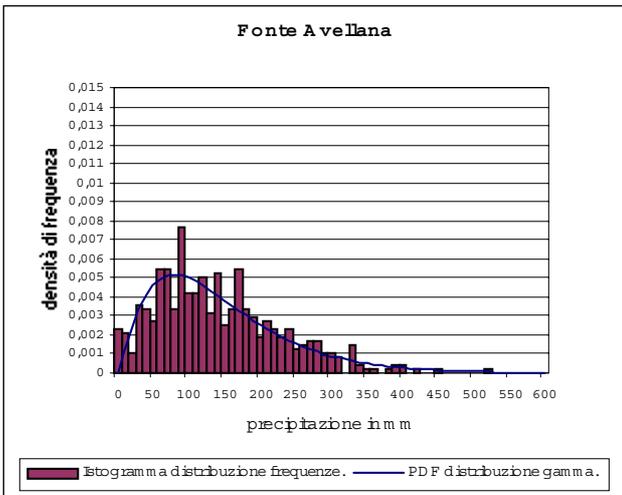
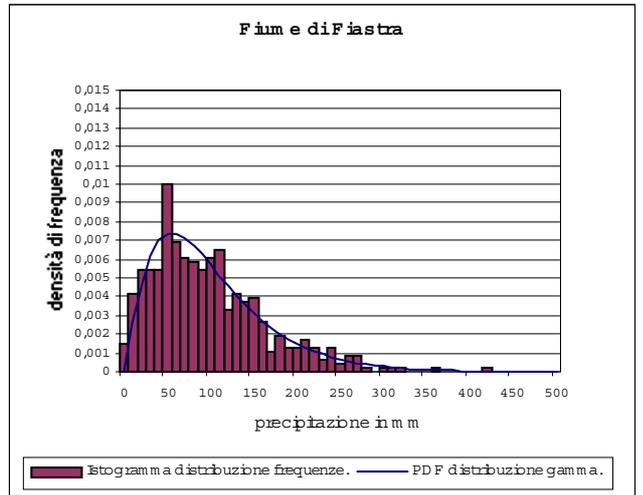
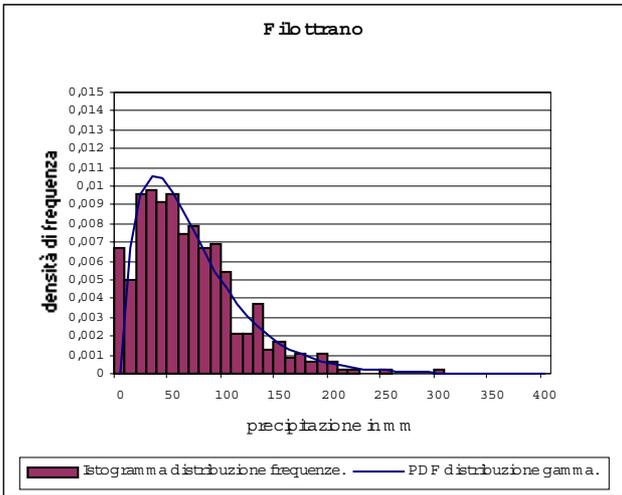
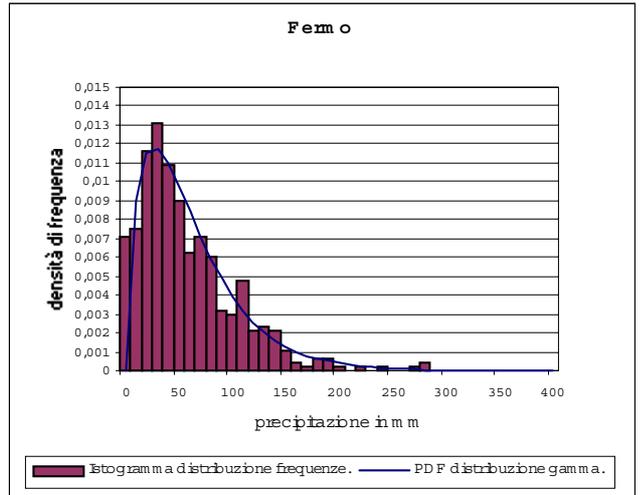
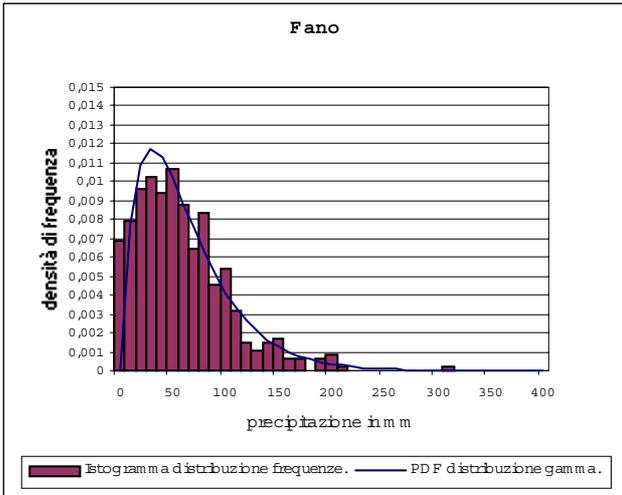


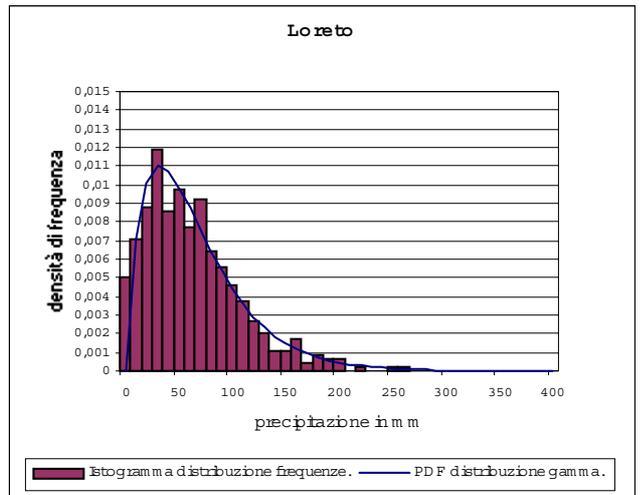
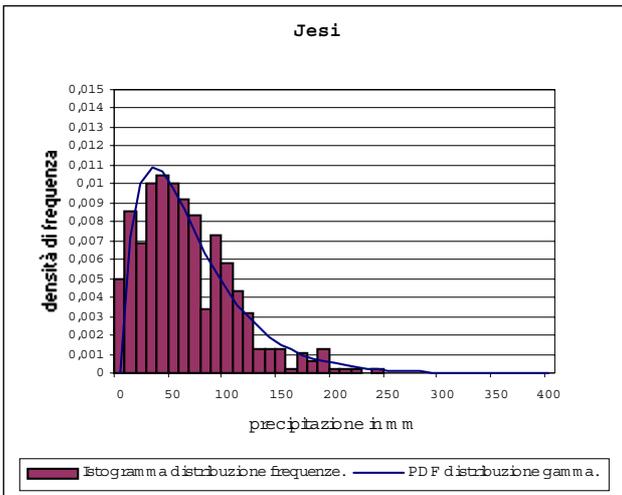
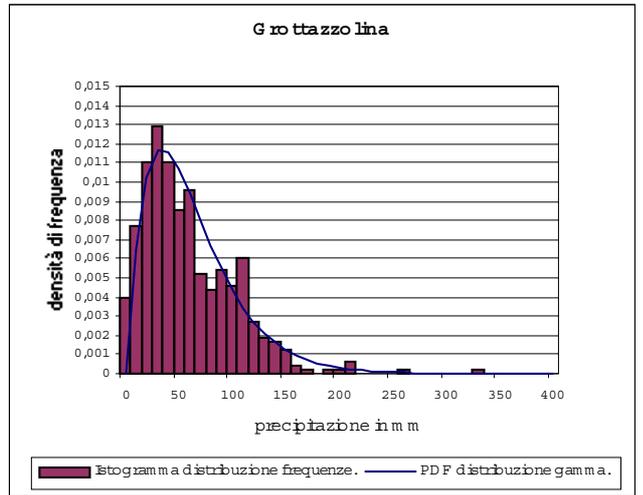
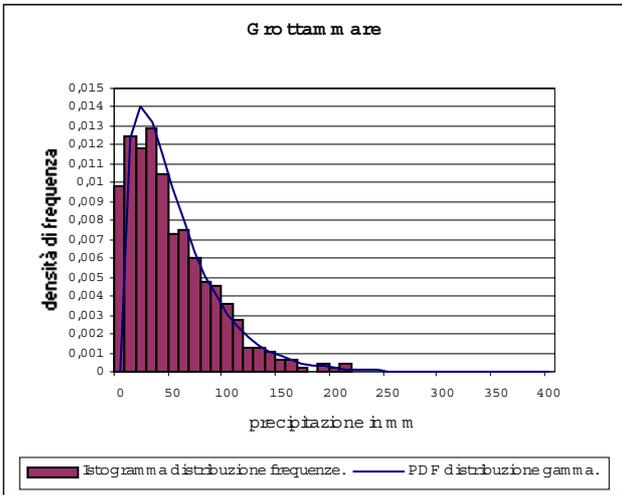
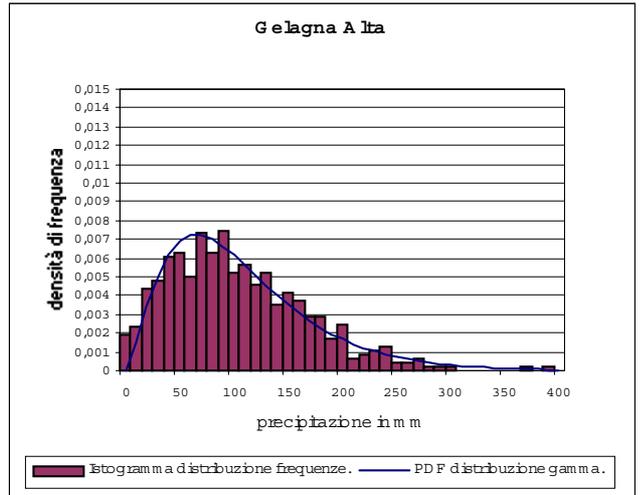
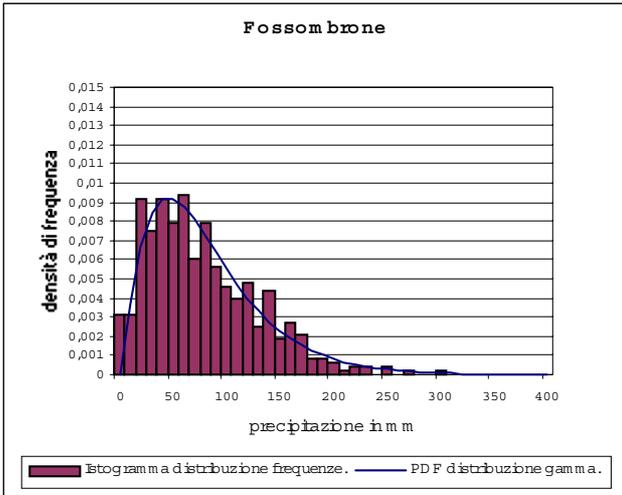


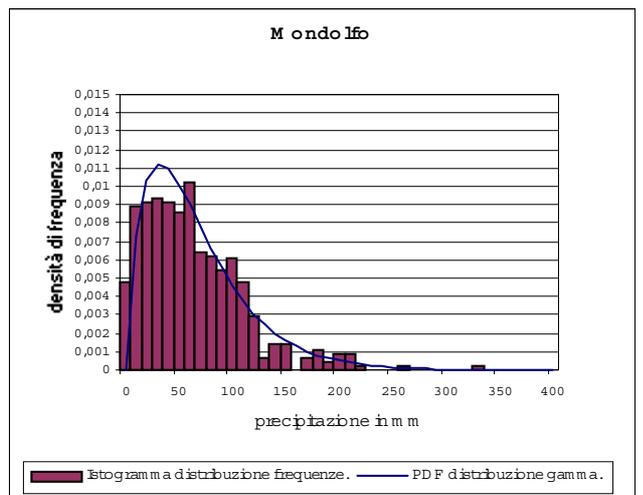
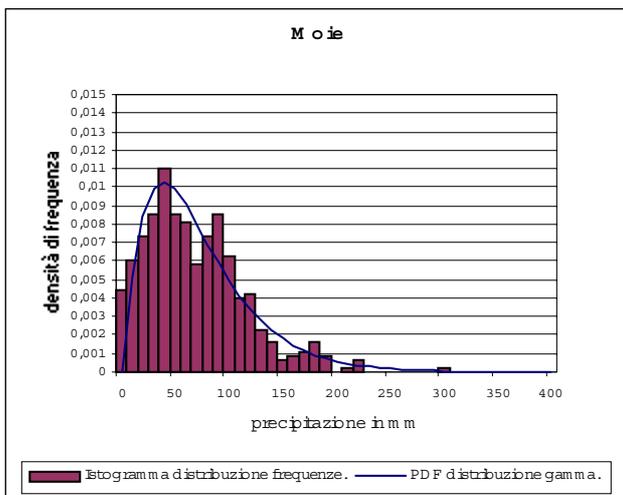
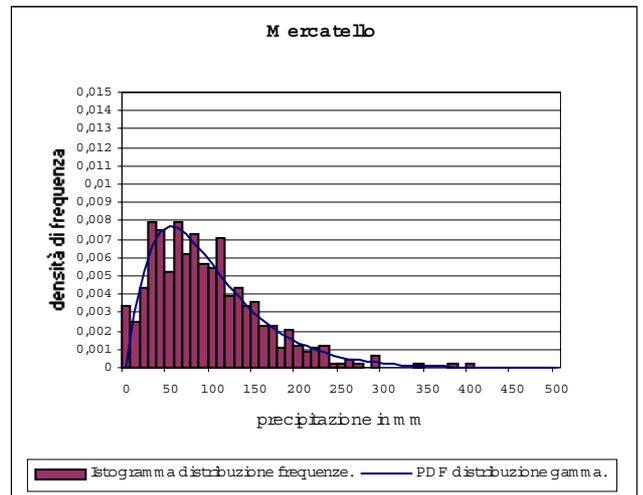
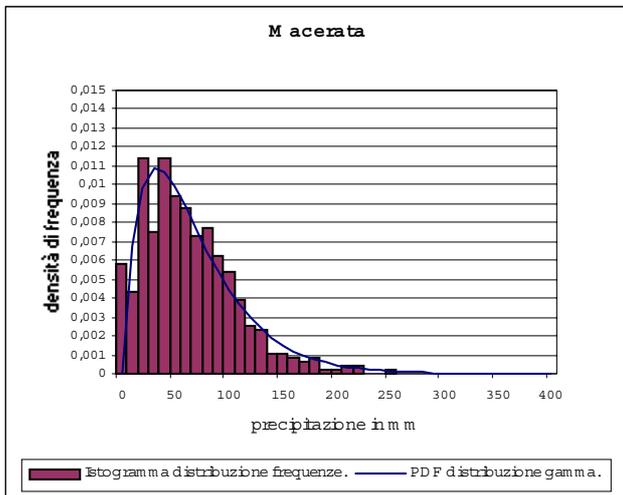
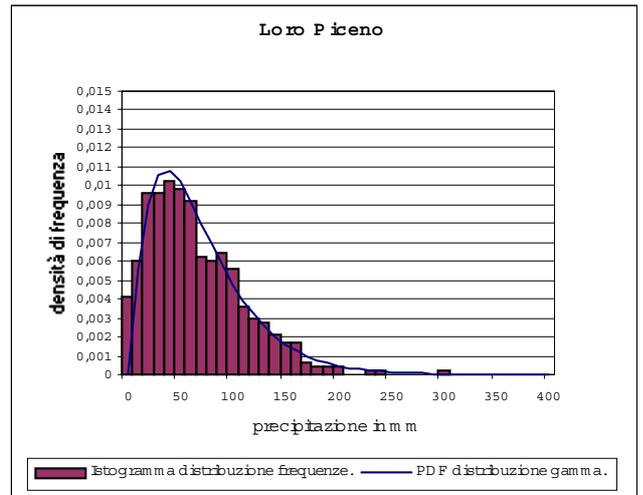
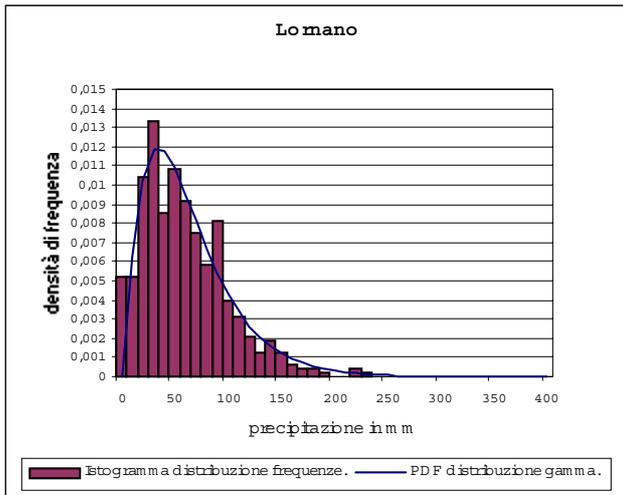


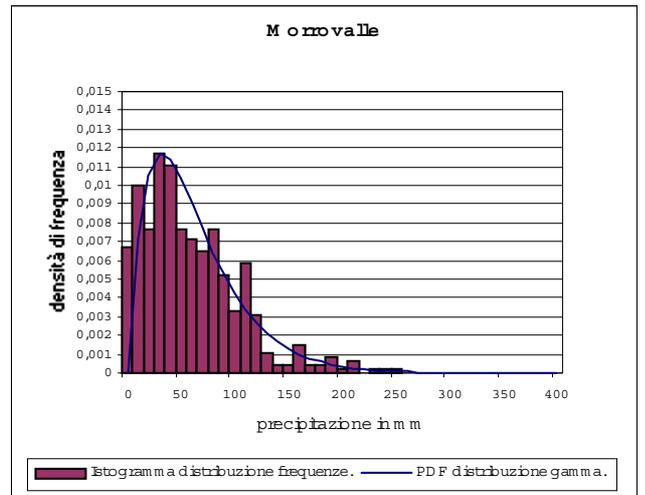
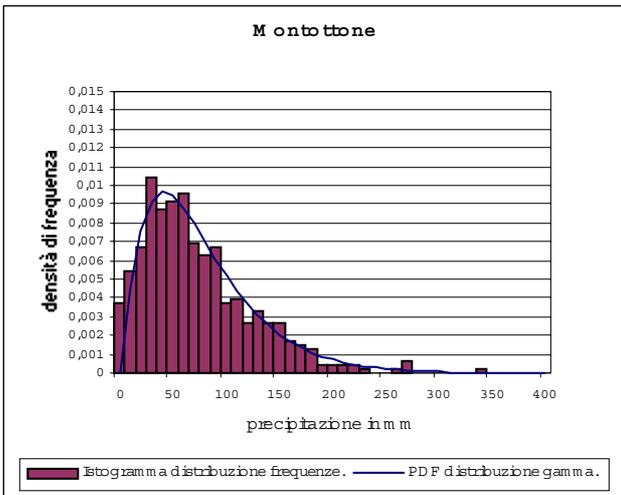
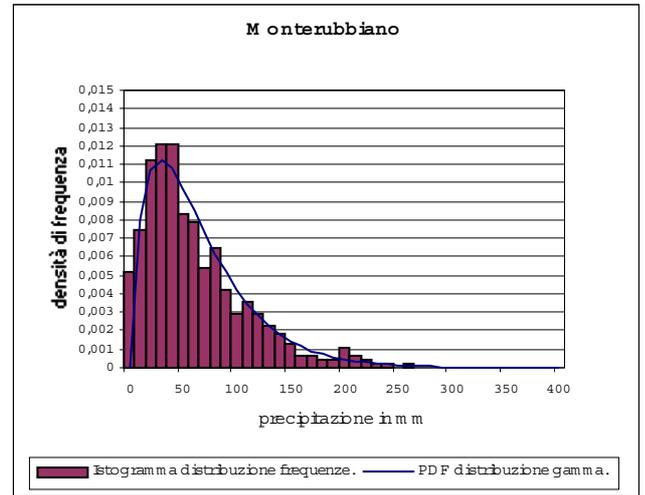
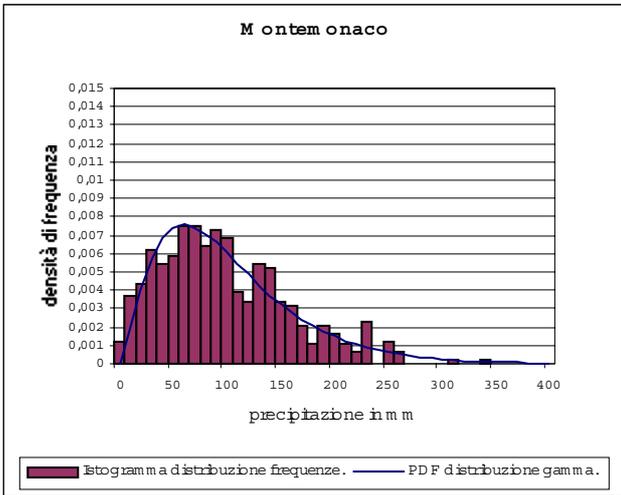
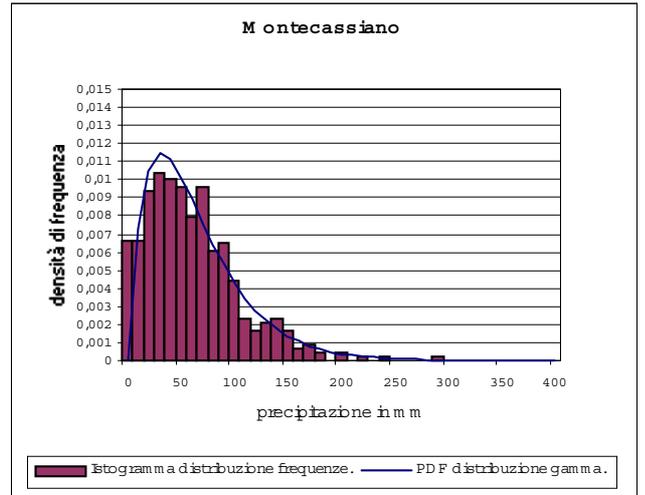
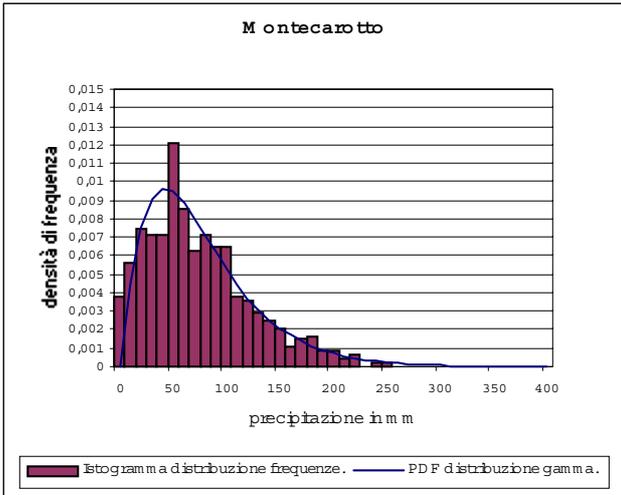


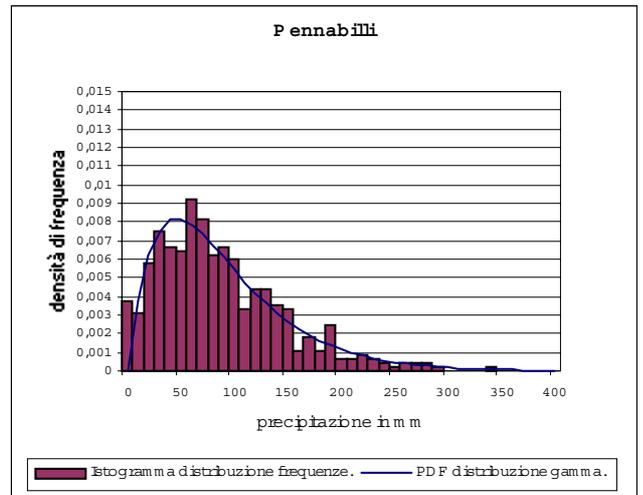
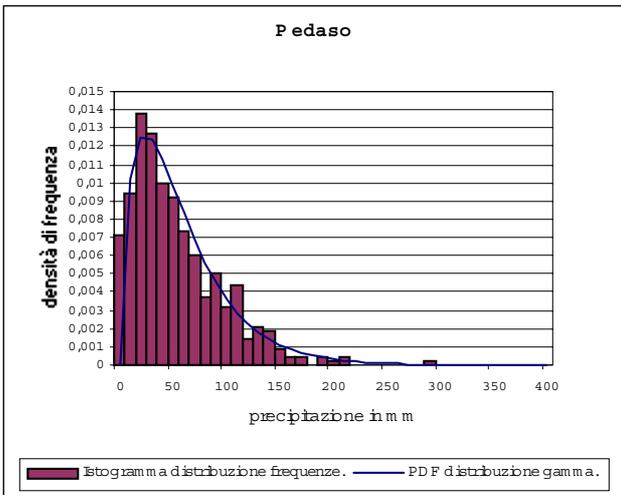
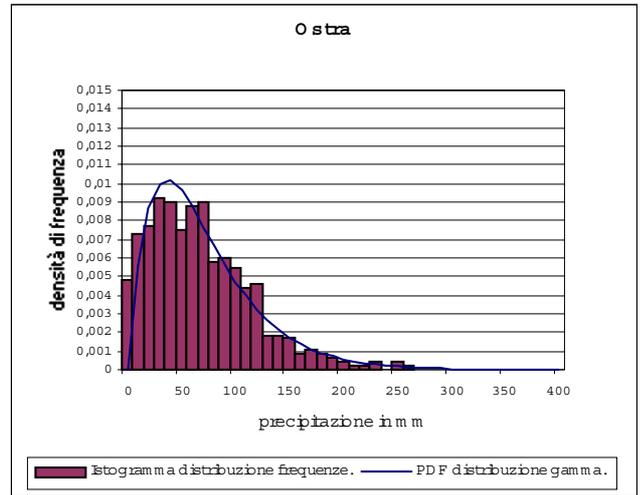
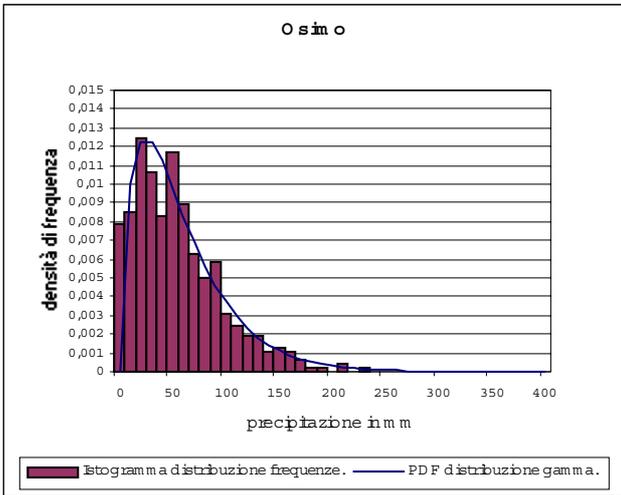
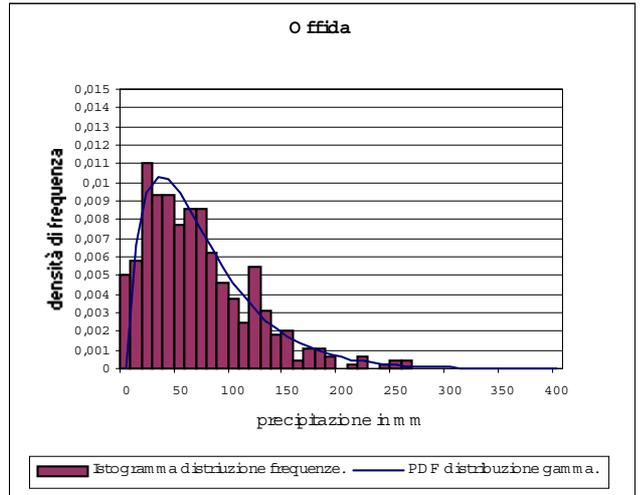
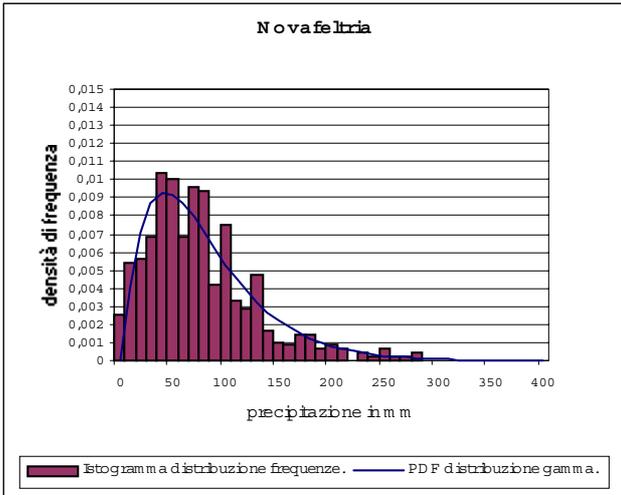


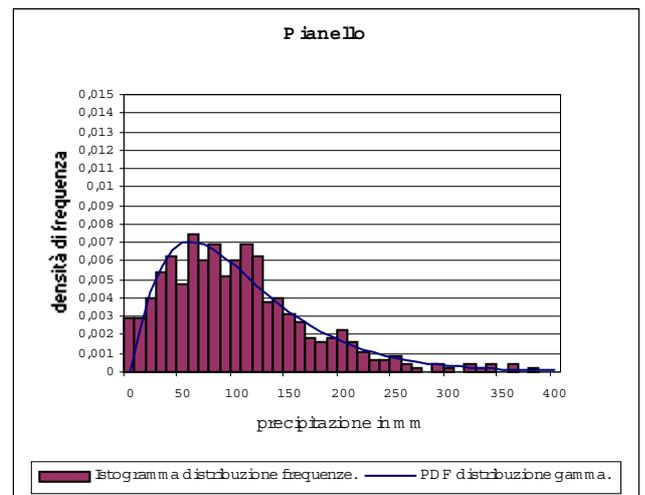
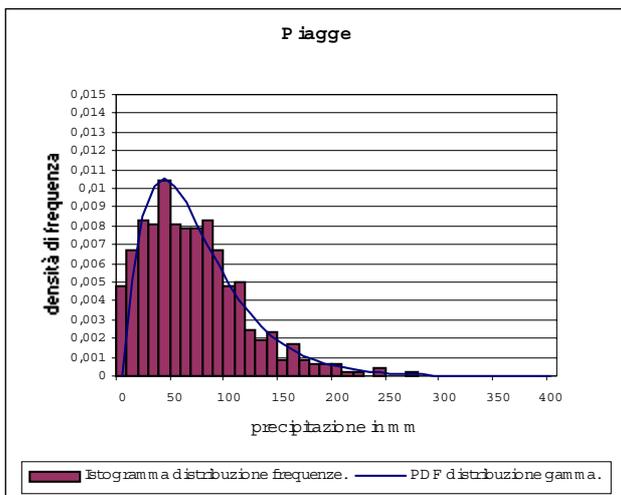
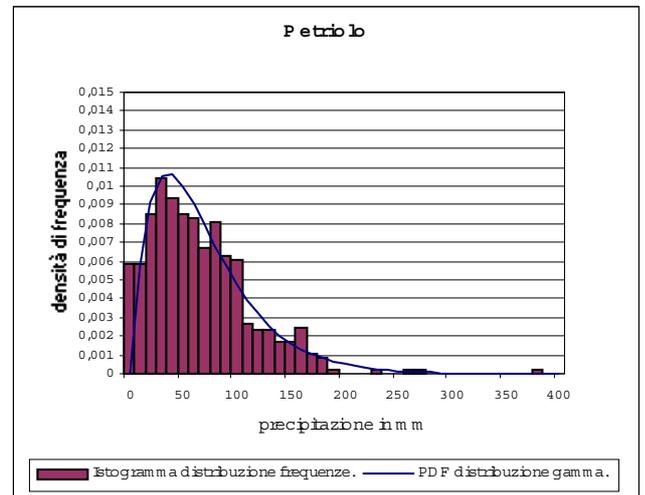
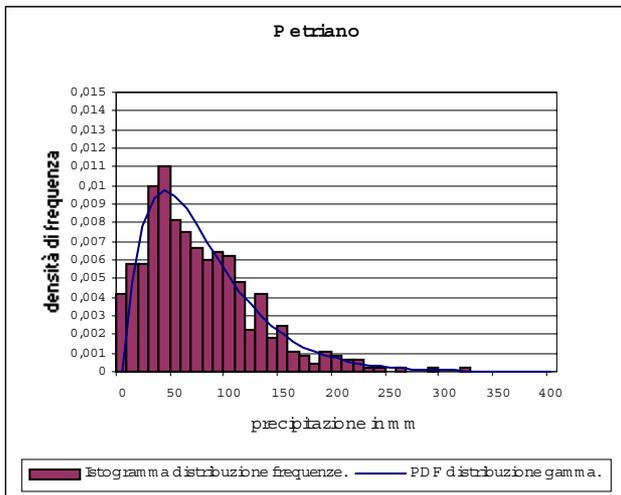
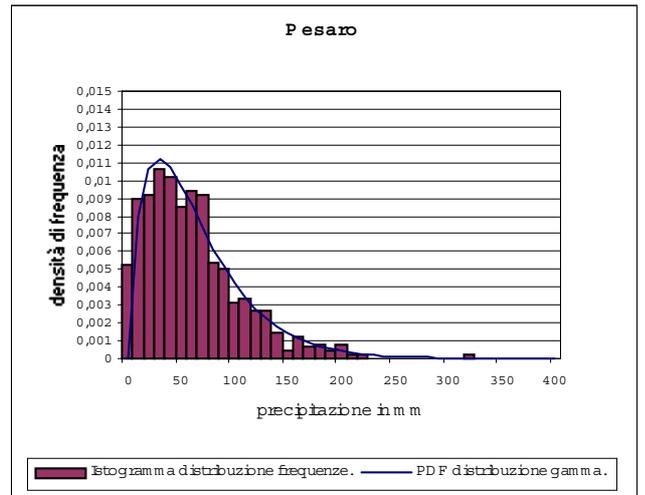
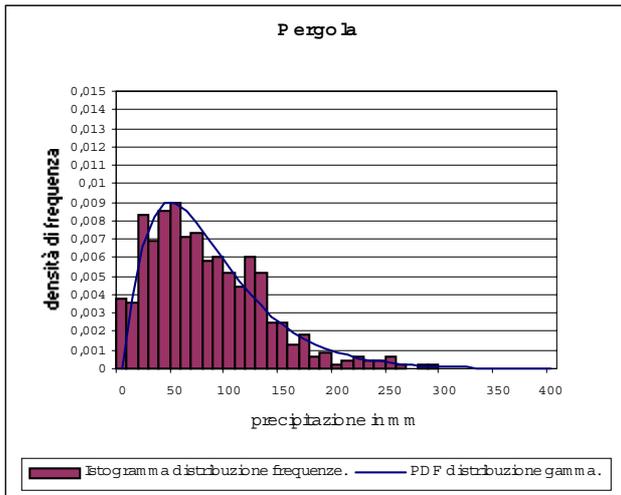


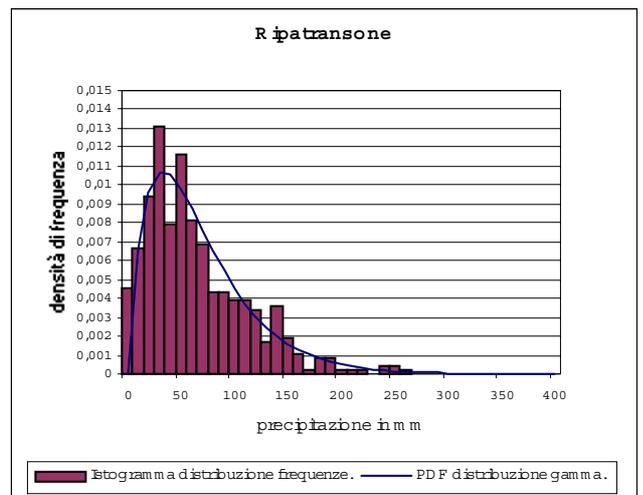
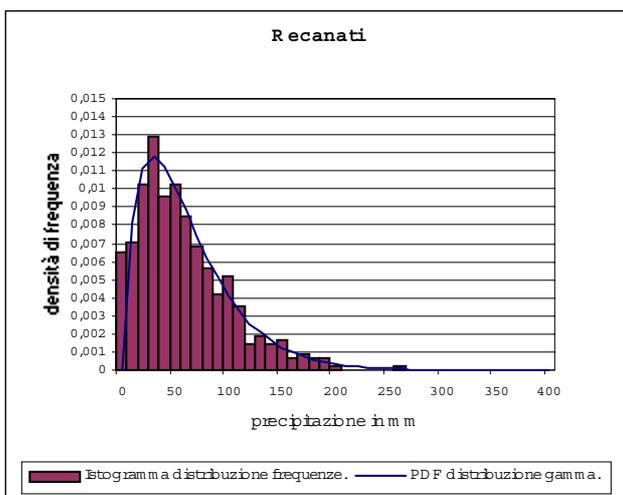
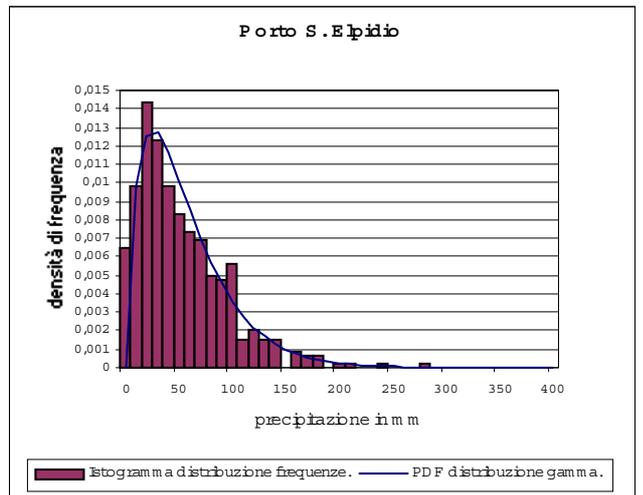
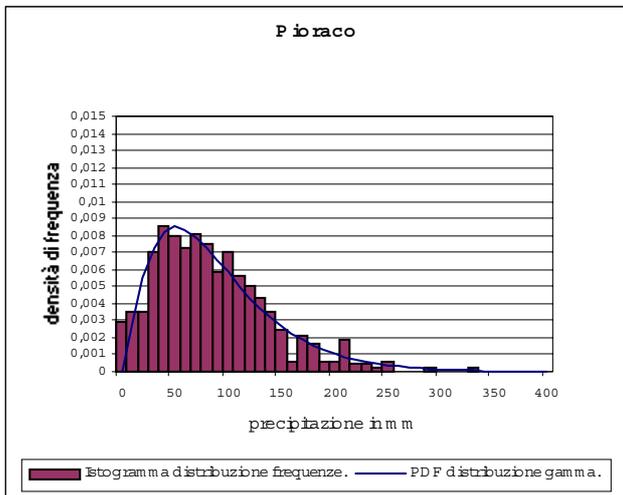
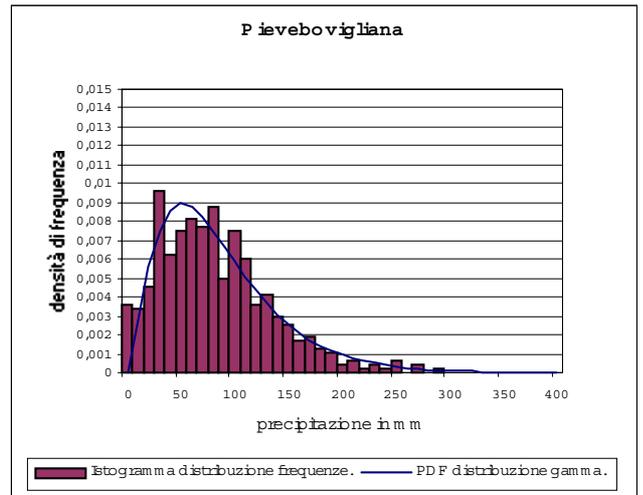
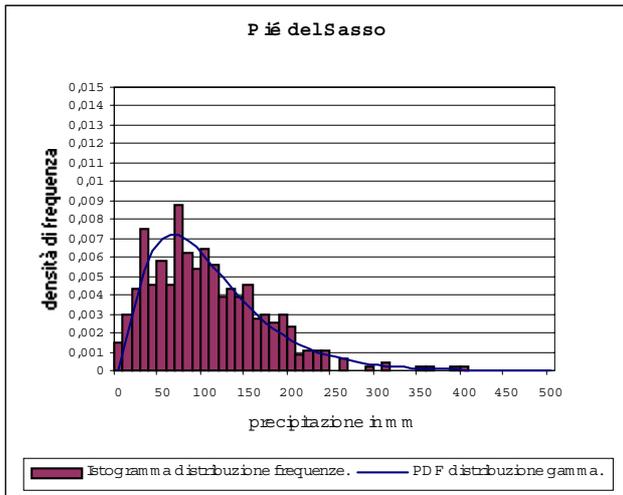


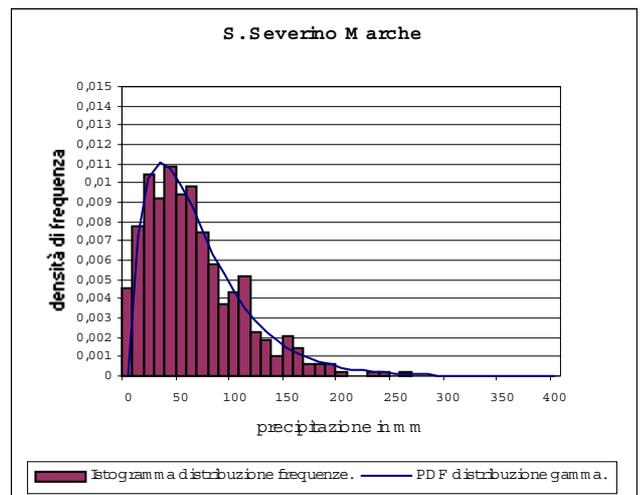
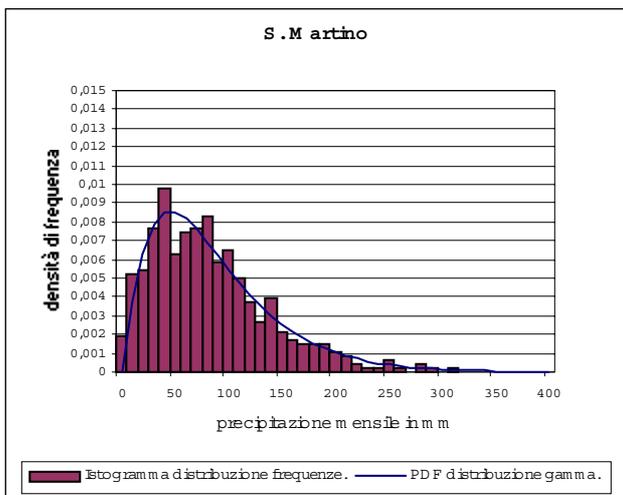
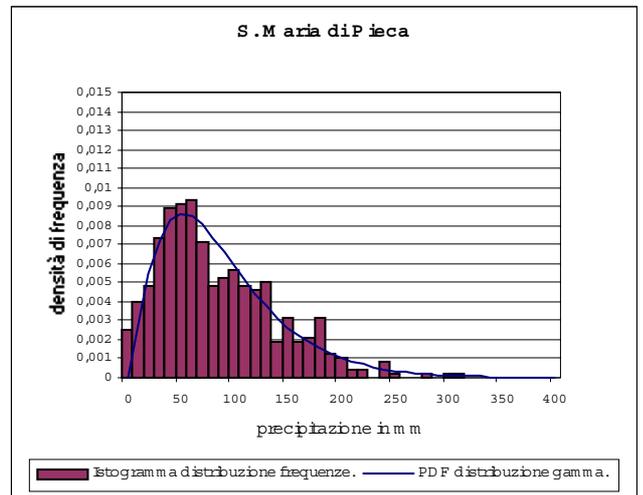
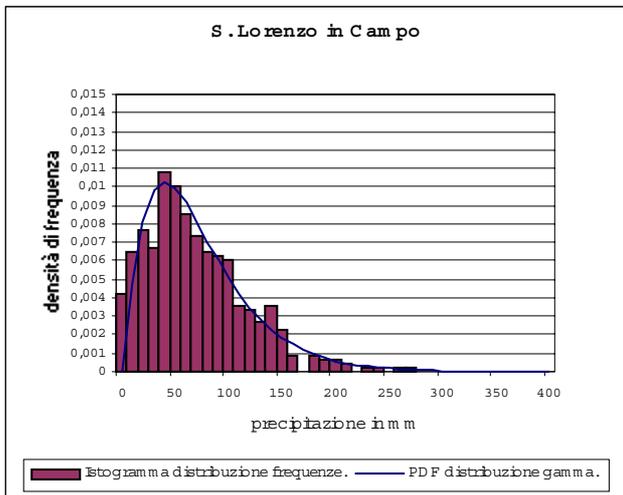
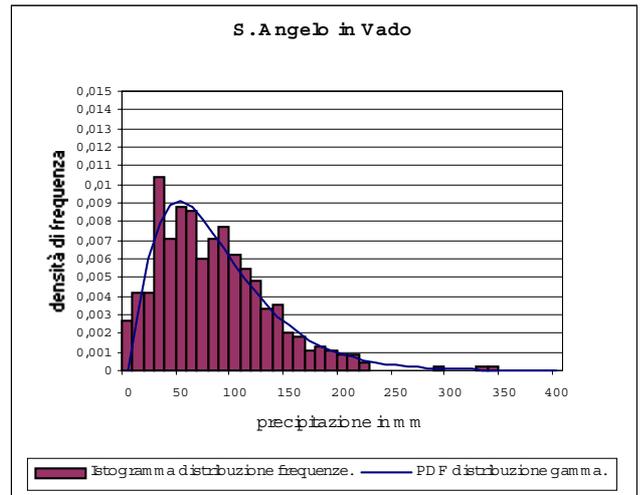
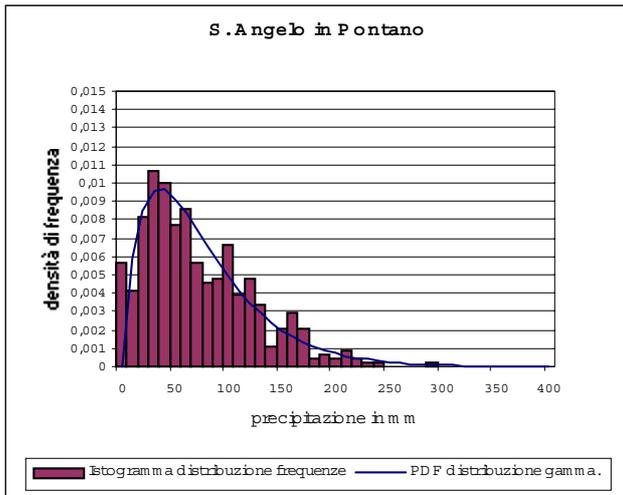


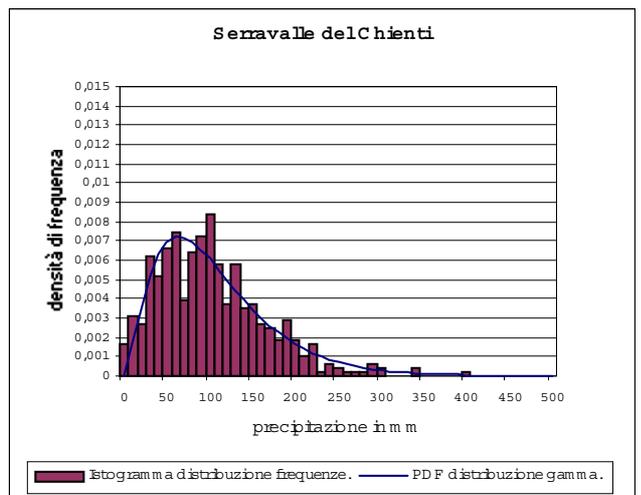
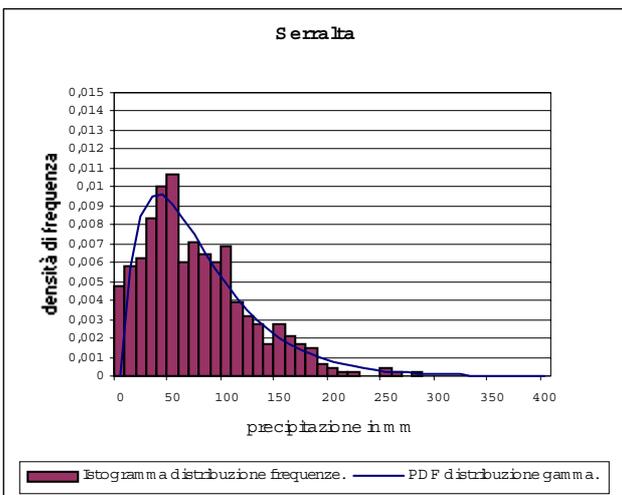
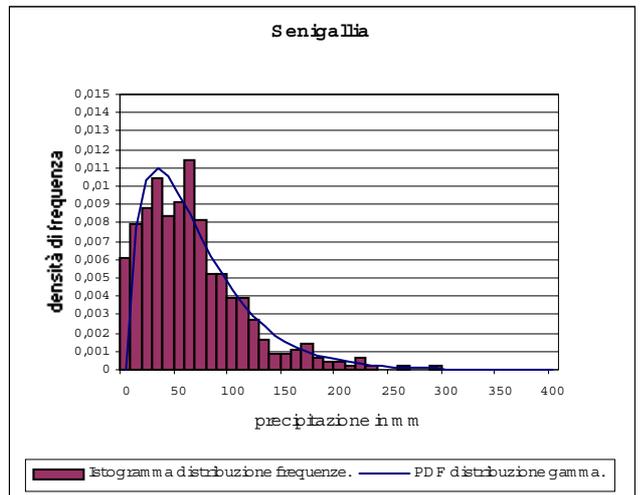
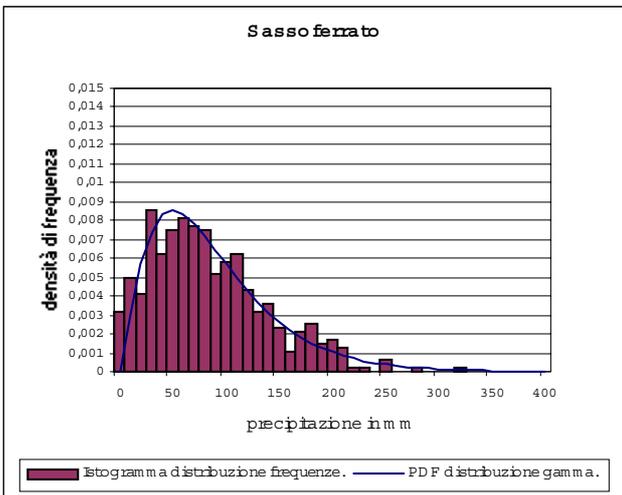
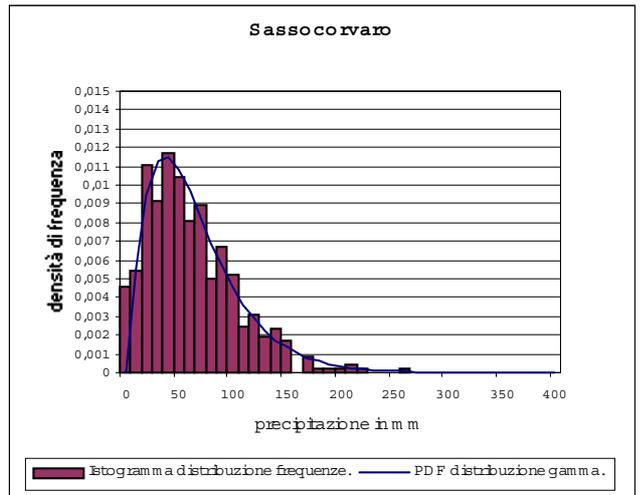
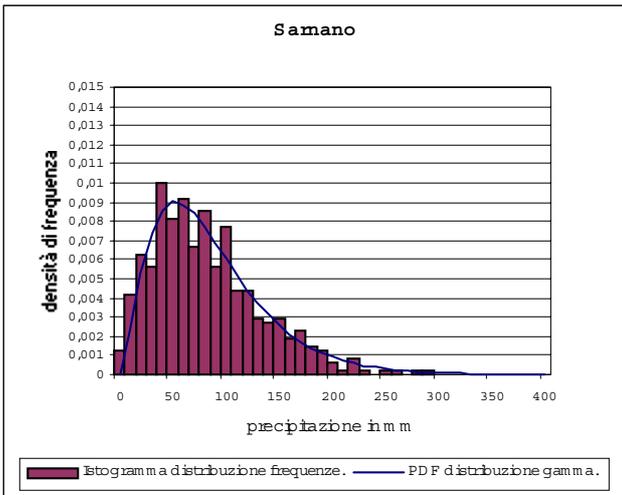


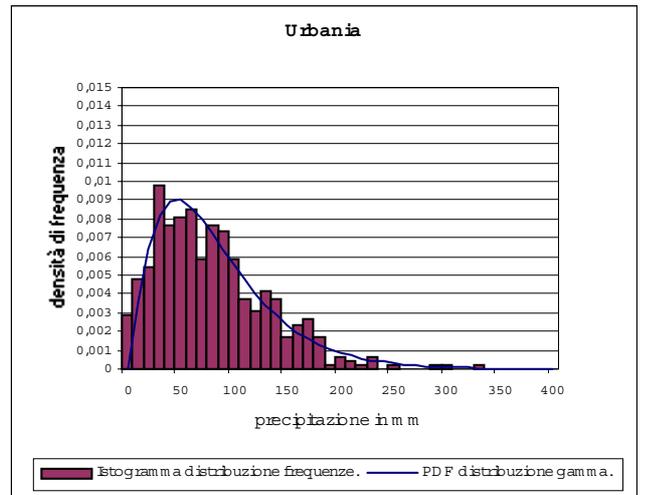
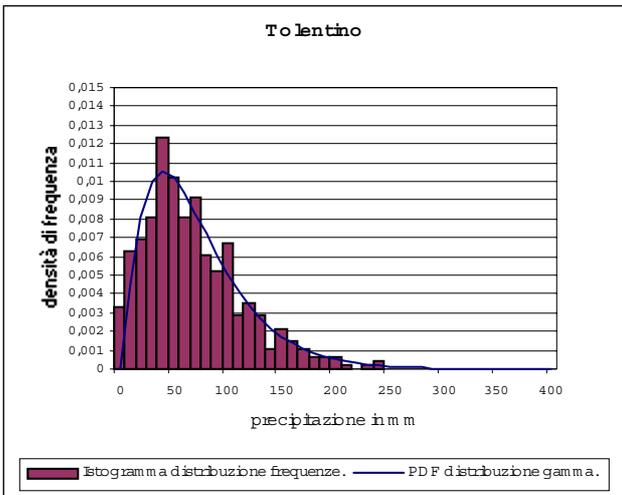
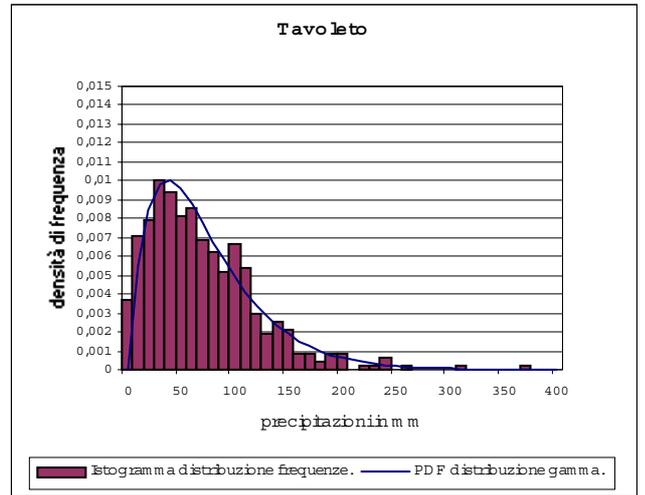
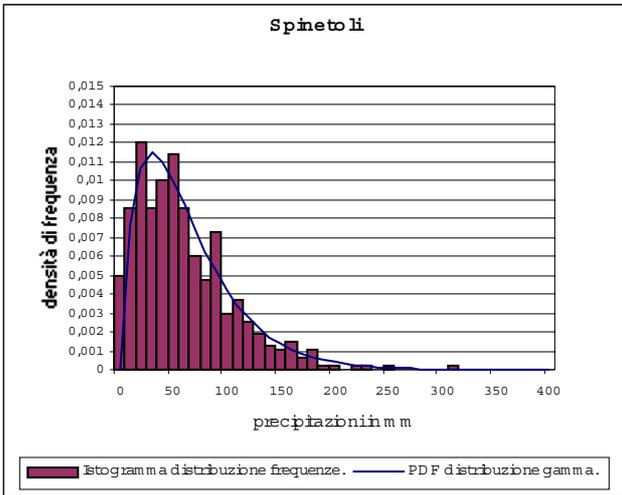
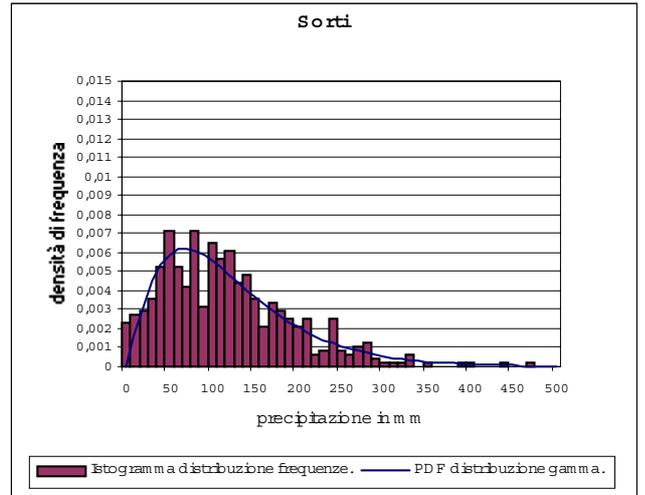
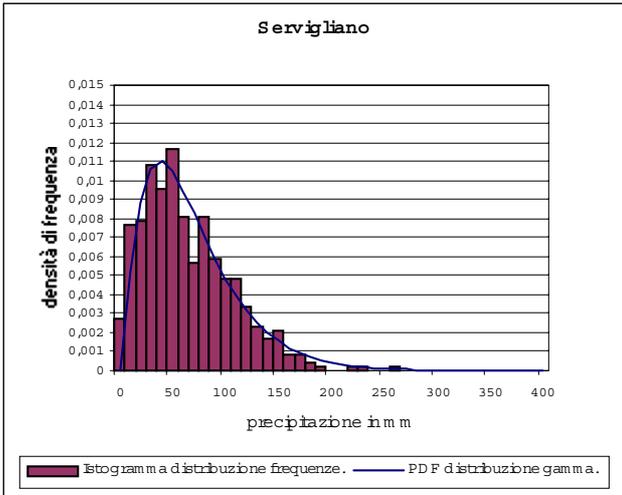


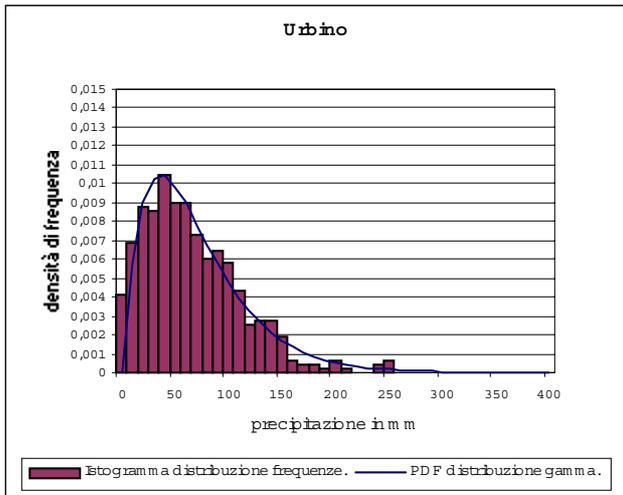












#### 4. Analisi delle serie temporali di precipitazione

Una serie temporale è un insieme di osservazioni a tempi determinati, generalmente ad intervalli uguali.

Matematicamente, una serie temporale è definita dai valori  $Y_1, Y_2, \dots$ , di una variabile  $Y$  ai tempi  $t_1, t_2, \dots$ . Così  $Y$  è funzione di  $t$ , cioè  $Y = f(t)$ .

La serie temporale di una variabile  $Y$  si può rappresentare costruendo un grafico di  $Y(t)$ , dal quale si possono rivelare variazioni o movimenti caratteristici. L'analisi di tali movimenti è di grande importanza, in particolare per prevedere andamenti futuri.

Riguardo alle serie temporali oggetto del nostro studio sono state graficate le precipitazioni annuali in mm dal 1950 al 1989. Al fine di determinare la presenza di un qualsiasi trend sono state calcolate le medie mobili a 5 anni e sui dati ottenuti è stato applicato il test non parametrico di Mann-Kendall [Sneyers, 1990].

In tale test, per ogni elemento  $x_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) di una serie, si calcola il numero  $n_i$  di elementi  $x_j$  tali che  $x_j < x_i$  per  $j < i$  e la statistica  $t$  è data dalla relazione:

$$t = \sum_{i=1}^n n_i \quad (8)$$

Sotto l'ipotesi nulla  $H_0$  (assenza di qualsiasi trend),  $t$  segue asintoticamente una legge normale, indipendentemente dalla funzione distribuzione dei dati e

$$u(t) = \frac{t - E(t)}{\sqrt{Var(t)}} \quad (9)$$

ha una distribuzione normale standard con media  $E(t)$  e varianza  $Var(t)$  date da:

$$E(t) = \frac{n(n-1)}{4} \quad e \quad Var(t) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{72}. \quad (10)$$

Fissato il livello di significatività  $\alpha_0$ , si determina la probabilità  $\alpha_1 = P(|u| > |u(t)|)$  con l'aiuto della tabella della legge normale (vedi Appendice II) e si accetta o si rifiuta l'ipotesi nulla se, rispettivamente,  $\alpha_1 > \alpha_0$  oppure  $\alpha_1 < \alpha_0$ .

Il livello di significatività da noi scelto è  $\alpha_0 = 0,05$ , cui corrisponde un valore della variabile gaussiana pari a 1,96, quindi se  $|u(t)| > 1,96$  segue che  $\alpha_1 < \alpha_0$  da cui si rifiuta l'ipotesi nulla; se invece  $|u(t)| < 1,96$  segue che  $\alpha_1 > \alpha_0$  da cui si accetta l'ipotesi  $H_0$ .

Allorché i valori di  $u(t)$  sono significativi, ovvero nel nostro caso  $|u(t)| > 1,96$ , si conclude l'esistenza di un trend crescente o decrescente a seconda che sia  $u(t) > 0$  o  $u(t) < 0$ , rispettivamente.

I risultati sotto riportati evidenziano l'esistenza di un trend significativo per 59 stazioni sulle 91 analizzate ed i relativi valori della statistica  $u(t)$  sono tutti **negativi**, ad indicare una generale tendenza delle precipitazioni annuali alla diminuzione.

Stazione	$u(t)$ significativo	$u(t)$ non significativo
Acqualagna		-0,054
Acquasanta	-3,432	
Amandola		-0,218
Ancona (Baraccola)		1,035
Ancona (Torrette)	-2,098	
Apiro		-1,035
Arcevia	-2,288	
Arquata del Tronto	-5,557	
Ascoli Piceno	-4,168	
Barbara	-3,133	
Barchi		-0,926
Bargni		-0,545
Bocca Trabaria		-0,817
Bolognola	-4,413	
Cagli		-0,654
Calcinelli	-3,133	
Camerino		-1,607

Campodiegoli	-3,487	
Candelara		-1,389
Cantiano	-2,751	
Capo il Colle	-2,724	
Capodacqua		1,308
Carpegna	-2,888	
Cingoli	-5,258	
Corinaldo	-2,452	
Croce di Casale		-1,880
Cupramontana	-3,269	
Diga di Carassai	-4,822	
Fabriano		-1,825
Falconara	-3,106	
Fano	-3,460	
Fermo	-5,367	
Filottrano	-3,600	
Fiume di Fiastra	-3,410	
Fonte Avellana	-2,860	
Foresta della Cesana	-2,210	
Fossombrone		-0,599
Gelagna Alta	-4,359	
Grottammare	-3,950	
Grottazzolina	-6,375	
Jesi	-4,740	
Loreto		-1,743
Lornano	-2,997	
Loro Piceno	-2,179	
Macerata		1,226
Mercatello		-0,926
Moie	-3,432	
Mondolfo	-3,378	
Montecarotto	-4,250	
Montecassiano	-3,187	
Montemonaco		-1,553
Monterubbiano	-5,067	
Montottone	-4,005	
Morrovalle	-2,288	
Novafeltria		0,000
Offida	-4,767	
Osimo	-2,207	
Ostra	-4,495	
Pedaso	-3,460	
Pennabilli	-2,288	
Pergola		-0,027
Pesaro		-0,272
Petriano	-2,806	
Petriolo		-1,335
Piagge	-3,106	
Pianello		-0,708
Pié del Sasso	-4,032	
Pievebovigliana	-5,149	

Pioraco		-1,389
Porto S. Elpidio	-3,896	
Recanati	-2,942	
Ripatransone	-2,888	
S. Angelo in Pontano		-0,327
S. Angelo in Vado		-0,981
S. Lorenzo in Campo	-2,397	
S. Maria di Pieca	-1,961	
S. Martino	-3,432	
S. Severino Marche	-4,277	
Sarnano	-2,942	
Sassocorvaro		-0,218
Sassoferrato	-3,161	
Senigallia	-3,841	
Serralta		0,354
Serravalle del Chienti		0,163
Servigliano		-1,689
Sorti	-3,732	
Spinetoli	-5,394	
Tavoletto	-2,724	
Tolentino	-2,724	
Urbania		-1,607
Urbino		0,436

Per quantificare le riduzioni in percentuale della precipitazione annuale rispetto al valor medio nel periodo 1950-1989 delle stazioni con trend significativo, è stato approssimato l'andamento della precipitazione attraverso la retta di regressione lineare ed è stata valutata la variazione in mm di acqua precipitata nell'intervallo di tempo studiato, rapportandola al valore medio in percentuale [Buffoni, Maugeri e Nanni, 1998].

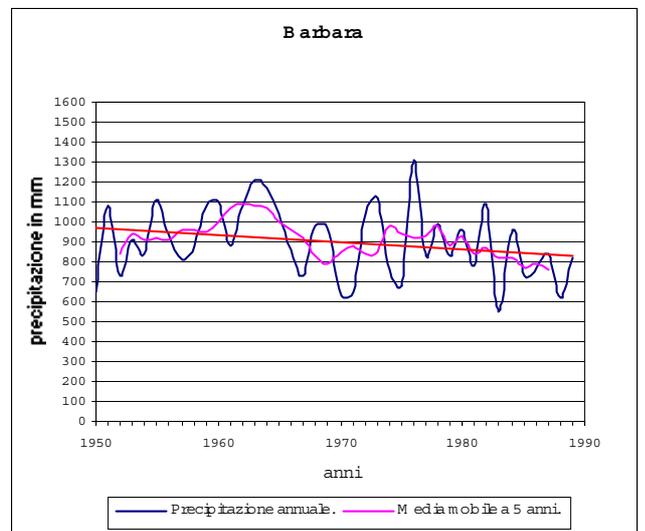
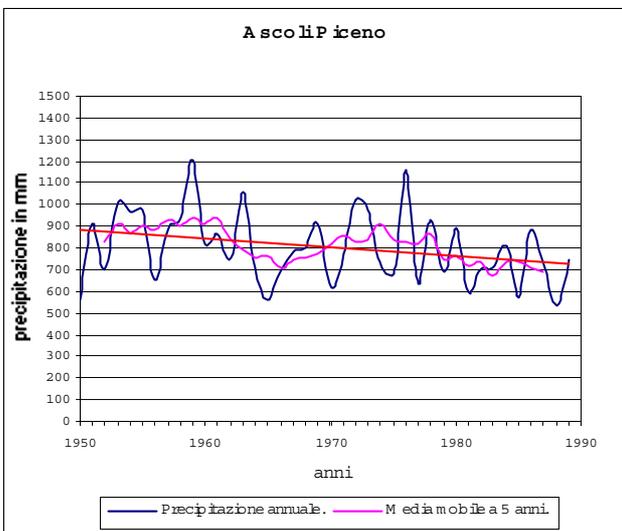
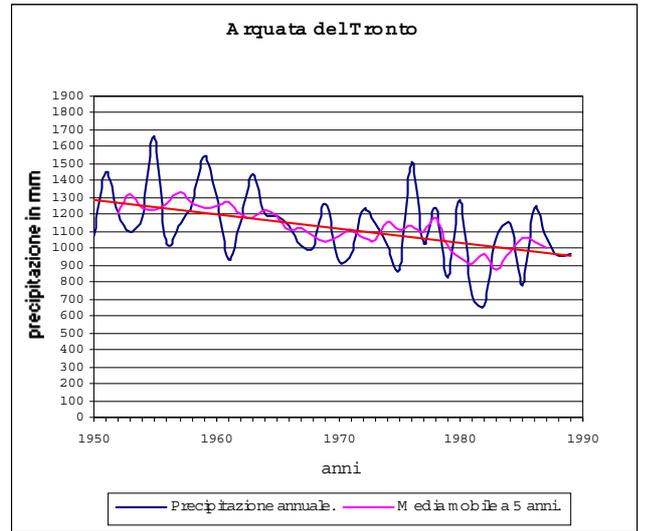
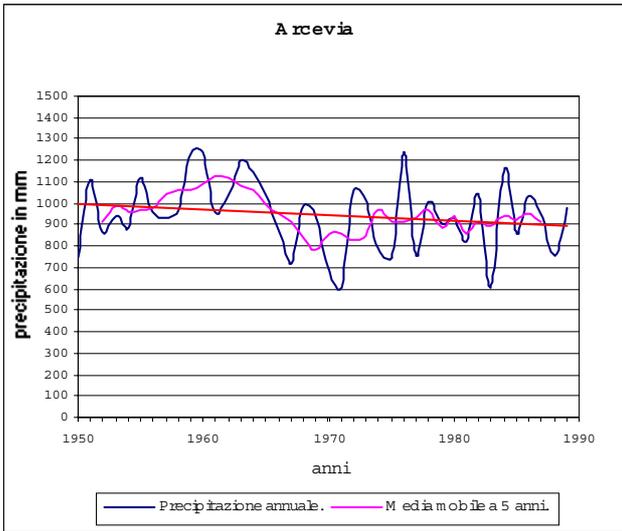
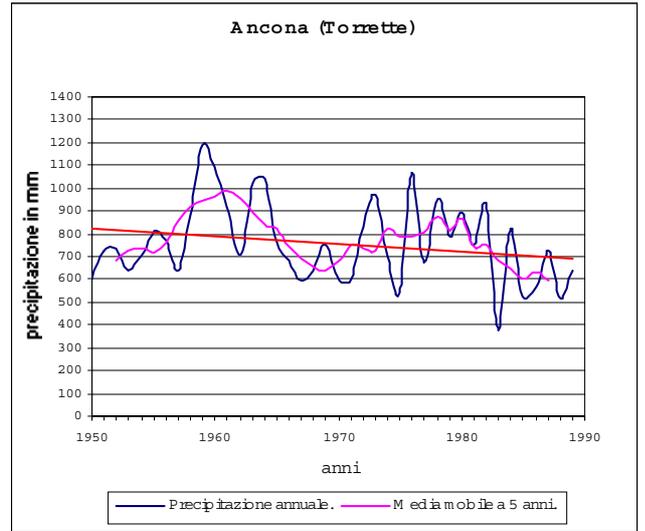
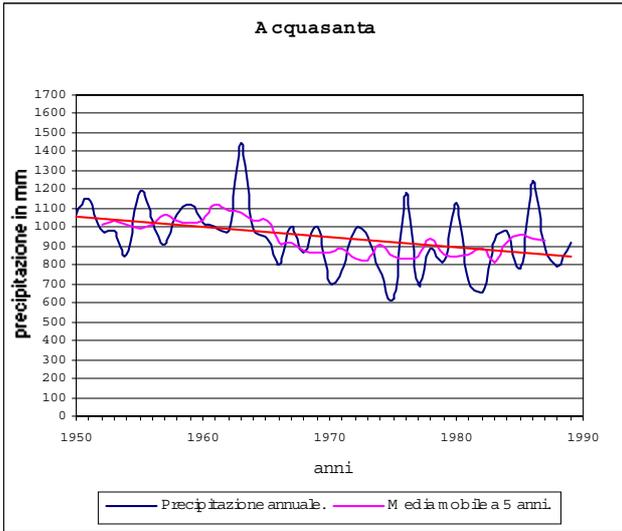
I risultati ottenuti sono riportati in tabella:

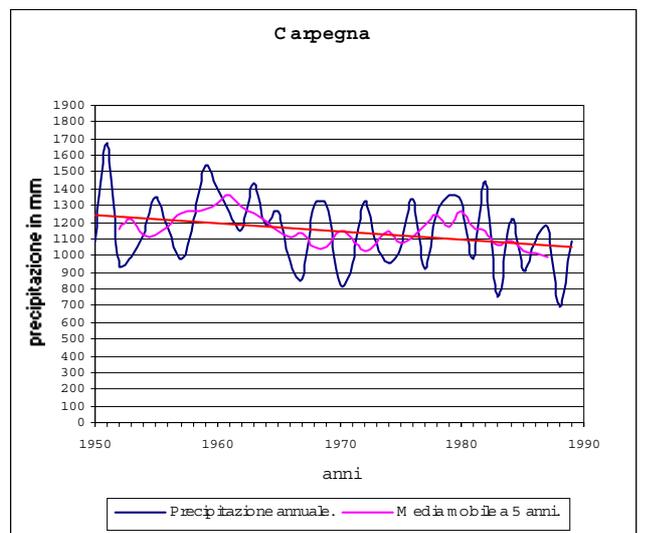
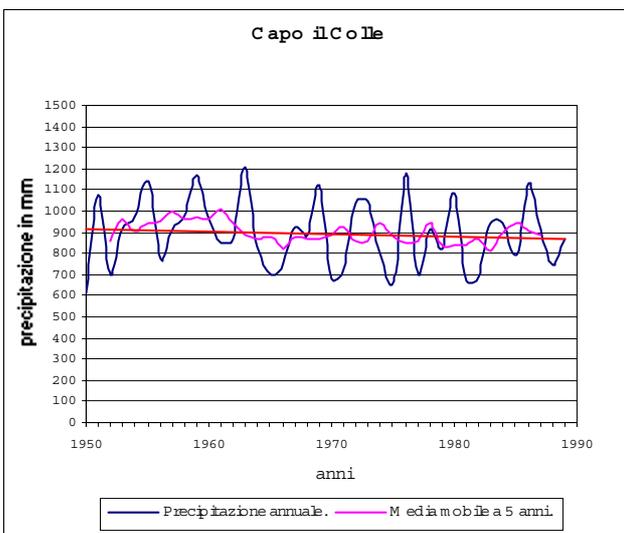
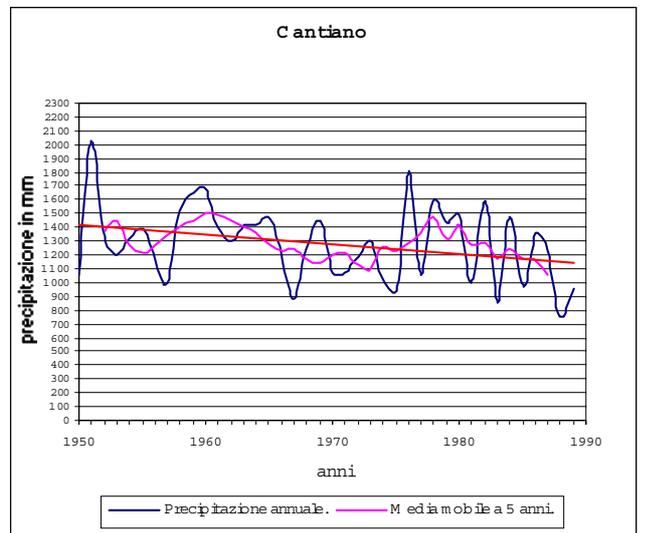
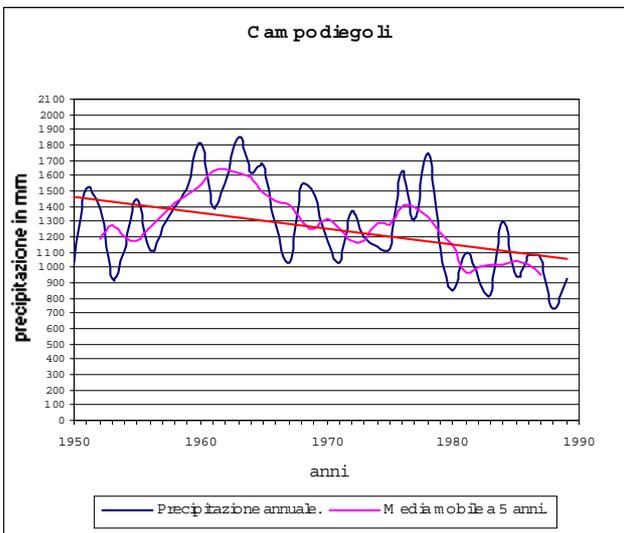
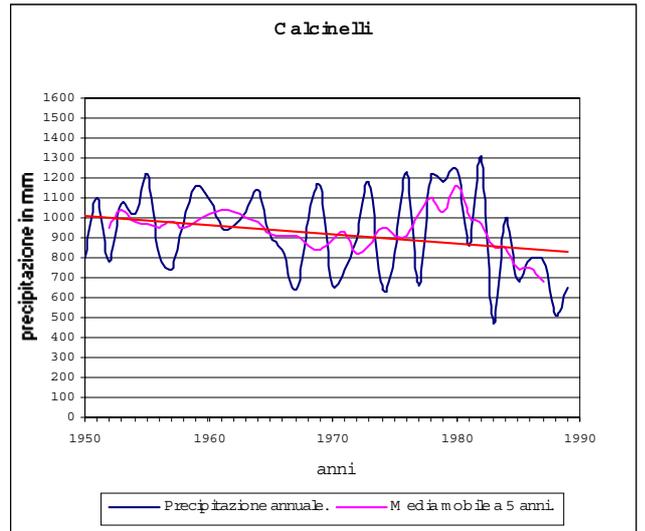
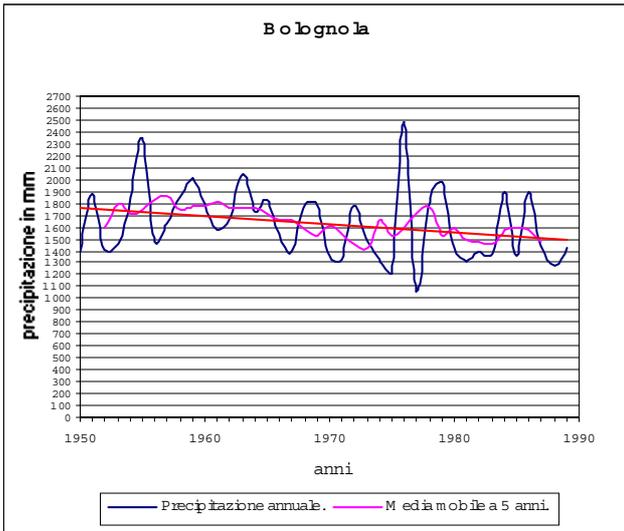
<i>Stazione</i>	<i>Riduzione</i>
Acquasanta	23%
Ancona (Torrette)	18%
Arcevia	11%
Arquata del Tronto	30%
Ascoli Piceno	20%
Barbara	16%
Bolognola	17%
Calcinelli	20%
Campodiegoli	33%
Cantiano	21%
Capo il Colle	5%
Carpegna	18%
Cingoli	28%
Corinaldo	21%

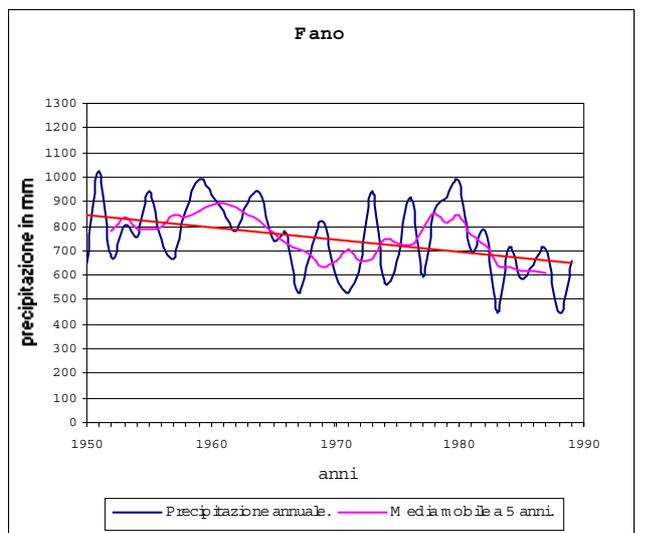
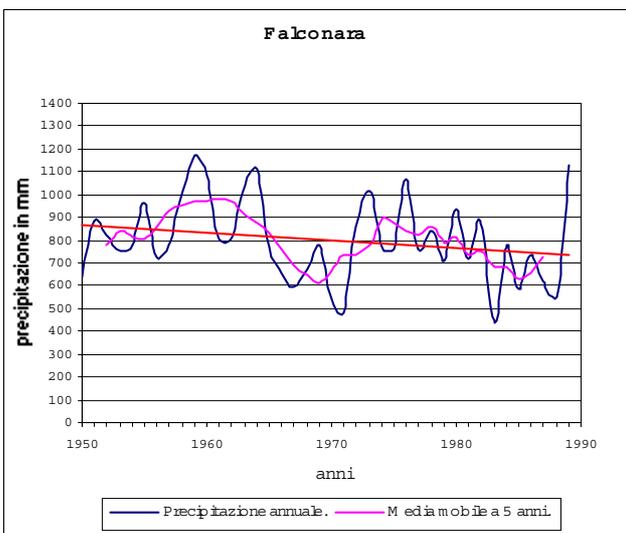
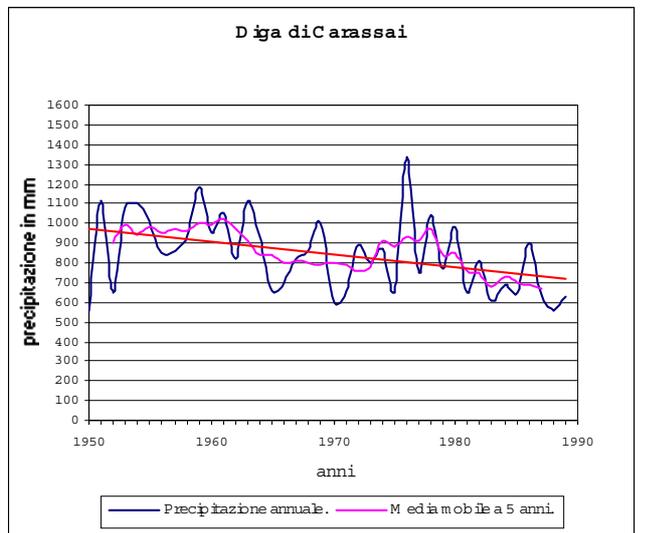
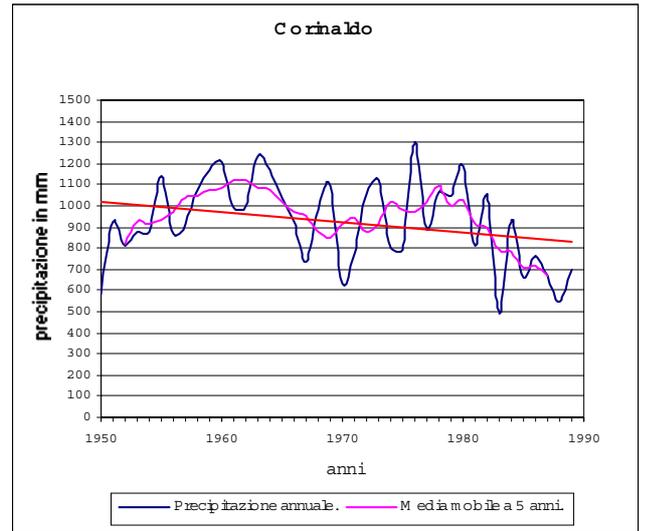
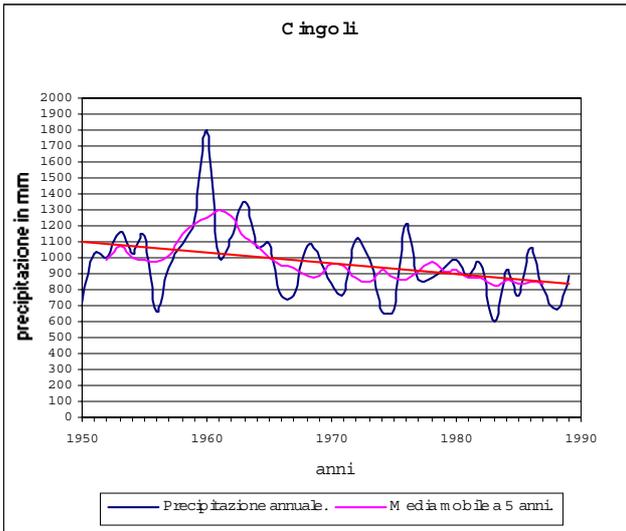
Cupramontana	25%
Diga di Carassai	31%
Falconara	17%
Fano	26%
Fermo	51%
Filottrano	22%
Fiume di Fiastra	15%
Fonte Avellana	21%
Foresta della Cesana	16%
Gelagna Alta	29%
Grottammare	36%
Grottazzolina	29%
Jesi	32%
Lornano	17%
Loro Piceno	11%
Moie	21%
Mondolfo	22%
Montecarotto	27%
Montecassiano	18%
Monterubbiano	33%
Montottone	37%
Morrovalle	8%
Offida	38%
Osimo	8%
Ostra	28%
Pedaso	26%
Pennabilli	13%
Petriano	20%
Piagge	20%
Pié del Sasso	25%
Pievebovigliana	25%
Porto S. Elpidio	30%
Recanati	22%
Ripatransone	17%
S. Lorenzo in Campo	13%
S. Maria di Pieca	5%
S. Martino	13%
S. Severino Marche	25%
Sarnano	11%
Sassoferrato	24%
Senigallia	30%
Sorti	31%
Spinetoli	38%
Tavoleto	21%
Tolentino	11%

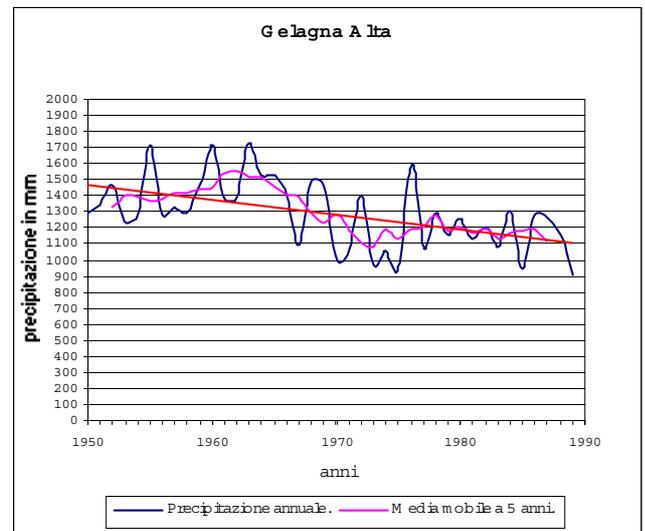
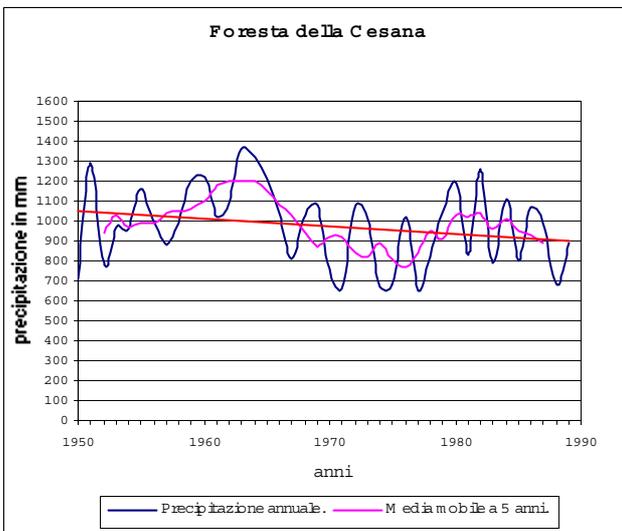
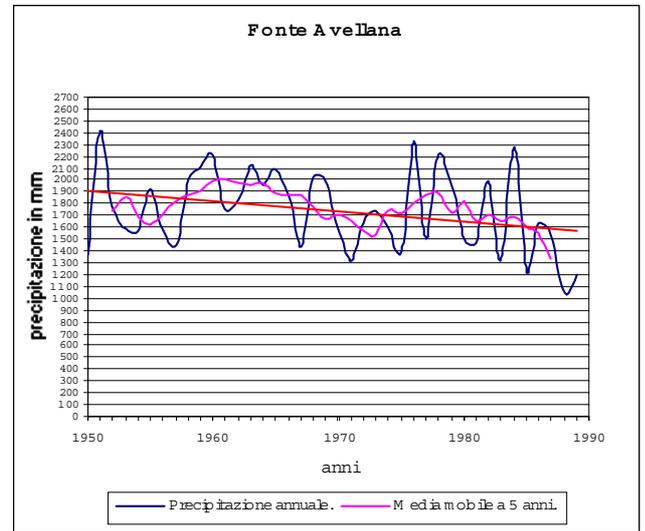
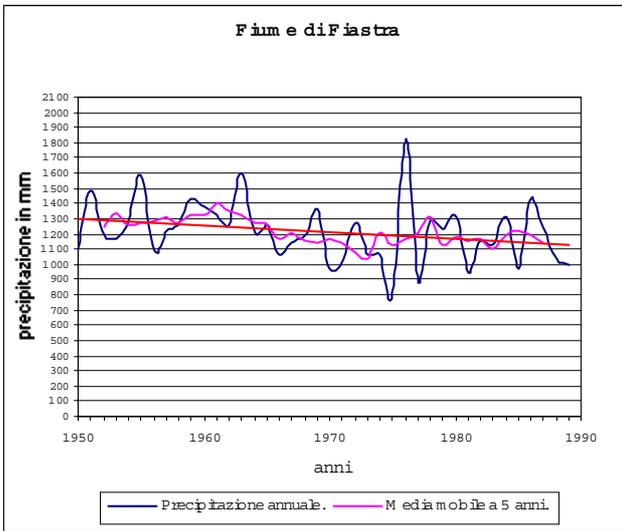
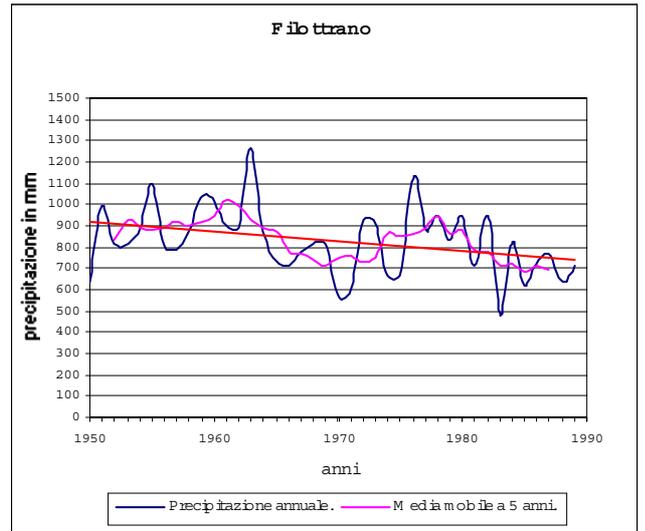
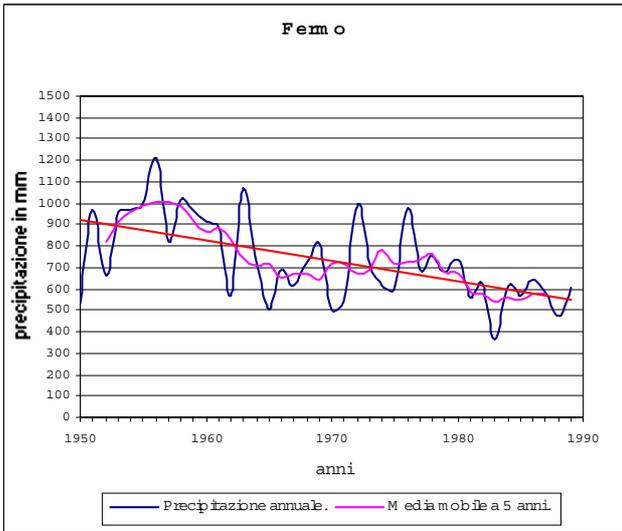
Di seguito sono presentati i grafici dell'andamento della precipitazione annuale, della rispettiva retta di regressione e della media mobile a cinque anni per ciascuna stazione.

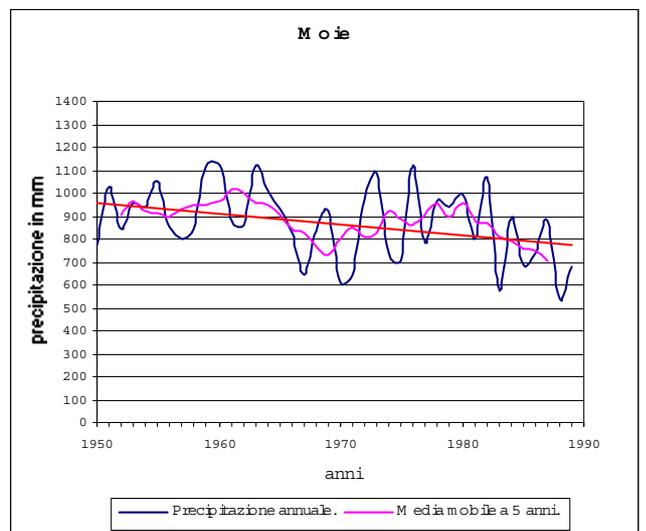
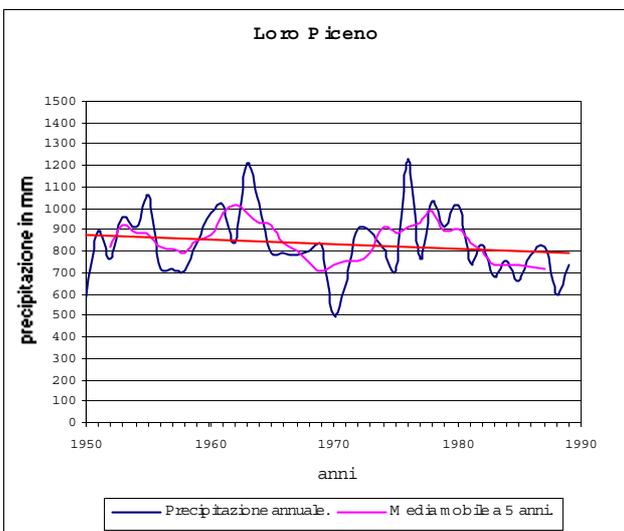
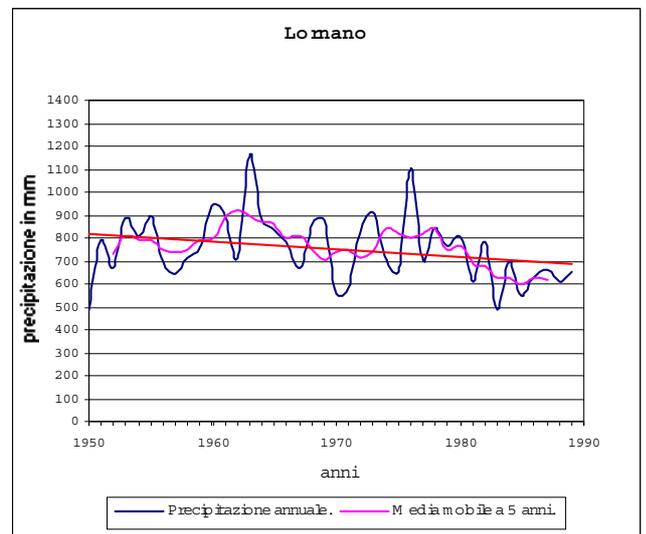
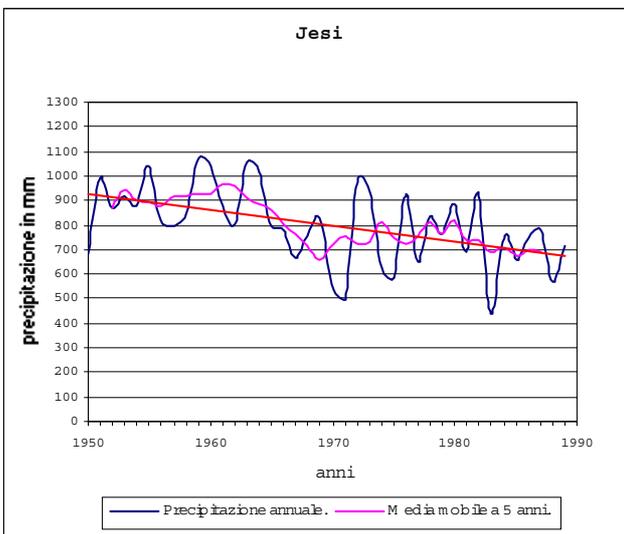
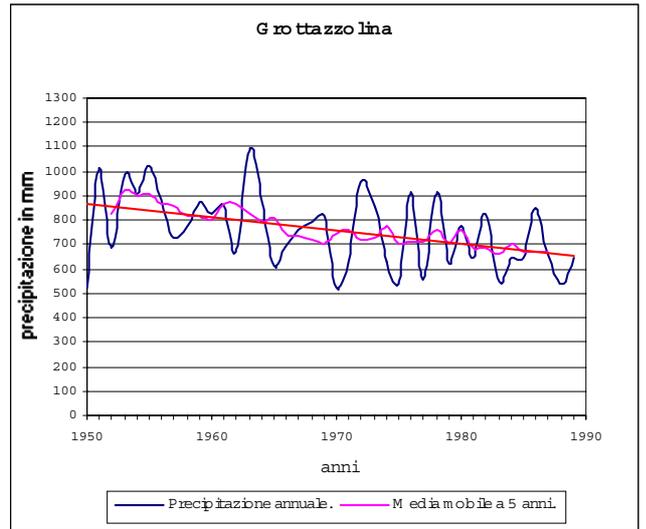
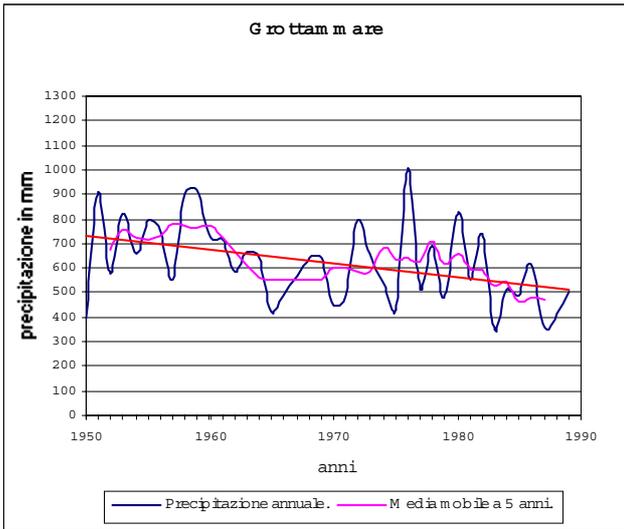
Grafici delle serie temporali con trend significativo.

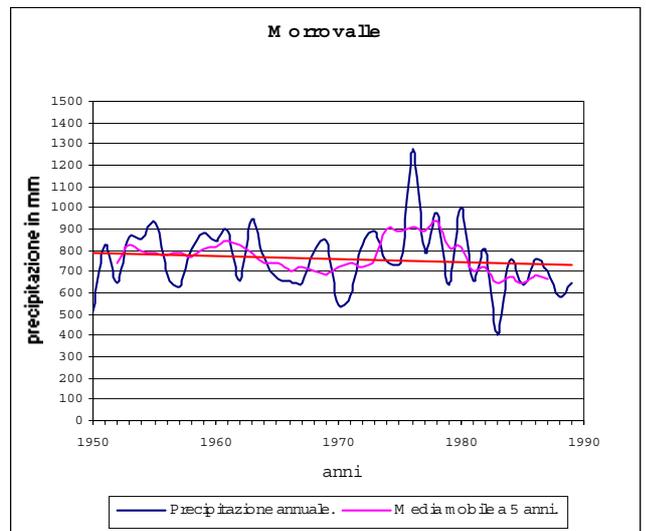
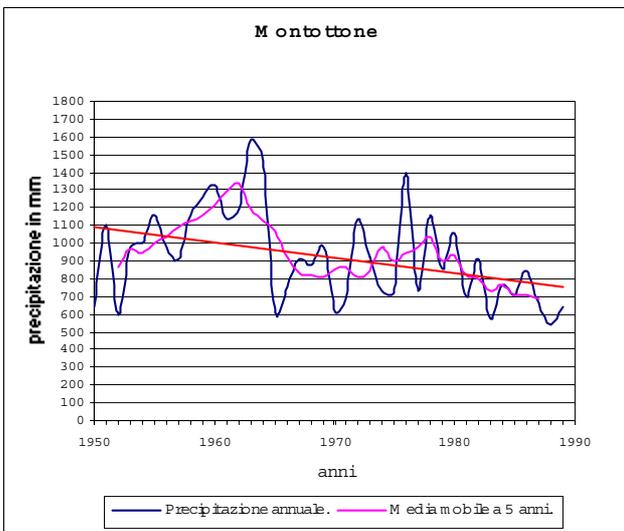
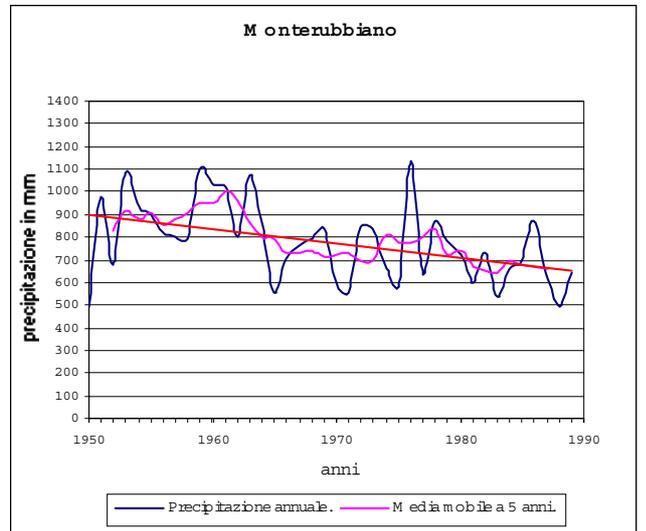
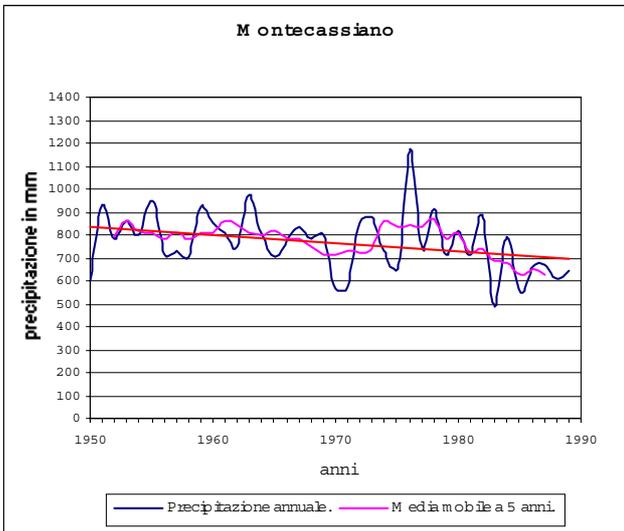
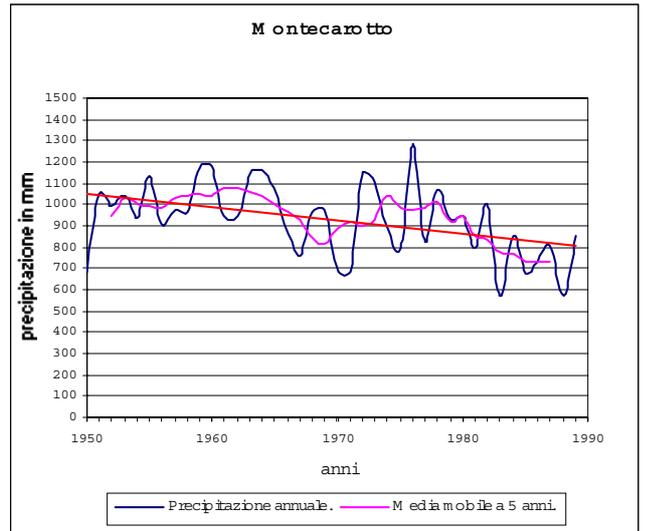
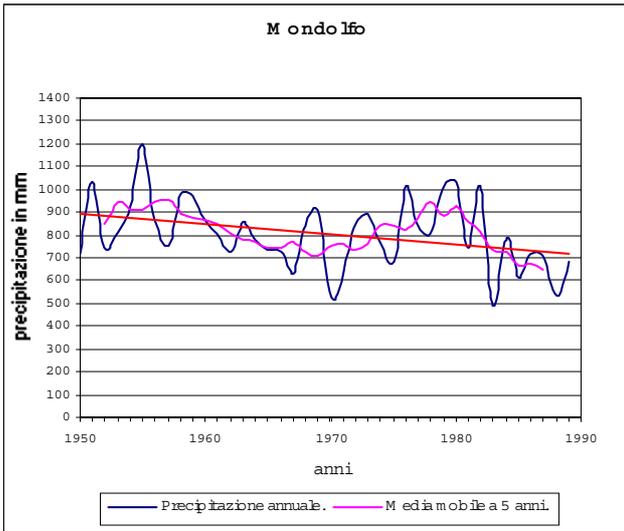


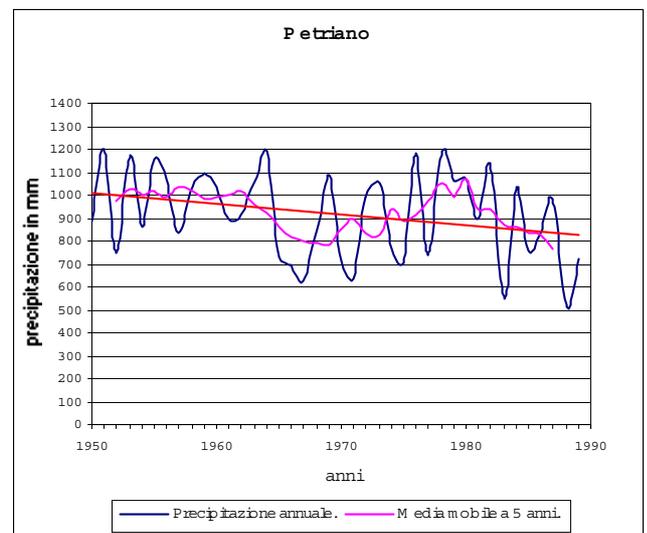
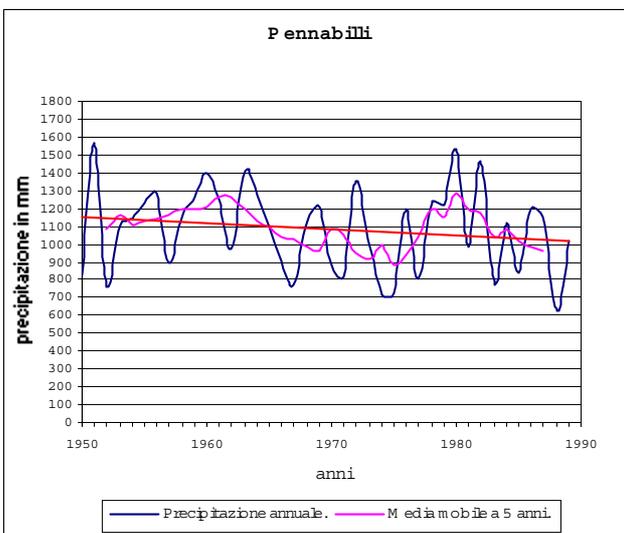
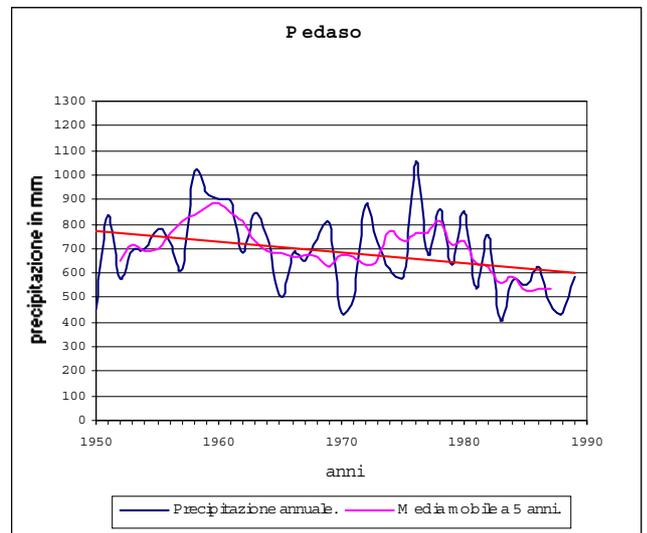
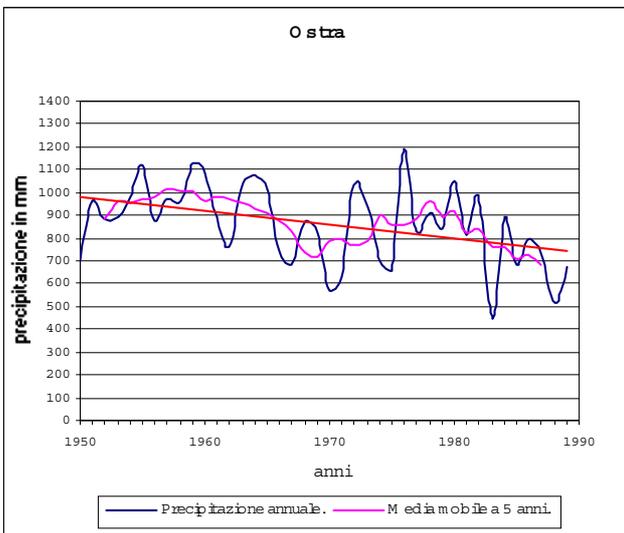
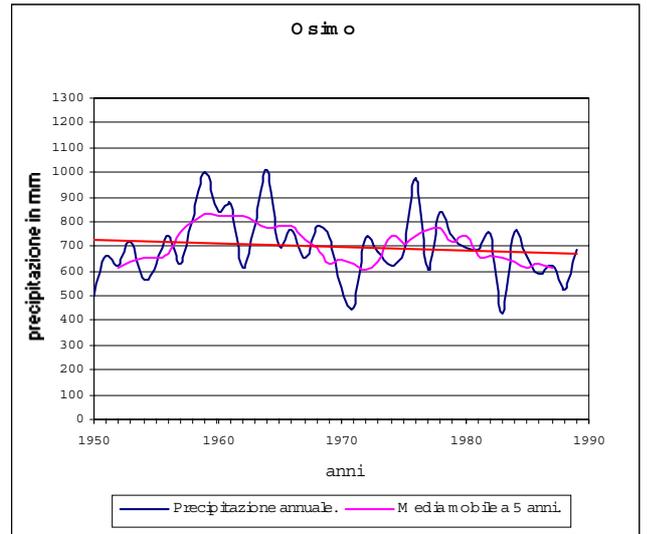
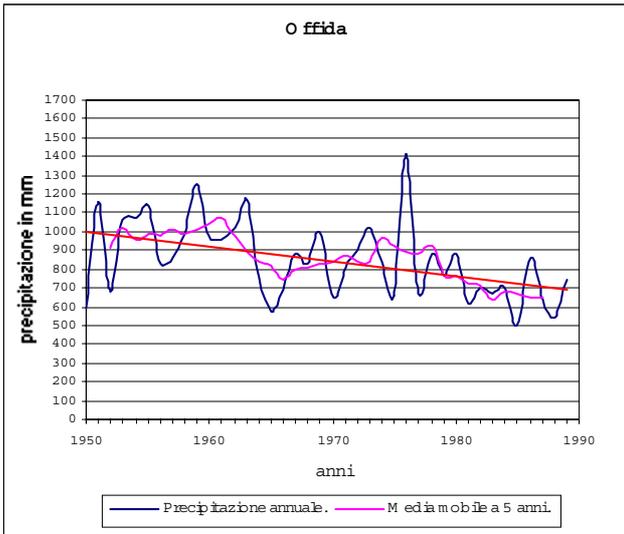


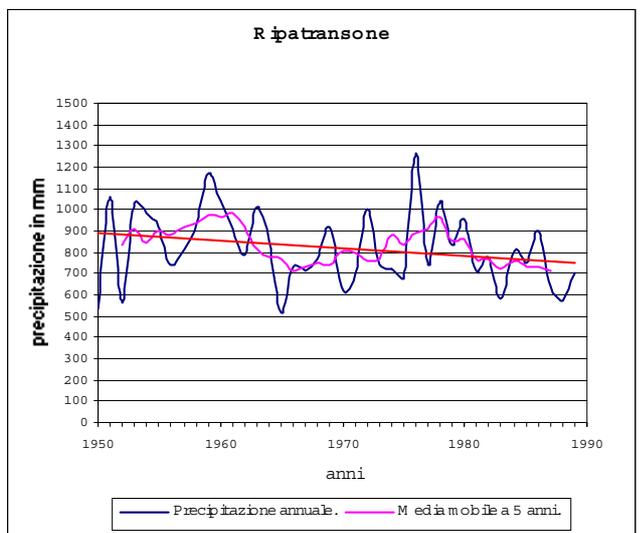
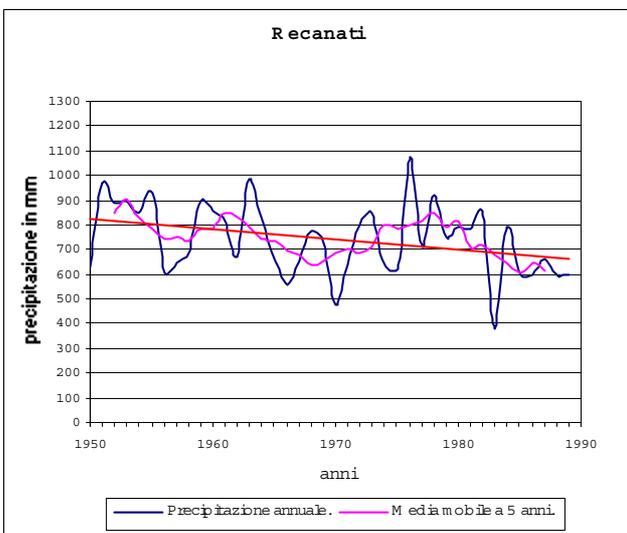
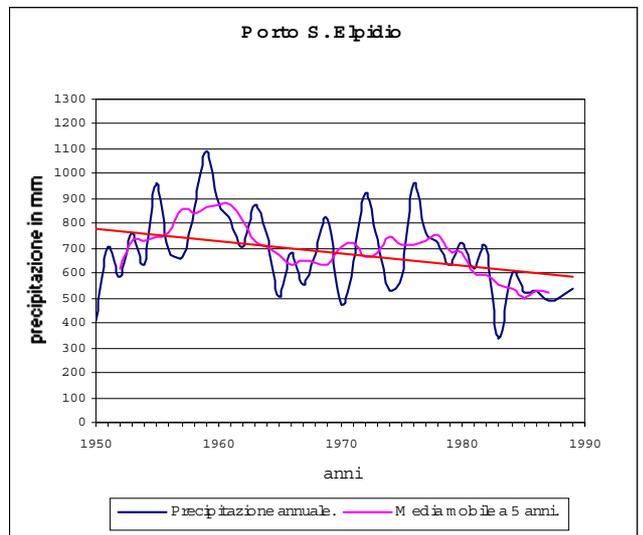
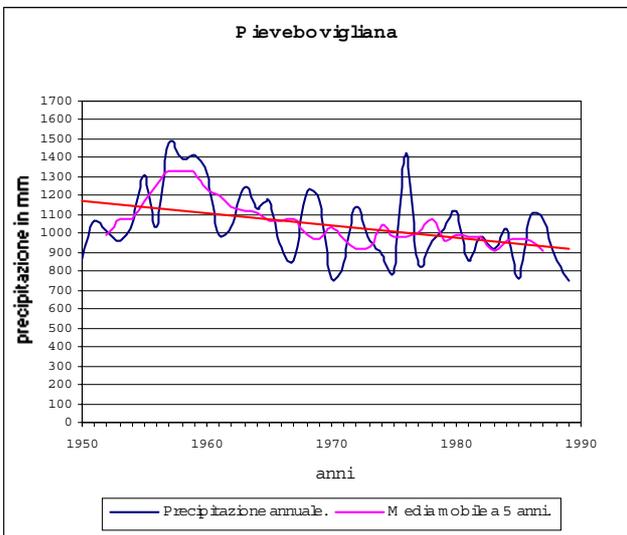
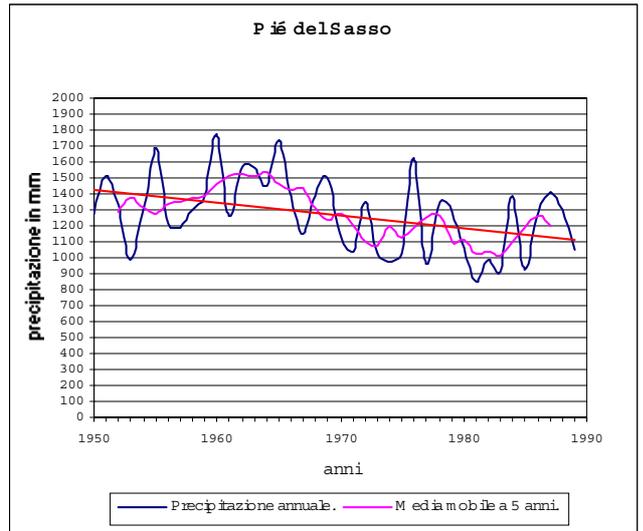
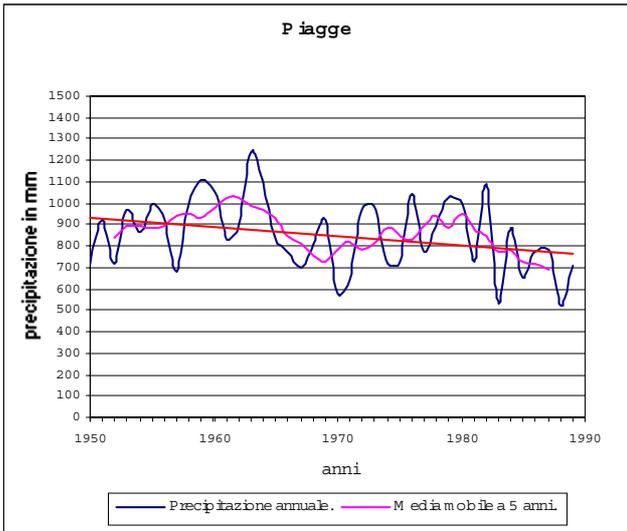


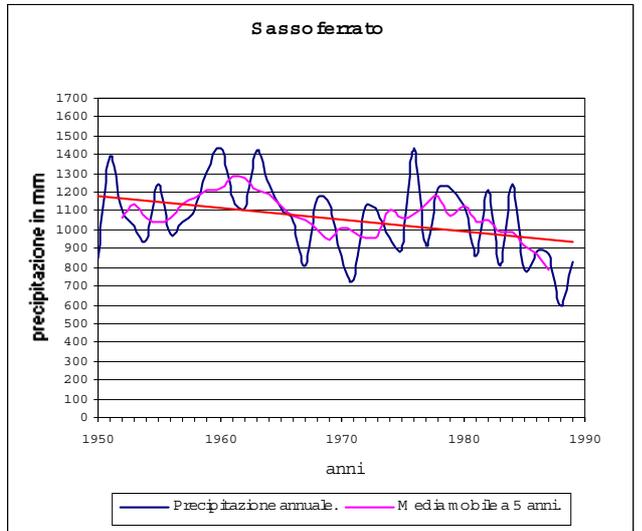
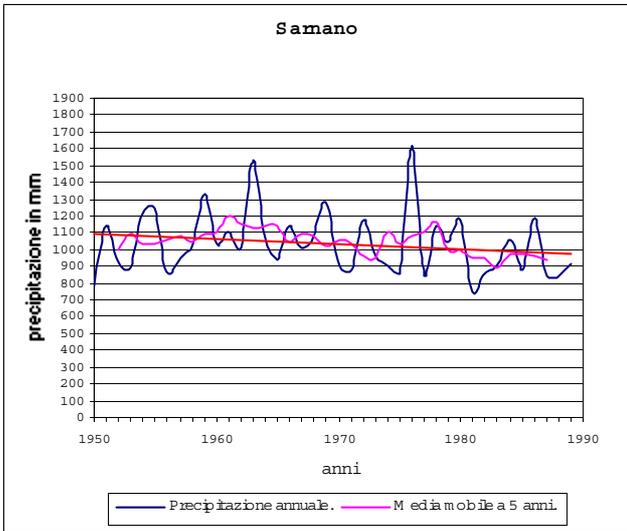
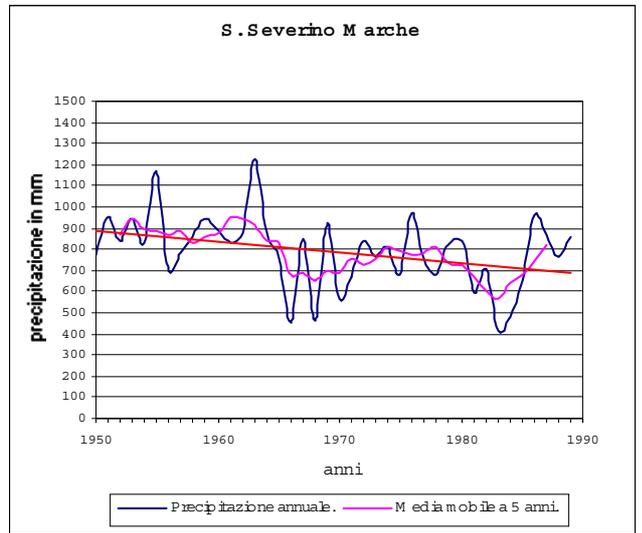
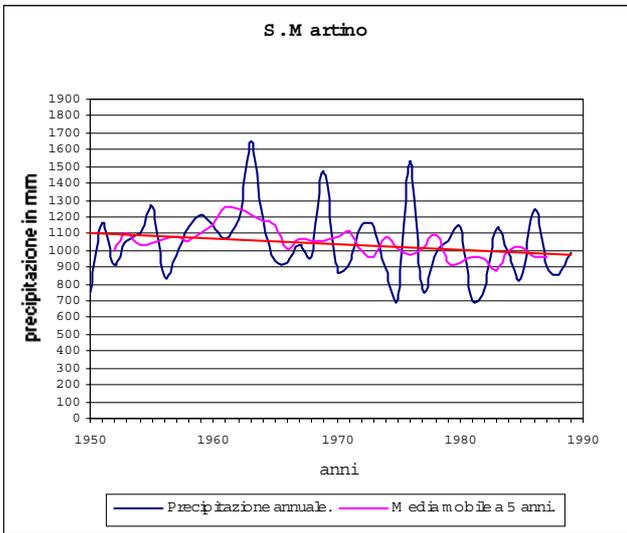
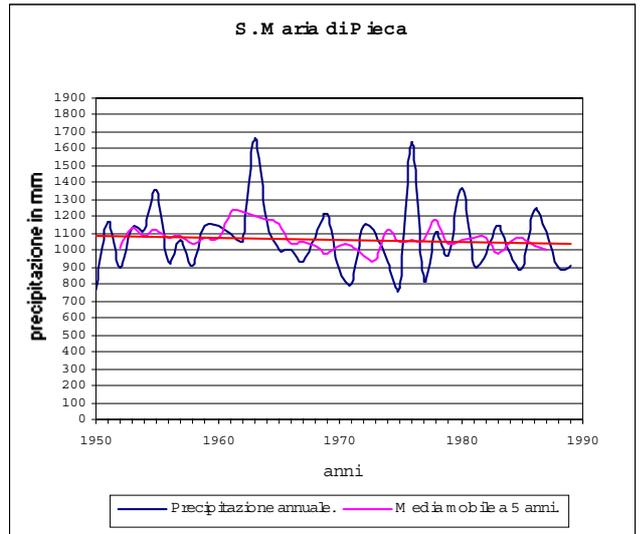
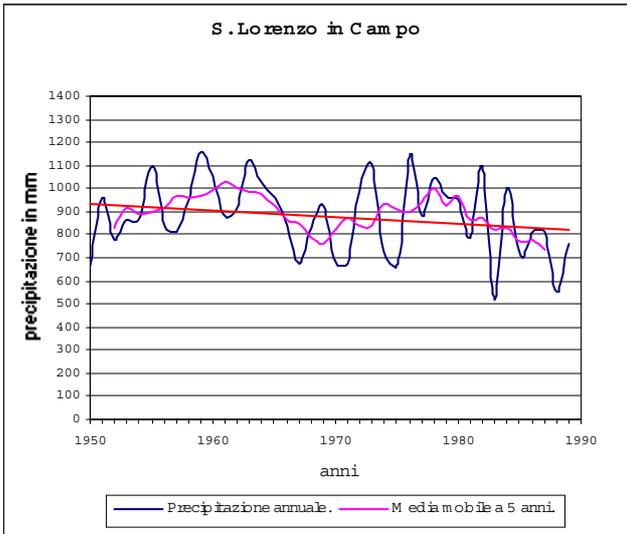


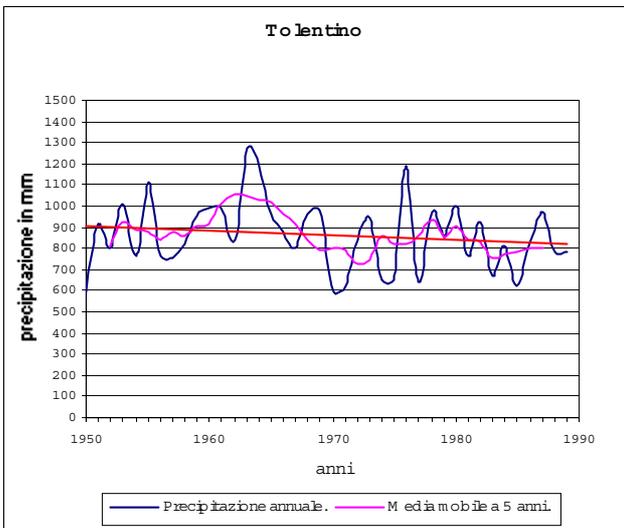
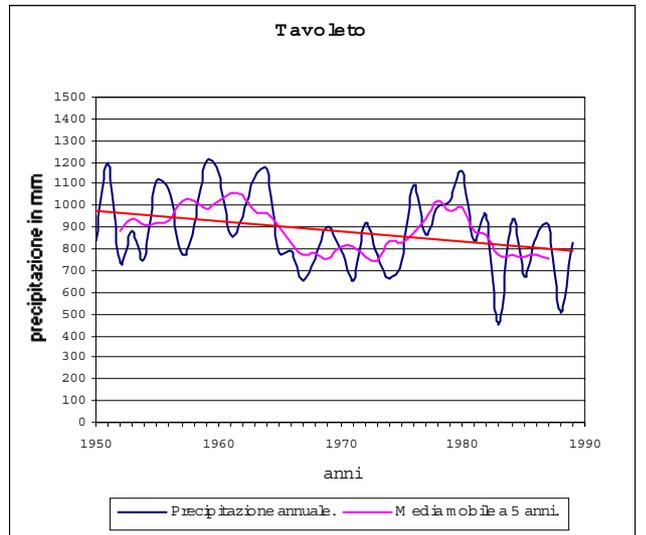
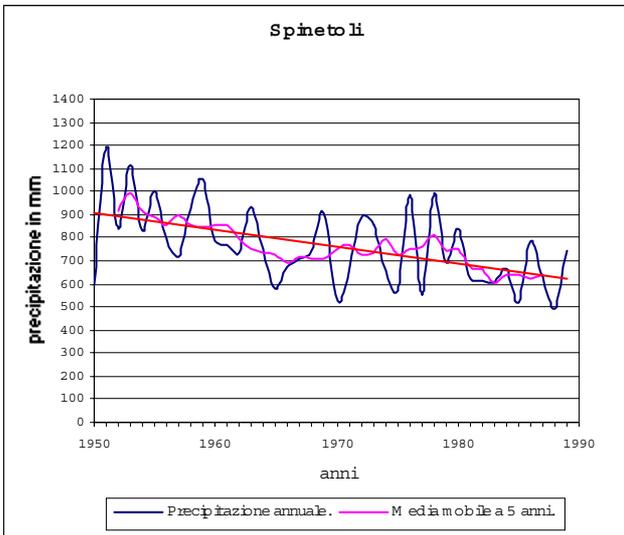
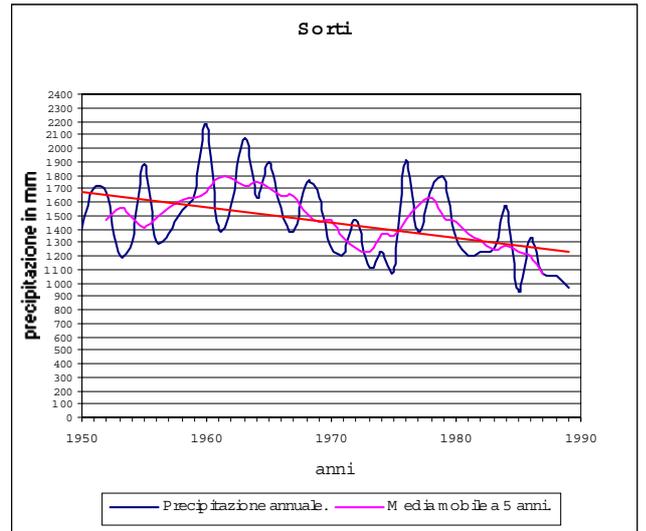
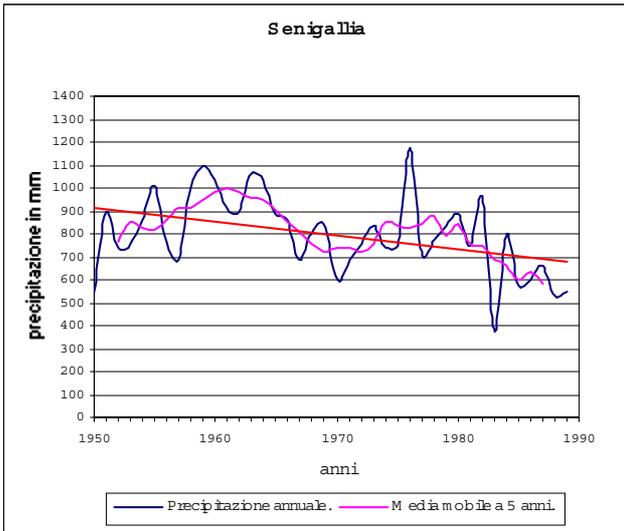




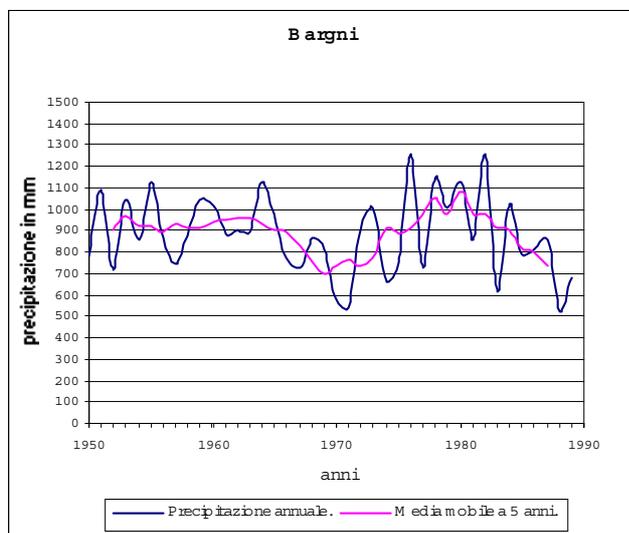
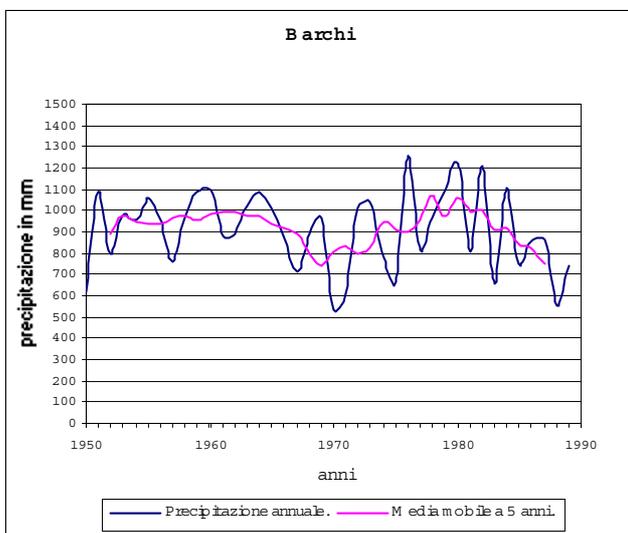
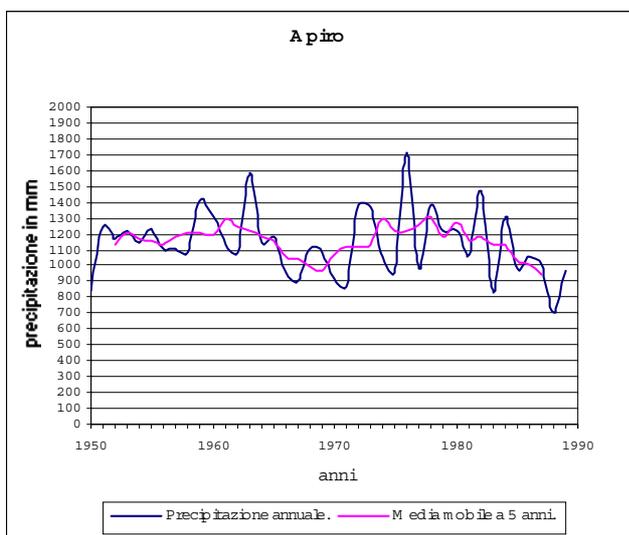
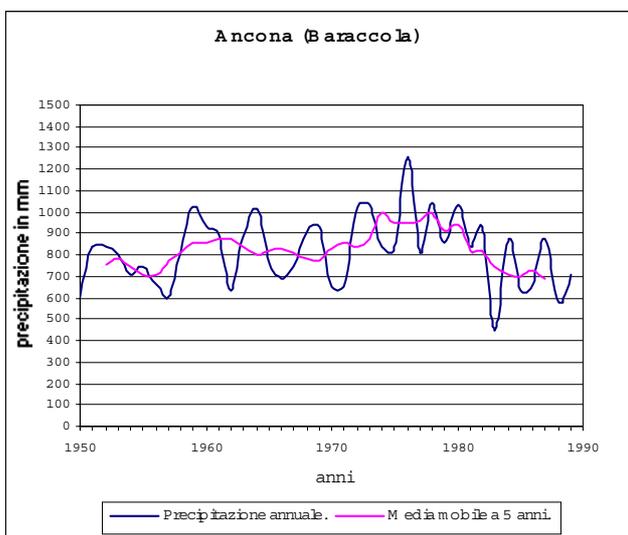
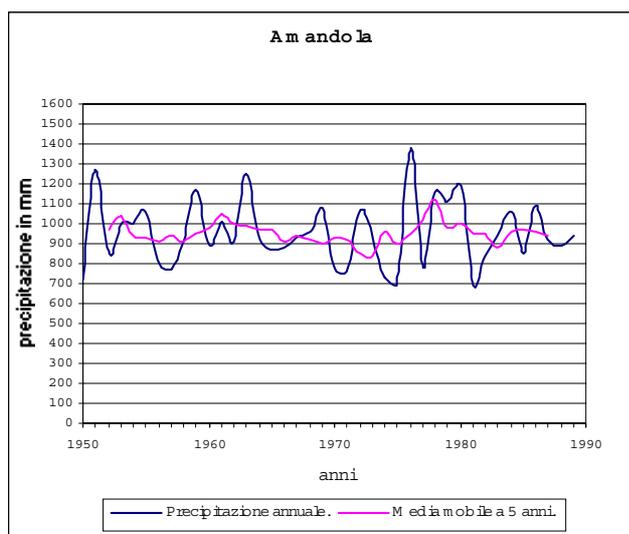
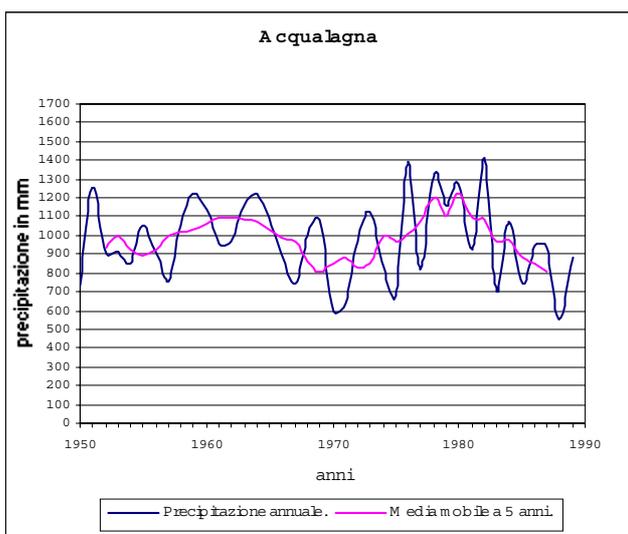


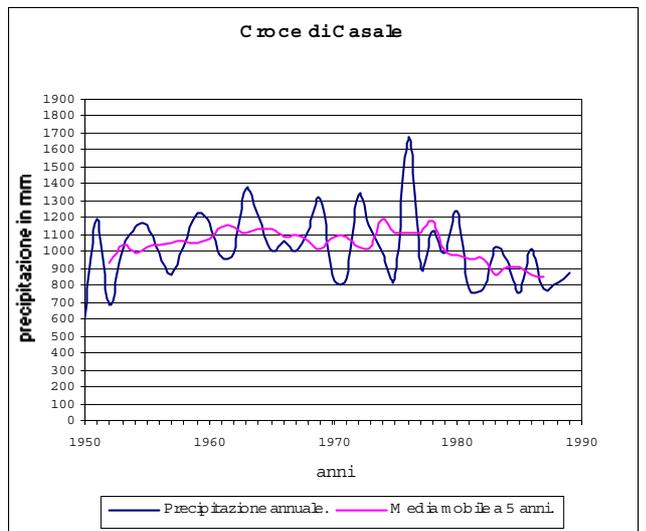
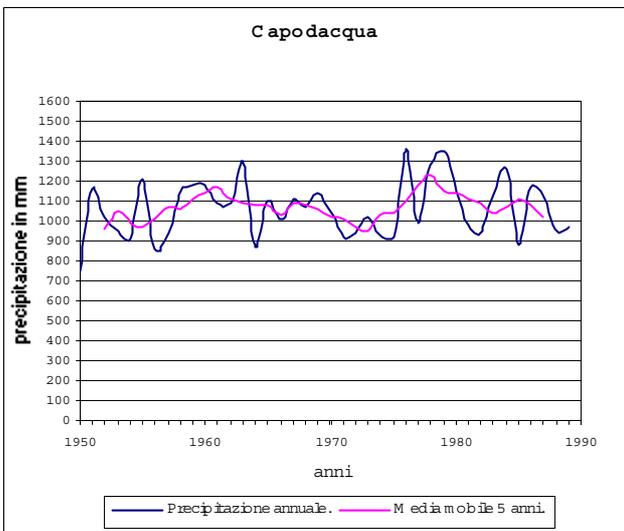
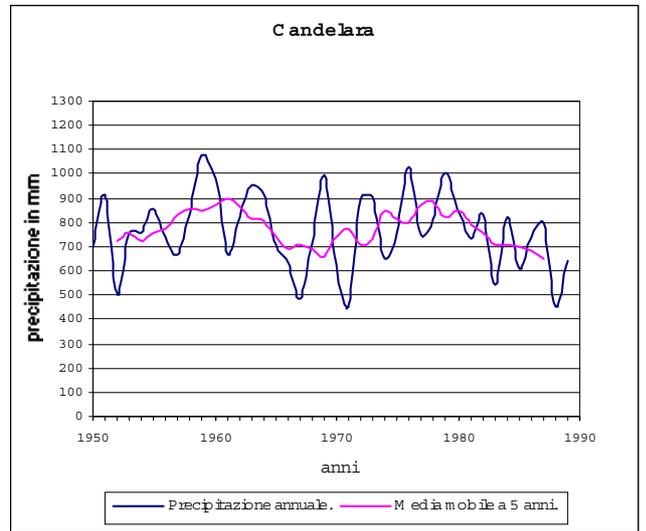
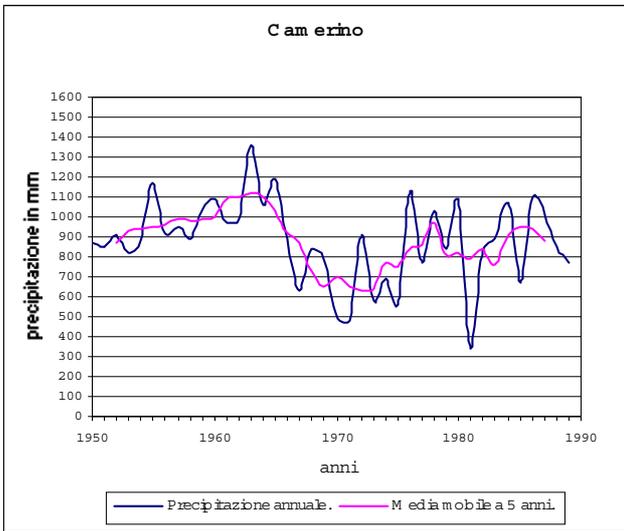
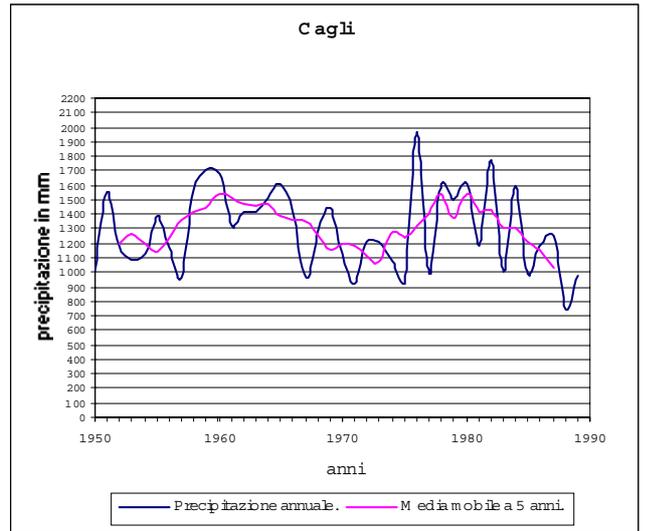
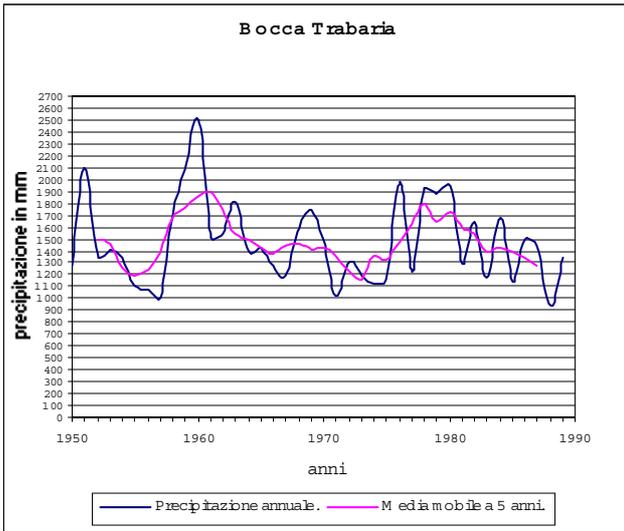


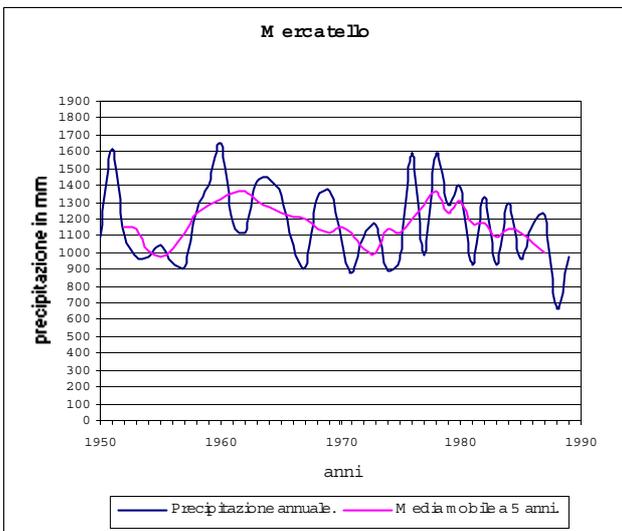
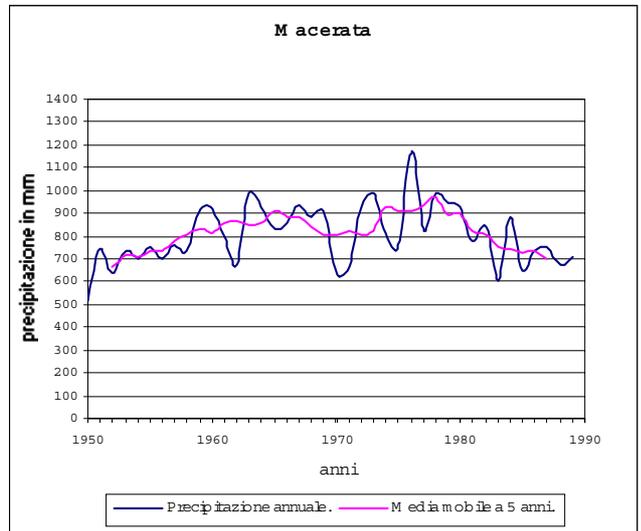
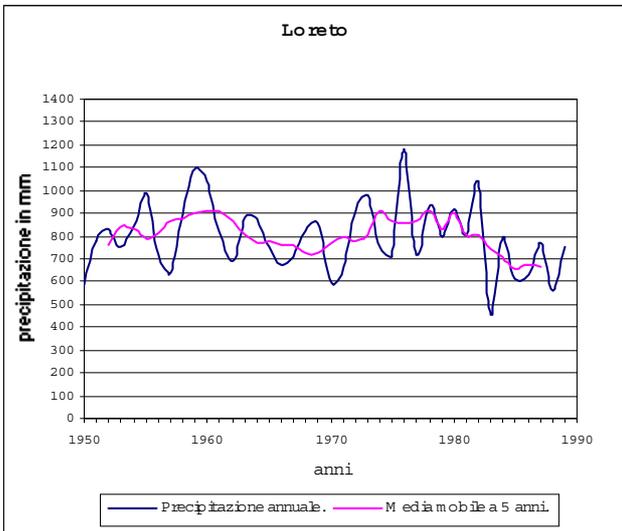
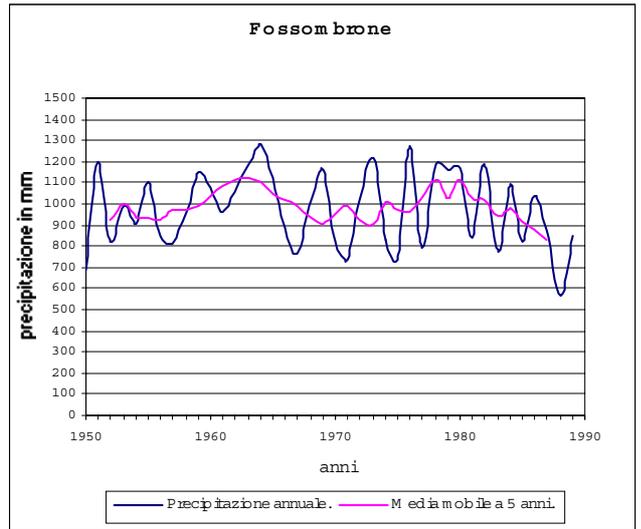
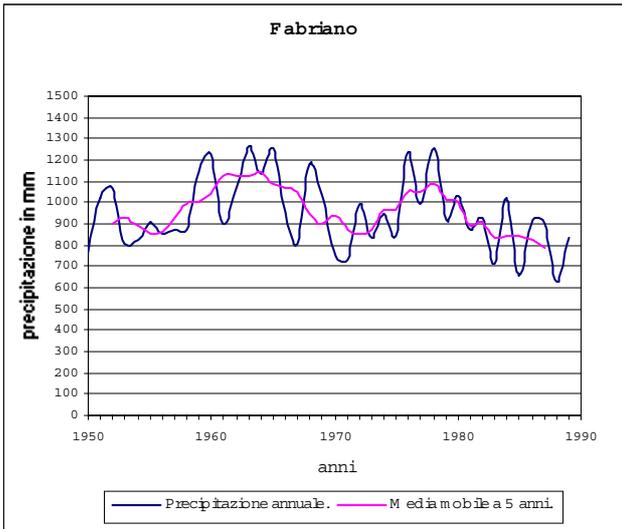


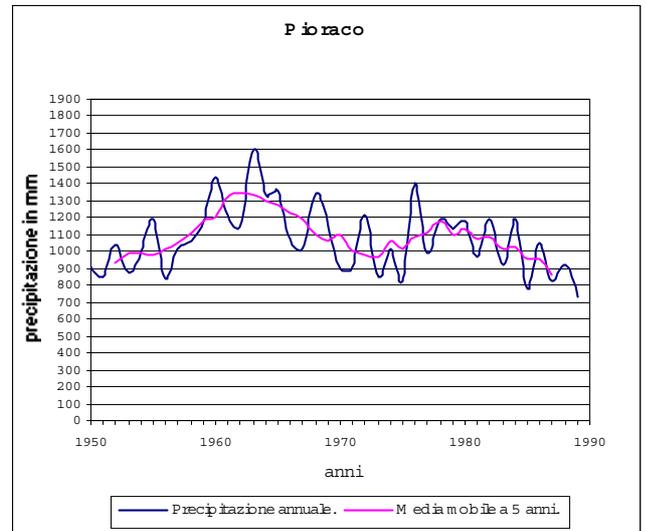
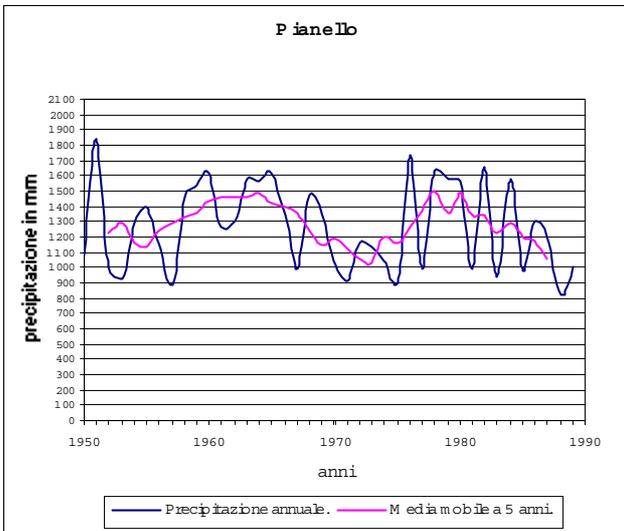
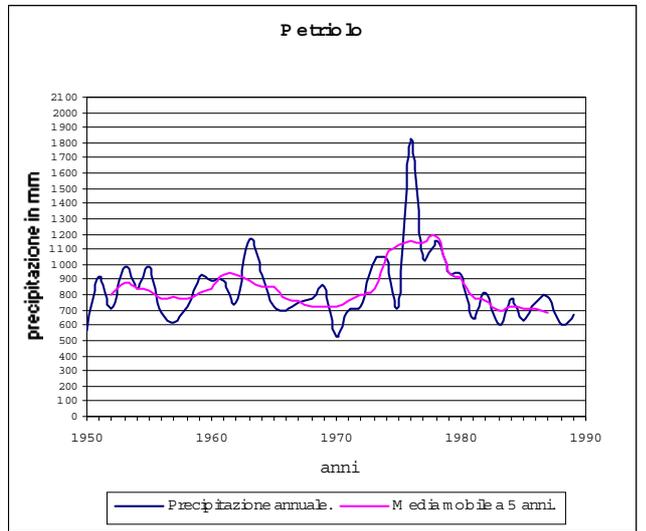
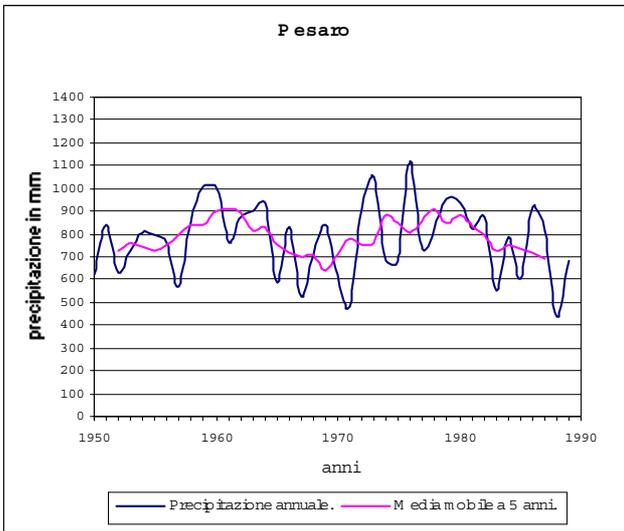
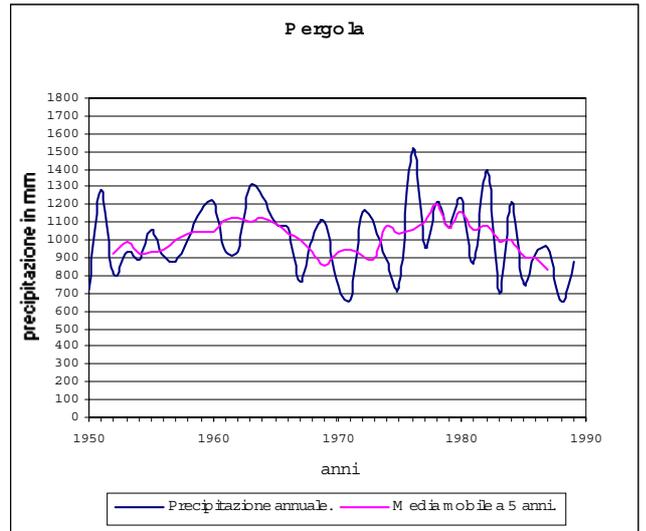
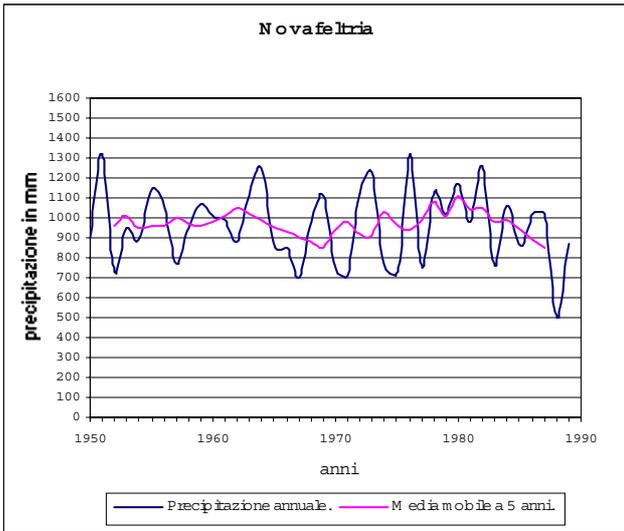


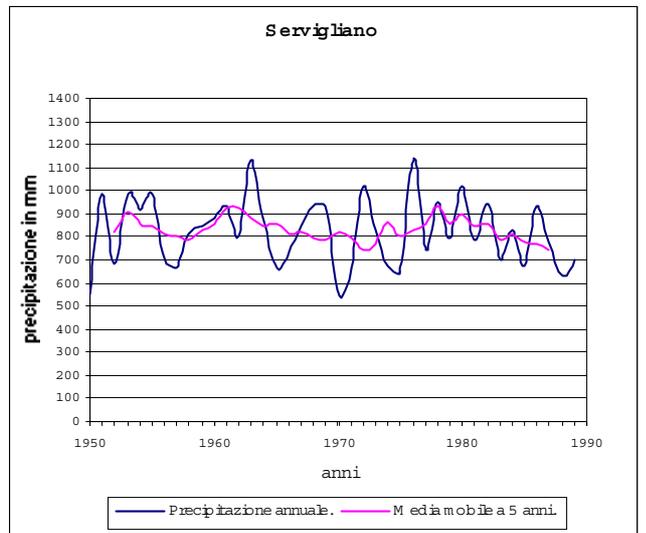
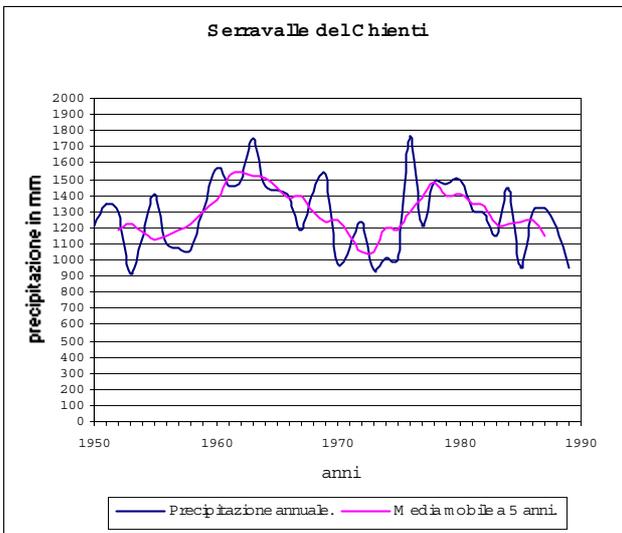
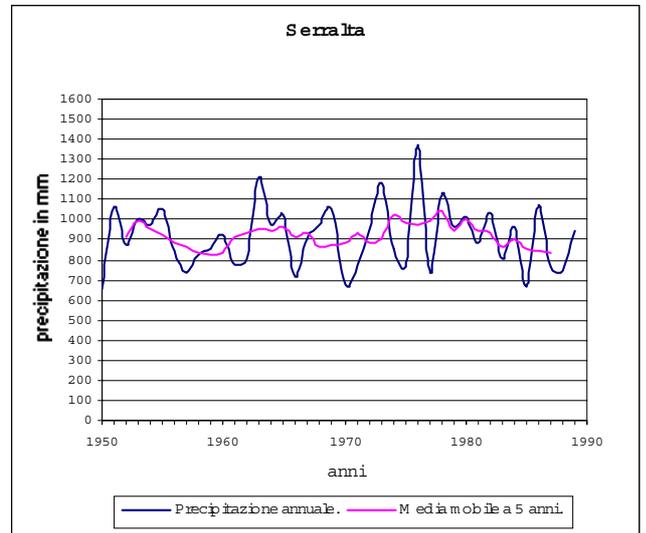
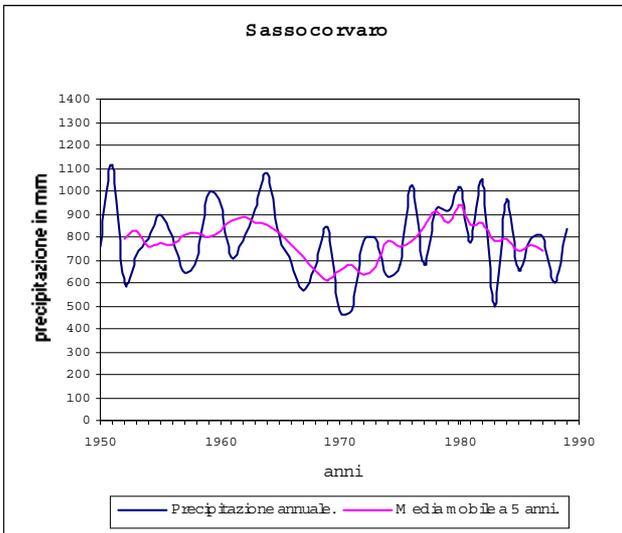
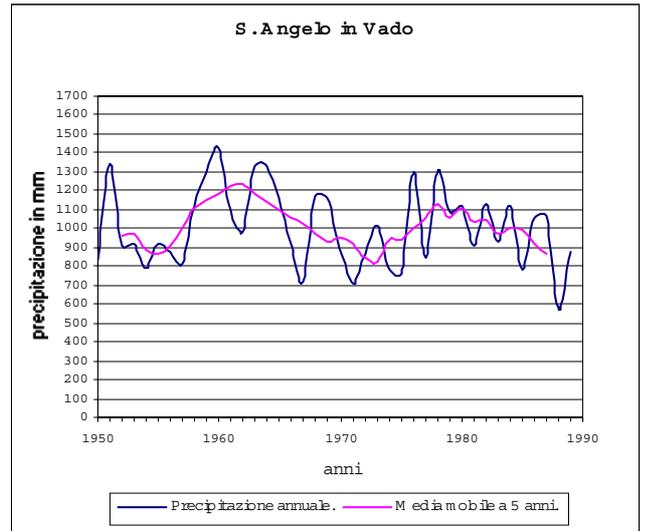
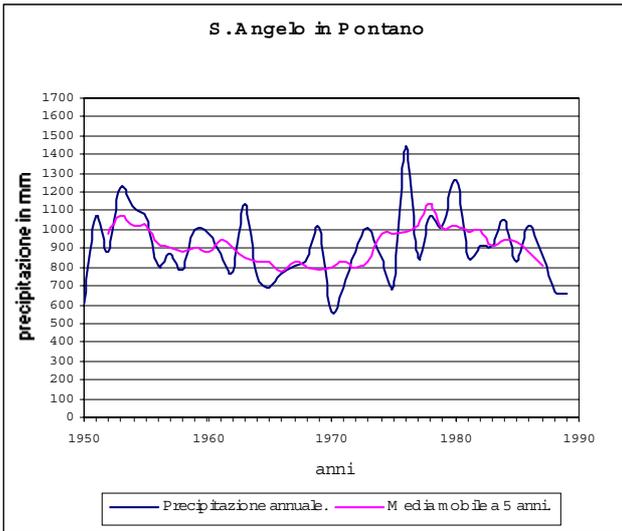
Grafici delle serie temporali con trend non significativo.

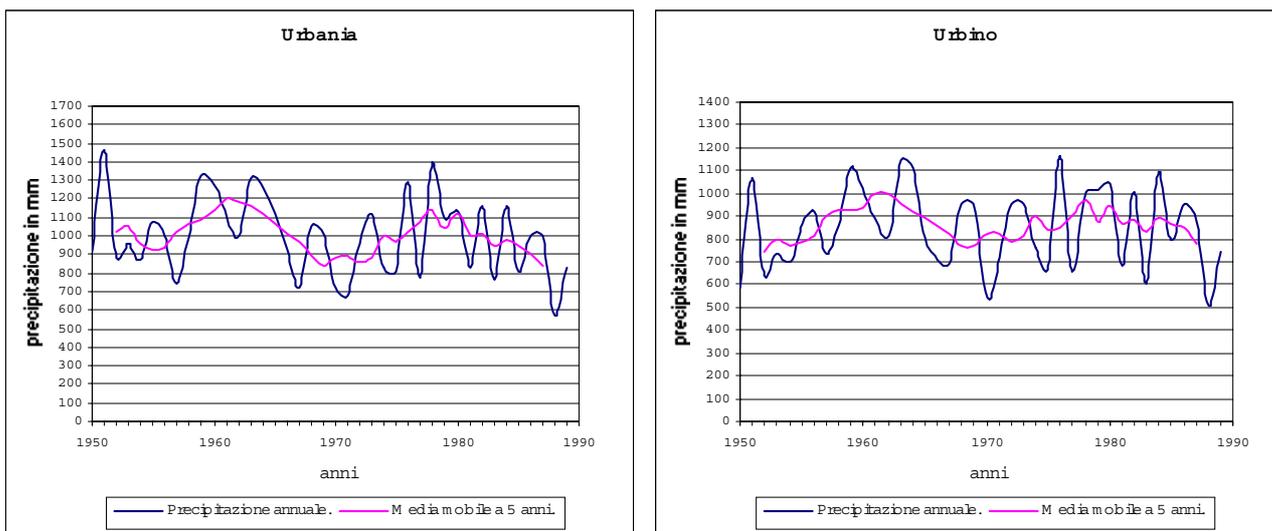












## 5. Realizzazione ed analisi delle carte del campo medio della precipitazione annuale e stagionale sulle Marche dal 1950 al 1989

Relativamente al periodo 1950-1989, le cartografie che sono state configurate sono 5: una della precipitazione media annuale e le altre della precipitazione media stagionale.

I dati di precipitazione media annuale di ogni stazione di misura sono stati calcolati tramite la media aritmetica dei totali annui dal 1950 al 1989. Analogamente le precipitazioni medie stagionali risultano dalla media aritmetica dei valori stagionali dello stesso periodo. E' da osservare che nel calcolo delle somme relative all'inverno si fa riferimento al mese di dicembre dell'anno precedente ed ai mesi di gennaio e febbraio dell'anno in questione.

Le precipitazioni non variano in modo rigoroso e costante con l'altitudine, in quanto risentono sia della direzione di flusso delle correnti atmosferiche sia dell'orografia locale. L'influenza di quest'ultimo fattore è giustificata dal fatto che i rilievi favoriscono i moti ascensionali delle masse d'aria, consentendo la condensazione del vapor d'acqua e quindi il verificarsi di precipitazioni.

I dati analizzati sono stati rappresentati spazialmente tramite la tecnica di interpolazione di Kriging supportata dal G.I.S. GeoMedia-Pro, al quale sono state fornite in input le coordinate spaziali latitudine e longitudine ed il valore di precipitazione annuale o stagionale. Le mappe ottenute mostrano la distribuzione della precipitazione media suddivisa in fasce progressive, di ampiezza 50 mm per l'annuale e 15 mm per le stagionali,

delimitate da linee continue, denominate isoiete, che congiungono punti caratterizzati dalla stessa quantità di acqua precipitata. Tali mappe sono state poi sovrapposte a 2 raster in scala 1:200.000 del territorio marchigiano forniti dall'Ente Regione: uno con i dettagli delle provincie, comuni, rete stradale, ferroviaria ed uno con le aree dei bacini fluviali. Sono stati così ottenuti in totale 10 elaborati cartografici, restituiti in forma digitale nel CD allegato.

Dall'esame della carta del campo medio della precipitazione annua si rileva che la regione risulta suddivisa longitudinalmente in tre fasce: una costiera con valori di precipitazione compresi tra i 600 e gli 850 mm; una medio-bassocollinare con valori nel range da 850 a 1100 mm ed una altocollinare e montana con valori oltre i 1100 mm.

In ciascuna delle tre fasce si possono evidenziare delle aree con caratteristiche particolari.

La costa meridionale risulta la meno piovosa (550-650 mm): ciò consegue in parte dalla posizione sottovento di questa zona rispetto alla catena del Gran Sasso a sud ed ai Monti Sibillini ad ovest. Infatti, quando le perturbazioni provenienti da ovest-sudovest superano questi rilievi hanno già scaricato su di essi una buona quantità di acqua precipitabile.

Un minimo relativo è presente nelle località limitrofe ad Osimo-Recanati (650-700 mm), il cui regime pluviometrico è influenzato dal Monte Conero (572 m s.l.m.) e dalla fascia collinare posta a nordovest, pur essendo caratterizzata da alture modeste.

Spostandoci ancora verso l'interno troviamo altri due minimi relativi, uno (750-800 mm) nella vallata circondata dai rilievi del Montefeltro a nordovest, da quelli di Urbino a sud e dal Monte Titano (750 m s.l.m.) a nord, e l'altro (750-900 mm) nella zona di Camerino-S. Severino Marche, coperta a settentrione dal massiccio del S. Vicino (1485 m s.l.m.) e ad ovest e sud dai rilievi appenninici più alti delle Marche.

La zona più piovosa è quella appenninica, con massimo assoluto (1550-1700 mm) in corrispondenza del Monte Catria (1701 m s.l.m.), cui seguono altri massimi significativi nelle aree dei Monti Sibillini (1500-1550 mm), del Monte Pennino (1570 m s.l.m.) (1350-1400 mm) e del S. Vicino (1050-1100 mm).

Per quanto concerne i campi della precipitazione media stagionale, si osserva che il territorio regionale risulta essere suddiviso nelle medesime fasce sopra descritte, con quantitativi medi di acqua precipitata compresi negli intervalli riportati nella tabella a pagina seguente:

<i>Zona</i>	<i>Costiera</i>	<i>Medio-bassocollinare</i>	<i>Altocollinare e montana</i>
<i>Stagione</i>			
<i>Primavera</i>	120-195 mm	195-270 mm	270-435 mm
<i>Estate</i>	105-165 mm	165-195 mm	195-285 mm
<i>Autunno</i>	165-225 mm	225-315 mm	315-480 mm
<i>Inverno</i>	150-210 mm	210-300 mm	300-525 mm

Si rileva così che l'autunno è la stagione più piovosa, salvo una maggiore ampiezza del range di piovosità invernale per la zona altocollinare e montana, con limite superiore più elevato. Inoltre per le stagioni si individuano le stesse aree di minimi e massimi assoluti e relativi identificate nell'analisi della distribuzione della precipitazione media annuale. Un andamento leggermente diverso si riscontra in inverno, quando l'area di minima piovosità, oltre che nella costa meridionale, si presenta anche nella valle a sud del Conero e nell'estrema costa nord. Per quest'ultima la causa è da ricercare nel fatto che è maggiormente interessata dai sistemi anticiclonici continentali che, durante la stagione fredda, ristagnano sull'Europa centrale e si estendono fino alla pianura padano-emiliana. Gli intervalli di variazione dei minimi e massimi evidenziati, espressi in mm, sono i seguenti:

*Minimi assoluti e relativi.*

<i>Zona</i>	<i>Costa sud</i>	<i>Osimo-Recanati</i>	<i>Sudovest Montefeltro</i>	<i>Camerino-S. Severino</i>	<i>Costa nord</i>
<i>Stagione</i>					
<i>Primavera</i>	120-150	135-150	180-195	180-210	-
<i>Estate</i>	105-135	-	150-165	165-180	-
<i>Autunno</i>	165-195	195-210	225-240	195-240	-
<i>Inverno</i>	150-180	150-165	150-180	195-240	150-165

*Massimi assoluti e relativi.*

<i>Zona</i>	<i>Catria</i>	<i>Sibillini</i>	<i>Pennino</i>	<i>S. Vicino</i>
<i>Stagione</i>				
<i>Primavera</i>	375-420	390-405	330-345	255-270
<i>Estate</i>	240-270	240-255	225-240	210-225
<i>Autunno</i>	420-465	420-450	360-390	285-300
<i>Inverno</i>	465-510	420-435	405-435	270-285

Relativamente al raster dei bacini idrografici delle Marche, attraverso il G.I.S. GeoMedia-Pro, è stata calcolata l'estensione superficiale di ciascuna area di bacino e, in seguito alla sovrapposizione delle mappe delle isoiete a tale raster, è stata determinata la quantità media annuale e stagionale di acqua precipitata in ogni bacino fluviale.

I dati ottenuti sono riportati nelle tabelle sottostanti:

*Estensione (ha) delle aree di bacino.*

<i>Codice</i>	<i>Bacino</i>	<i>Area (ha)</i>
T	Fiume Tevere	21.228,0
A	Fiume Marecchia	31.170,4
B	Torrente Conca	9.812,9
C	Fiume Tronto	74.421,5
1	Fiume Tavollo	4.863,2
2	Litorale tra Gabicce e Pesaro	267,2
3	Fiume Foglia	62.725,0
4	Rio Genica	3.083,2
5	Torrente Arzilla	10.547,4
6	Fiume Metauro	126.704,0
7	Litorale tra Metauro e Cesano	2.762,2
8	Fiume Cesano	41.230,0
9	Litorale tra Cesano e Misa	1.159,6
10	Fiume Misa	37.712,2
11	Litorale tra Misa e Fosso Rubiano	2.052,6
12	Fosso Rubiano	3.761,3
13	Fiume Esino	115.455,5
14	Litorale tra Esino e Musone	5.460,6
15	Fiume Musone	64.672,8
16	Rio Fiumarella o Bellaluce	1.330,4
17	Fiume Potenza	75.897,7
18	Fosso Pilocco	2.498,4
19	Torrente Asola	5.715,2
20	Fiume Chienti	129.816,9
21	Litorale tra Chienti e Tenna	1.786,4
22	Fiume Tenna	48.919,5
23	Fosso Valloscura/Rio Petronilla	1.858,3
24	Fiume Ete Vivo	18.087,5
25	Fosso del Mulinello/Fosso di S. Biagio	2.225,5
26	Fiume Aso	27.967,9
27	Rio Canale	1.840,8
28	Torrente Menocchia	9.429,3
29	Torrente di S. Egidio	2.327,3
30	Fiume Tesino	12.017,8
31	Torrente Albula/Torrente Ragnola	4.834,4
a	Fiume Savio	6.261,7
b	Torrente Vibrata	843,5

*Quantità media annuale e stagionale di acqua precipitata (mc).*

<i>Codice</i>	<i>Anno</i>	<i>Primavera</i>	<i>Estate</i>	<i>Autunno</i>	<i>Inverno</i>
T	317.180.000	81.216.250	56.641.750	87.815.250	89.902.750
A	347.515.000	87.831.000	69.949.000	101.532.250	95.094.250
B	82.300.000	20.502.500	17.687.250	24.705.000	20.539.250
C	816.015.000	211.088.250	156.370.000	234.010.250	220.656.250
1	40.265.000	9.798.000	8.623.750	12.526.250	10.409.500
2	1.687.500	395.750	366.500	534.000	398.500
3	589.685.000	147.482.500	119.857.500	177.072.750	147.534.000
4	21.912.500	5.241.000	4.810.750	6.820.250	5.197.250
5	81.232.500	19.882.250	17.426.500	24.699.000	19.689.250
6	1.406.535.000	354.254.250	259.564.500	418.626.000	379.119.250
7	20.385.000	4.802.750	4.446.500	6.287.500	5.112.500
8	400.020.000	99.713.250	80.432.500	116.979.000	104.445.500
9	9.505.000	2.221.000	2.063.250	2.841.000	2.424.250
10	373.265.000	92.404.500	79.323.750	108.032.750	96.328.500
11	19.810.000	4.586.750	4.114.750	5.974.250	4.942.750
12	39.485.000	9.341.500	8.125.250	11.880.750	9.813.250
13	1.178.960.000	292.994.000	233.492.000	336.768.750	320.433.000
14	49.927.500	11.613.750	10.519.000	15.170.000	12.783.500
15	561.345.000	136.177.250	118.670.750	163.655.500	145.109.250
16	10.292.500	2.412.250	2.183.250	3.199.750	2.550.750
17	779.805.000	192.814.750	153.506.500	221.287.250	212.426.250
18	18.490.000	4.400.000	3.911.000	5.522.750	4.725.500
19	39.910.000	9.532.500	8.282.000	12.173.500	10.183.000
20	1.256.720.000	312.070.250	251.141.750	351.016.000	347.312.250
21	12.217.500	2.927.250	2.516.250	3.674.500	3.153.000
22	521.175.000	134.865.500	99.209.500	146.524.750	142.230.750
23	15.147.500	3.579.250	3.142.000	4.566.000	3.917.000
24	144.160.000	35.652.750	30.540.000	41.111.250	37.458.250
25	17.785.000	4.282.500	3.639.750	5.460.250	4.685.250
26	284.915.000	73.464.500	52.992.500	80.300.250	75.550.500
27	14.725.000	3.394.250	3.069.000	4.462.500	3.844.000
28	79.645.000	19.538.250	17.265.250	23.700.250	18.503.000
29	17.782.500	4.206.500	3.631.750	5.326.500	4.492.250
30	104.495.000	26.345.250	22.554.250	29.633.000	26.413.250
31	38.445.000	9.291.500	8.022.500	11.367.250	9.374.500
a	59.262.500	15.315.000	12.030.750	17.378.750	14.885.000
b	6.732.500	1.710.750	1.418.250	1.980.000	1.653.750

## 6. Cluster analysis

Il termine *cluster analysis* comprende vari algoritmi di classificazione, che implementano l'organizzazione dei dati osservati in strutture significative. Le procedure di cluster analysis più comunemente usate sono quelle gerarchiche: esse costruiscono una gerarchia di gruppi, ognuno dei quali è ottenuto dalla fusione di una coppia di gruppi precedentemente definiti.

All'inizio si considerano le  $n$  osservazioni non aventi una struttura di gruppo o, equivalentemente, ciascuna costituente un gruppo a sé. Si parte, quindi, con  $n$  gruppi contenenti un solo elemento. Il primo passo è trovare i due gruppi che sono meno dissimili o distanti e fonderli in uno nuovo. Ora ci sono  $(n-1)$  gruppi, uno dei quali ha due membri. In ogni passo successivo i due gruppi più simili o vicini sono combinati insieme a formare un gruppo più grande. Questo processo continua per  $(n-1)$  passi, fino a che tutte le  $n$  osservazioni sono state aggregate in un unico blocco.

Né gli  $n$  gruppi di classificazione all'inizio del processo, né il blocco finale sono utili e significativi, mentre una classificazione naturale dei dati in un numero di gruppi informativi  $G$ , con  $1 < G < n$ , potrebbe emergere a qualche stadio intermedio, a seconda del processo generante.

Il risultato ideale è una divisione dei dati che minimizzi la differenza tra i membri di un dato cluster e massimizzi la differenza tra membri di cluster diversi.

L'idea centrale del clustering di dati osservati è la distanza. La misura di distanza tra coppie di punti più intuitiva e comunemente usata è la distanza Euclidea, che nello spazio  $K$ -dimensionale tra due punti  $x_i$  e  $x_j$  è data da:

$$d_{i,j} = \|x_i - x_j\| = \sqrt{\sum_{k=1}^K (x_{i,k} - x_{j,k})^2}. \quad (11)$$

Il criterio usato per calcolare la distanza tra cluster e cluster definisce essenzialmente il metodo di clustering. Tra i più conosciuti c'è il metodo del *single-linkage* o clustering della minima distanza: la distanza tra i cluster  $G_1$  e  $G_2$  è la minima distanza Euclidea tra un membro di  $G_1$  ed uno di  $G_2$ . Formalmente:

$$d_{G_1, G_2} = \min_{i \in G_1, j \in G_2} |d_{i,j}| \quad (12)$$

[Wilks, 1995].

Nel nostro studio, le osservazioni suddivise in gruppi sono relative alle precipitazioni medie annuali per il periodo 1950-1989 delle 102 stazioni. E' stato usato un programma di statistica che, ricevendo questi dati in input, ne ha calcolato le differenze a due a due e, seguendo il metodo del single-linkage, ha restituito in output la classificazione rappresentata graficamente dall'albero gerarchico orizzontale riportato in Fig.2.

Tale classificazione permette di individuare zone affini da un punto di vista pluviometrico, raggruppando a vari livelli le stazioni con le minime differenze di precipitazione. Dall'analisi del grafo, posizionandoci a livello 14, intermedio tra 1 e  $n$ , si evidenziano 14 categorie che sono state determinate attraverso un'apposita opzione del programma di statistica utilizzato e opportunamente tabulate.

<i>Categoria</i>	<i>n. stazioni</i>	<i>Elenco</i>
1	63	Acqualagna, Cupramontana, Fossombrone, Foresta della Cesana, Cingoli, Novafeltria, Acquasanta, Arcevia, Amandola, Fabriano, Monte Jottone, Petriano, Serralta, Calcinelli, Corinaldo, Montottone, Montecarotto, Barbara, Barchi, S. Angelo in Pontano, Capo il Colle, Amatrice, Camerino, Tavoleto, Bargni, Diga di Quarto, S. Lorenzo in Campo, Tolentino, Moie, S. Marino, Diga di Carassai, Urbino, Offida, Ostra, Piagge, Ancona (Baraccola), Ripatransone, Servigliano, Filottrano, Loro Piceno, Petriolo, Ancona (Torrette), Grottazzolina, Morrovalle, Cattolica, Candelara, Spinetoli, Montecassiano, Lornano, Fano, Recanati, Fermo, Ascoli Piceno, Macerata, Mondolfo, Falconara, Jesi, Loreto, Senigallia, S. Severino Marche, Sassocorvaro, Monterubbiano, Pesaro.
2	13	S. Martino, Pievebovigliana, Sarnano, Pennabilli, Pioraco, Capodacqua, S. Maria di Pieca, Sassoferrato, Croce di Casale, S. Angelo in Vado, Urbania, Poggio Cancelli, Pergola.
3	4	Porto S. Elpidio, Osimo, Pedaso, Roseto degli Abruzzi.
4	4	Carpegna, Apiro, Arquata del Tronto, Mercatello.
5	1	Bocca Serriola.
6	2	Fiume di Fiastra, Montemonaco.
7	7	Cagli, Gelagna Alta, Cantiano, Serravalle del Chienti, Pianello, Pié del Sasso, Campodiegoli.
8	1	Badia Tedalda.
9	1	Ville S. Lucia.
10	1	Verghereto.
11	1	Grottammare.
12	2	Sorti, Bocca Trabaria.
13	1	Fonte Avellana.
14	1	Bolognola.

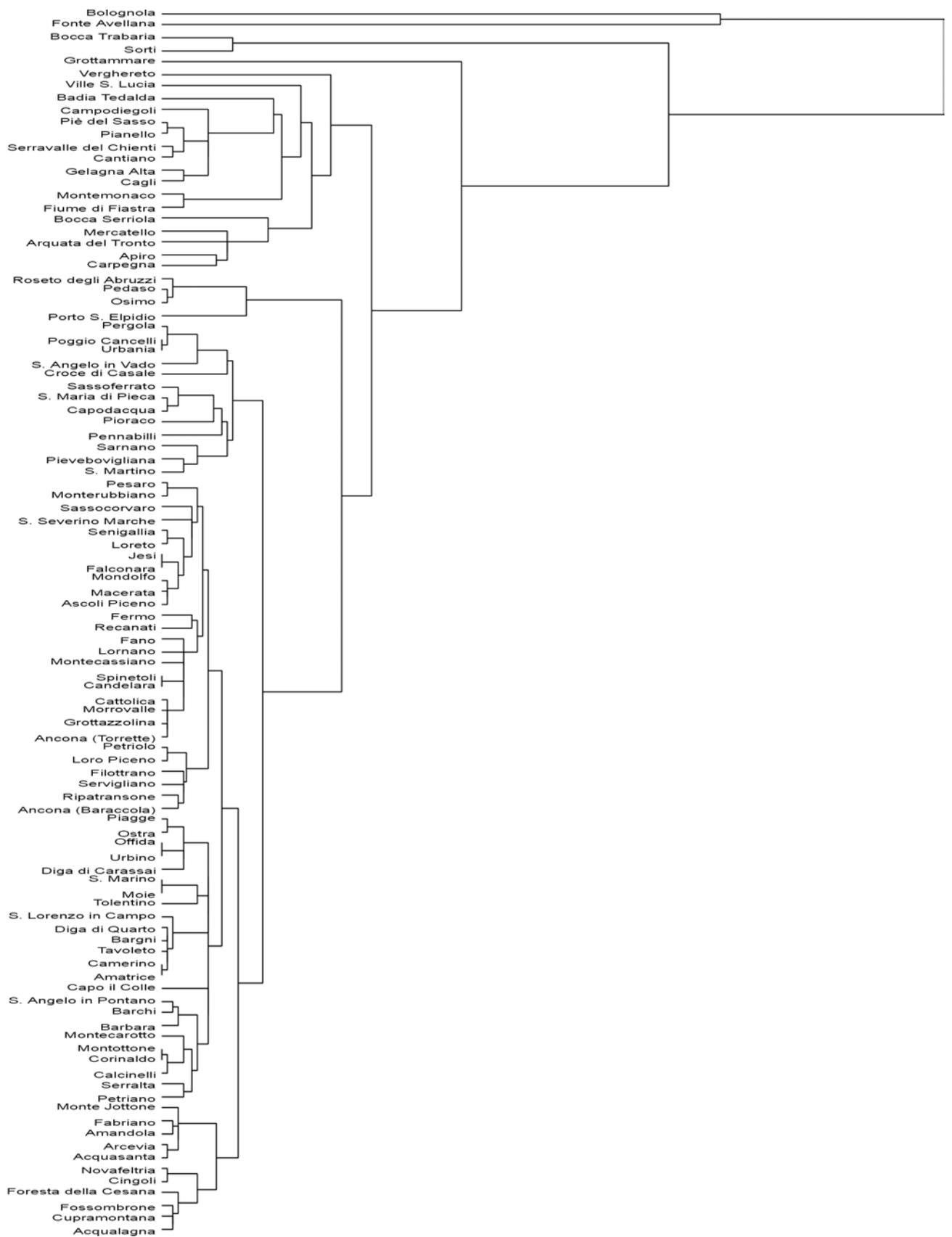


Fig.2 Albero gerarchico orizzontale.

Per avere una visualizzazione immediata delle zone pluviometricamente affini determinate è stata realizzata la seguente cartina:

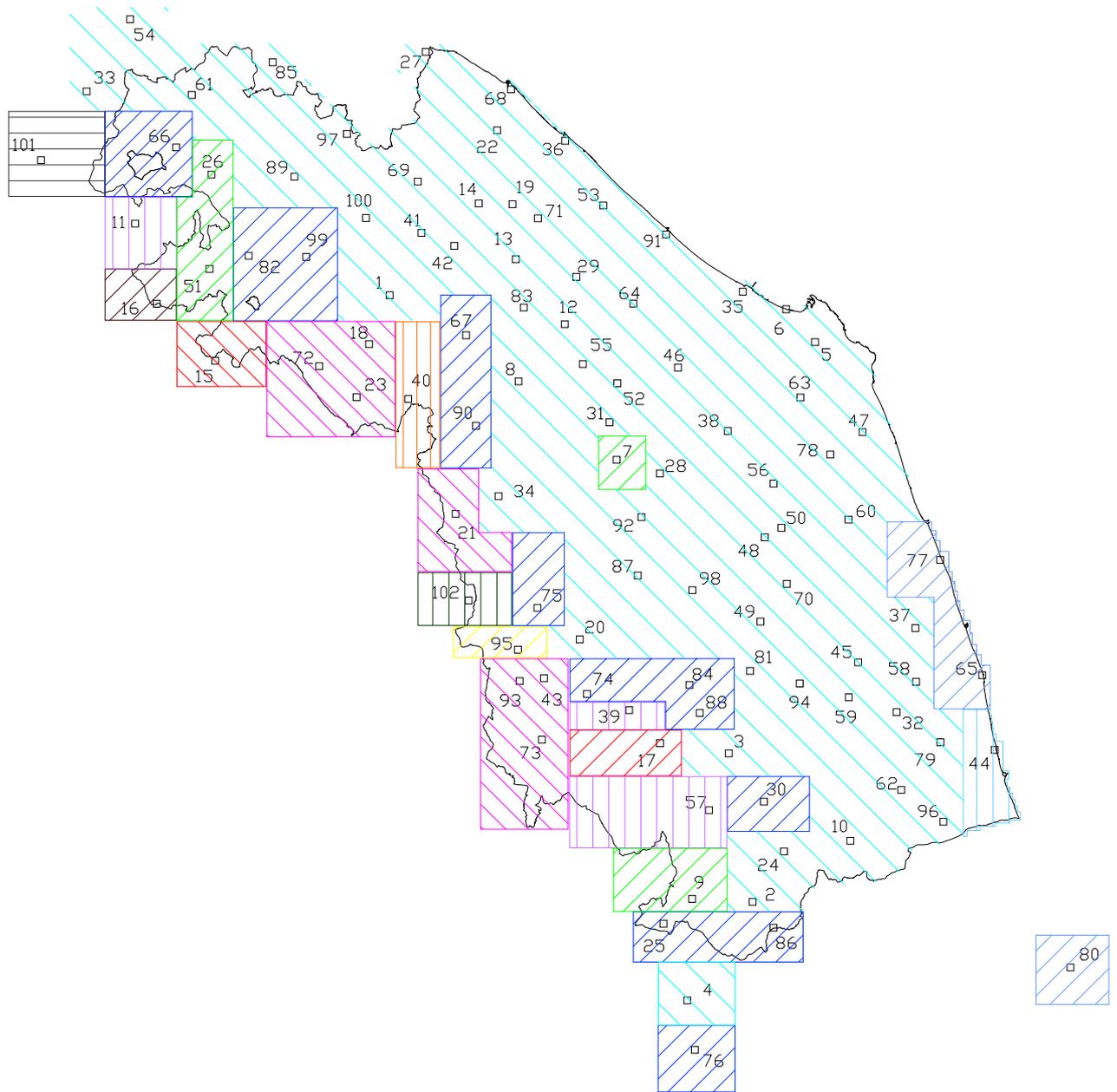


Fig.3 Carta delle zone pluviometricamente affini.

## 7. Coefficienti di correlazione e relativa matrice

La teoria della correlazione permette di misurare il grado di interdipendenza di due variabili statistiche. Quando la dipendenza è lineare si parla di correlazione lineare, che può essere valutata tramite il coefficiente di correlazione lineare di Pearson,  $r$ . Questo coefficiente può essere determinato in diversi modi, tutti equivalenti, ed esprime con un numero adimensionale il grado di interdipendenza tra le due variabili. Il modo più semplice per definirlo è il seguente:

$$r = \frac{\text{cov}(x, y)}{\sigma_x \sigma_y} = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2} \sqrt{\sum (y - \bar{y})^2}}. \quad (13)$$

Il coefficiente di correlazione lineare è quindi il rapporto tra la covarianza delle due variabili ed il prodotto delle loro deviazioni standard.

La correlazione di Pearson ha due importanti proprietà. La prima è che  $-1 \leq r \leq 1$ . Se  $r$  è uguale a  $-1$  c'è una perfetta associazione lineare negativa tra  $x$  ed  $y$ , cioè il grafico di  $x$  ed  $y$  consiste di punti che cadono tutti sulla stessa retta e tale retta ha pendenza negativa. Similmente se  $r$  è uguale ad  $1$  c'è una perfetta associazione lineare positiva. La seconda importante proprietà è che il quadrato della correlazione di Pearson,  $r^2$ , specifica la proporzione della variabilità di una delle due variabili linearmente spiegata o descritta dall'altra.

Un modo utile per visualizzare simultaneamente la correlazione tra le variabili è rappresentato dalla matrice di correlazione che organizza sistematicamente la collezione dei coefficienti di correlazione [Boggio e Borello, 1992].

Relativamente al nostro studio, il coefficiente di correlazione, calcolato per tutte le possibili coppie di stazioni a partire dai dati mensili dal 1950 al 1989, si è dimostrato un valido strumento per valutare il grado di interdipendenza tra le rispettive stazioni, ovvero evidenziare come al verificarsi di un dato fenomeno in una determinata località ne corrisponda uno simile in un'altra d'interesse.

La matrice risultante è in Appendice IV.

## 8. Standardized Precipitation Index (SPI)

L'indice SPI, sviluppato da McKee et al. (1993), ha lo scopo di quantificare il deficit di precipitazione per diverse scale di tempo. Ognuna di queste scale riflette l'impatto della siccità sulla disponibilità delle differenti risorse di acqua.

La siccità è una normale e ricorrente caratteristica del ciclo idrologico e quindi di ogni tipo di clima. Essa differisce dall'aridità in quanto quest'ultima è ristretta ad aree geografiche con scarse precipitazioni ed è una proprietà permanente del clima.

L'umidità del suolo risponde alle anomalie di precipitazione su scale temporali brevi, mentre l'acqua del sottosuolo, i fiumi e gli invasi tendono a rispondere su scale oggettivamente più lunghe.

McKee et al. hanno calcolato l'SPI per 1, 3, 6, 12, 24 e 48 mesi. L'SPI a 1-3 mesi è usato per indici di siccità a breve termine o stagionale, a 6-12 mesi per indici di siccità a medio termine ed a 24-48 mesi per indici di siccità a lungo termine.

Per il suo calcolo sono necessari solo i dati di precipitazione; esso è calcolato considerando lo scarto della precipitazione accumulata su una data scala temporale rispetto al suo valore medio, diviso per la sua deviazione standard.

Dato che la precipitazione non ha una distribuzione di probabilità normale, almeno su scale temporali minori dell'anno, viene eseguito un aggiustamento della variabile in modo che l'SPI abbia una distribuzione gaussiana con media nulla e varianza unitaria. Avere un indice con media e varianza fissate, consente di confrontare i valori calcolati per diverse località. Inoltre esso permette di considerare periodi umidi e siccitosi nello stesso modo.

La classificazione dell'intensità di umidità o siccità risultante dal calcolo dell'SPI è mostrata nel seguente schema:

VALORE DELL'SPI	CLASSE
> 2,0	Estremamente umido
da 1,5 a 1,99	Veramente umido
da 1,0 a 1,49	Moderatamente umido
da -0,99 a 0,99	Vicino al normale
da -1,0 a -1,49	Moderatamente siccitoso
da -1,5 a -1,99	Severamente siccitoso
< -2,0	Estremamente siccitoso

Osservando la tabella, si rileva che per valori dell'indice compresi tra 0 e  $-0,99$  siamo in condizioni di normalità o di siccità lieve, tra  $-1$  e  $-1,49$  di siccità moderata, tra  $-1,5$  e  $-1,99$  severa e oltre  $-2$  estrema.

Lo stesso vale per la piovosità, ma con valori positivi dell'indice.

Si precisa inoltre che con il termine siccità severa si definisce non solo un deficit di precipitazione ad una precisa scala temporale, ma anche una sequenza consecutiva di tale deficit.

Il metodo di calcolo dell'SPI può essere riassunto come segue: per prima cosa si esegue la raccolta dei dati di precipitazione mensile della località in esame, registrati su 30 anni o più, che devono essere cumulati su 1, 3, 6, 12, 24, 48 mesi a seconda della scala temporale scelta (ad esempio: per il calcolo dell'SPI a 24 mesi di gennaio 1952 verranno sommate le precipitazioni mensili da febbraio 1950 a gennaio 1952).

La precipitazione mensile segue la distribuzione di probabilità Gamma, la cui funzione densità di probabilità (PDF) è definita come in (1).

La probabilità cumulata, prendendo  $t = x/\beta$  risulta:

$$F(x) = \int_0^x f(x)dx = \frac{1}{\Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x t^{(\hat{\alpha}-1)} e^{-t} dt. \quad (14)$$

Siccome tale funzione di distribuzione non è definita per  $x = 0$  ed una distribuzione di precipitazione può contenere valori nulli, la probabilità cumulata diventa:

$$H(x) = q + (1 - q)F(x) \quad (15)$$

dove  $q$  è la probabilità che la precipitazione sia zero.

$H(x)$  è allora trasformata in una variabile normale  $Z$  per mezzo della seguente approssimazione [Abramowitz and Stegun, 1965]:

$$Z = SPI = - \left( t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad \text{per } 0 < H(x) \leq 0,5$$

$$Z = SPI = + \left( t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad \text{per } 0,5 < H(x) \leq 1$$
(16)

dove

$$t = \ln\left(\frac{1}{(H(x))^2}\right) \quad \text{per } 0 < H(x) \leq 0,5$$
$$t = \ln\left(\frac{1}{(1-H(x))^2}\right) \quad \text{per } 0,5 < H(x) < 1$$
(17)

e  $c_0, c_1, c_2, d_1, d_2, d_3$  sono le seguenti costanti:

$$\begin{array}{ll} c_0 = 2,515517 & d_1 = 1,432788 \\ c_1 = 0,802853 & d_2 = 0,189269 \\ c_2 = 0,010328 & d_3 = 0,001308 \end{array}$$
(18)

Concettualmente, quindi, l'SPI rappresenta una variabile scarto  $Z$ , o il numero di deviazioni standard  $\sigma$  che un evento ha dalla media [Guttman, 1999].

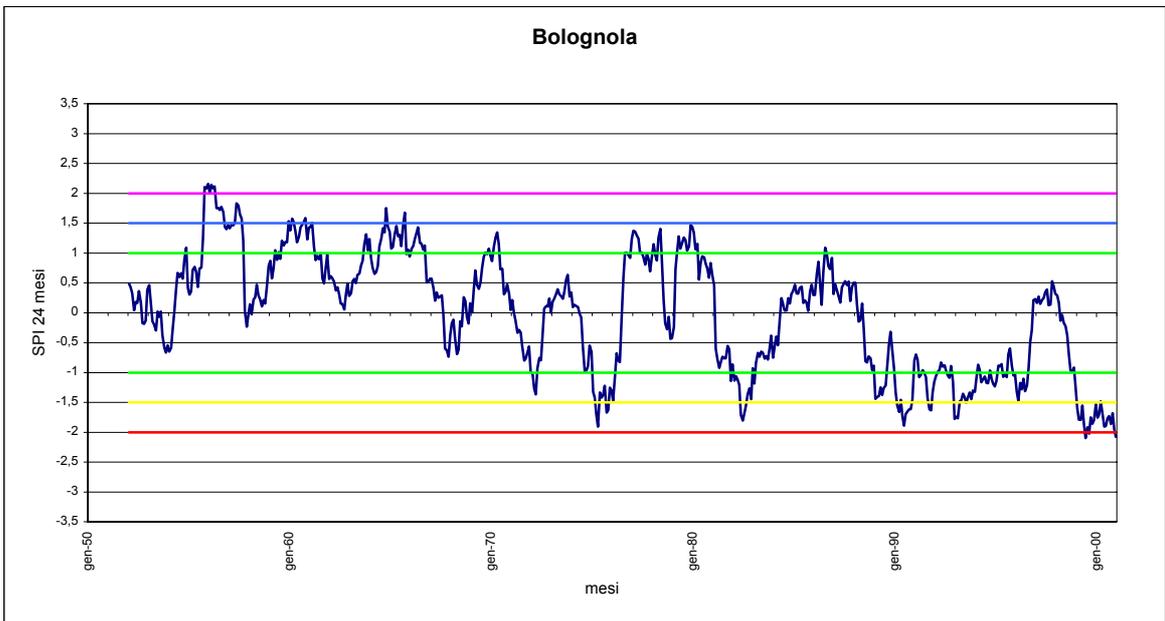
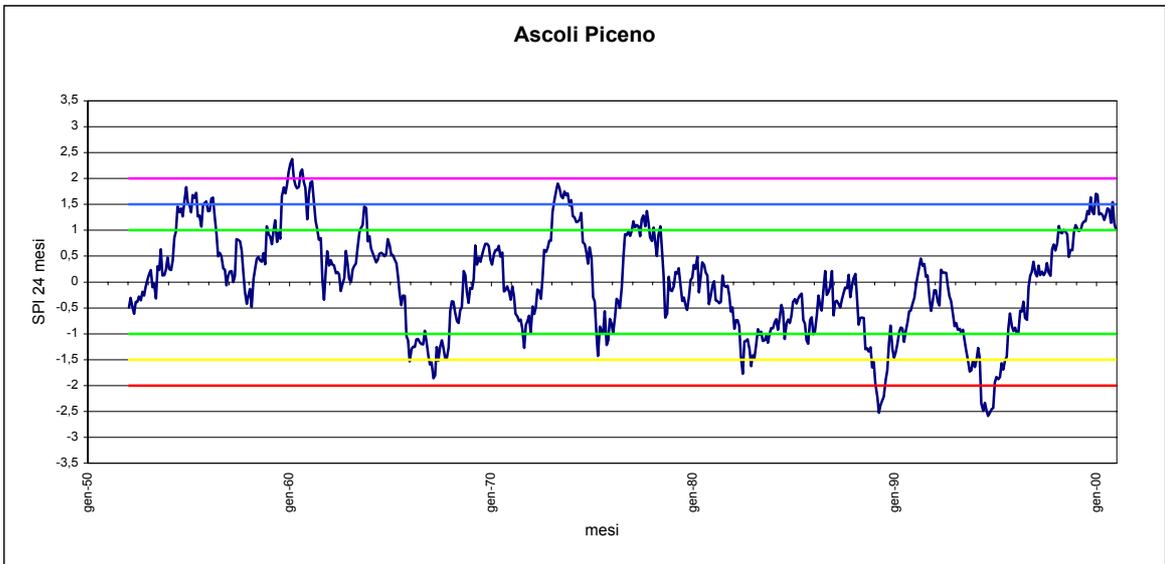
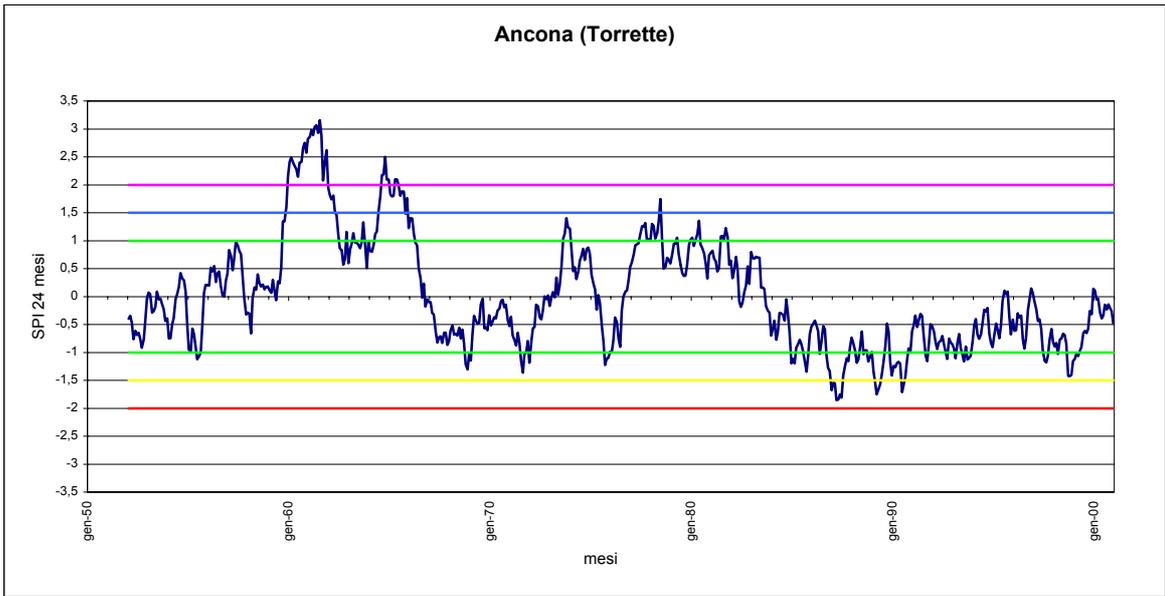
Per lo studio da noi svolto si è prescelto l'indice SPI a 24 mesi per valutare eventuali deficit o surplus di precipitazione a lungo termine ed evidenziare se e quando si è verificato il superamento dei valori estremi di riferimento.

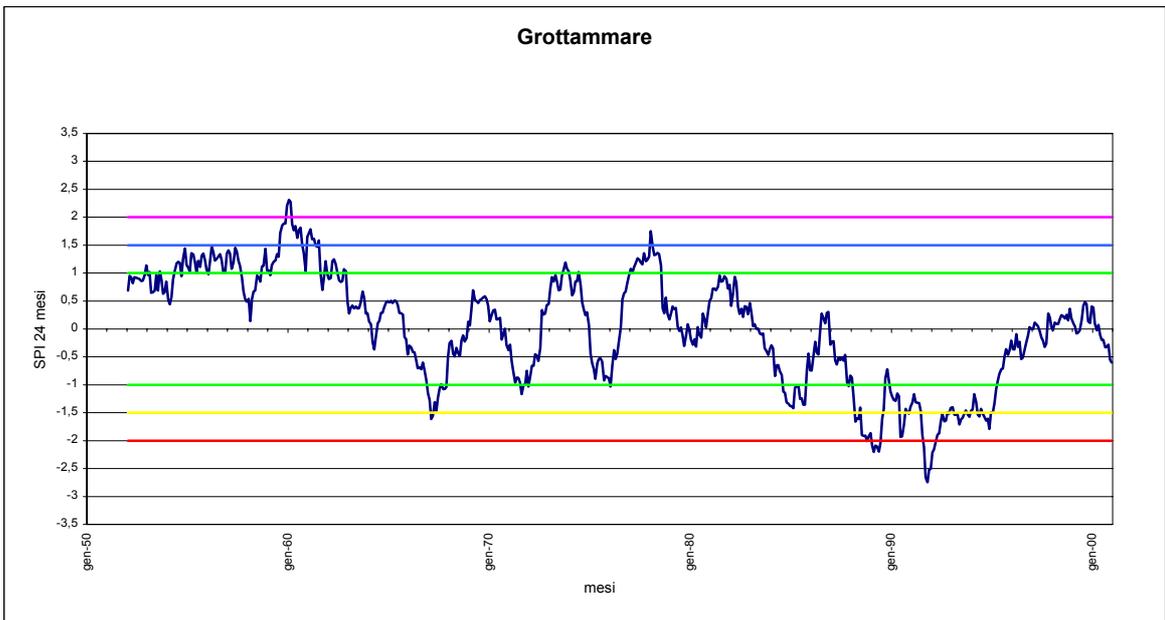
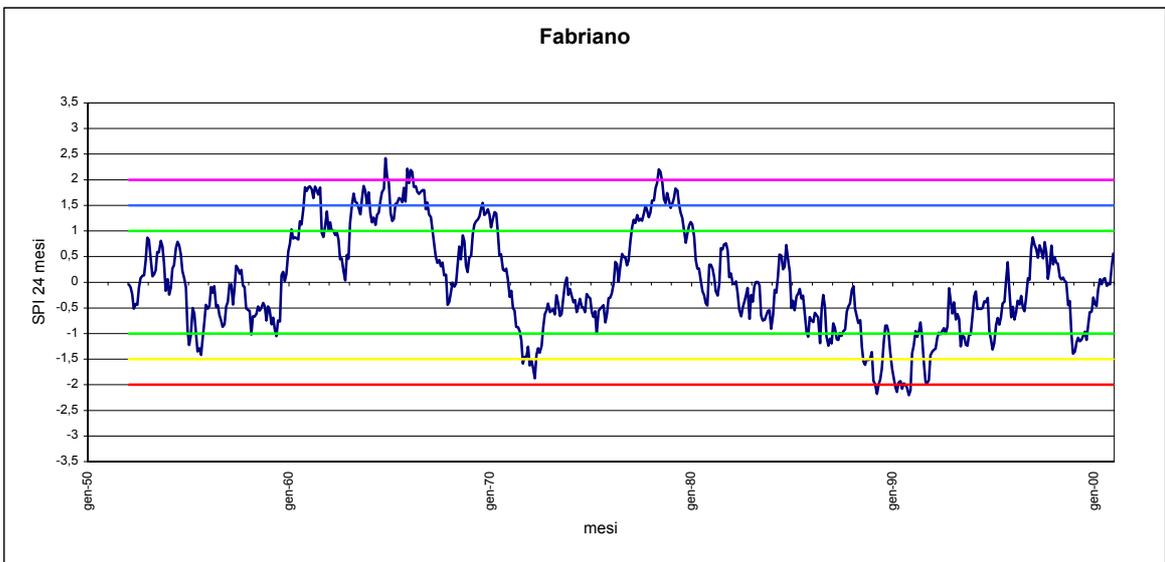
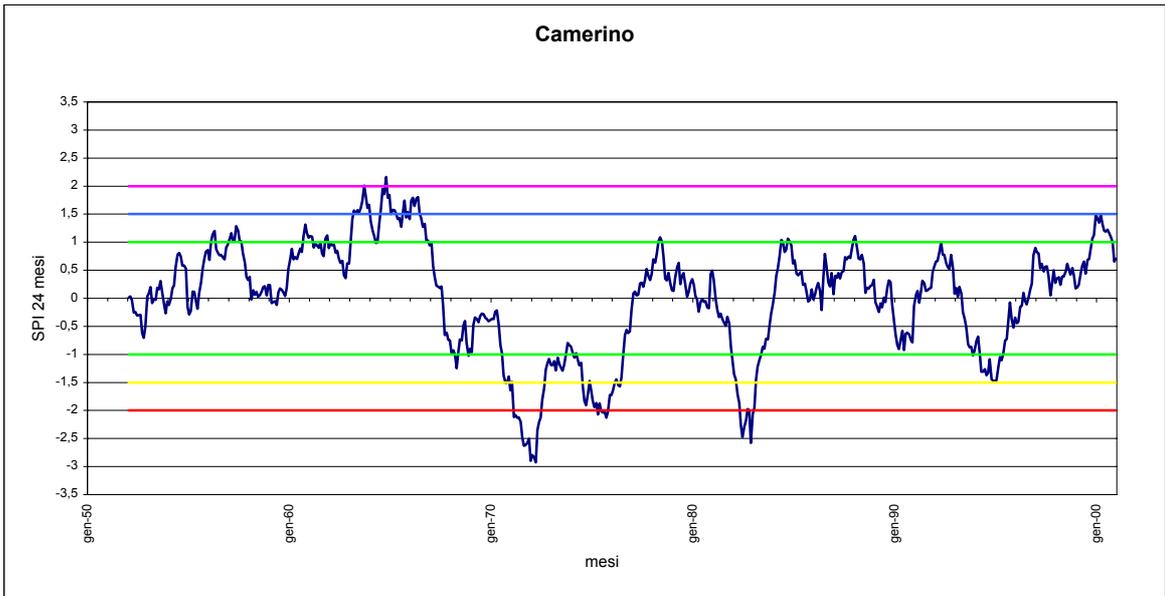
L'indice è stato calcolato per le 15 stazioni per le quali erano disponibili i dati pluviometrici mensili dal 1950 al 2000 al fine di effettuare, in particolare, un'indagine sull'ultimo decennio. La metodologia computazionale adottata è quella sopra descritta, con riferimento alla distribuzione di probabilità della precipitazione stimata dalle osservazioni relative al periodo dal 1950 al 2000.

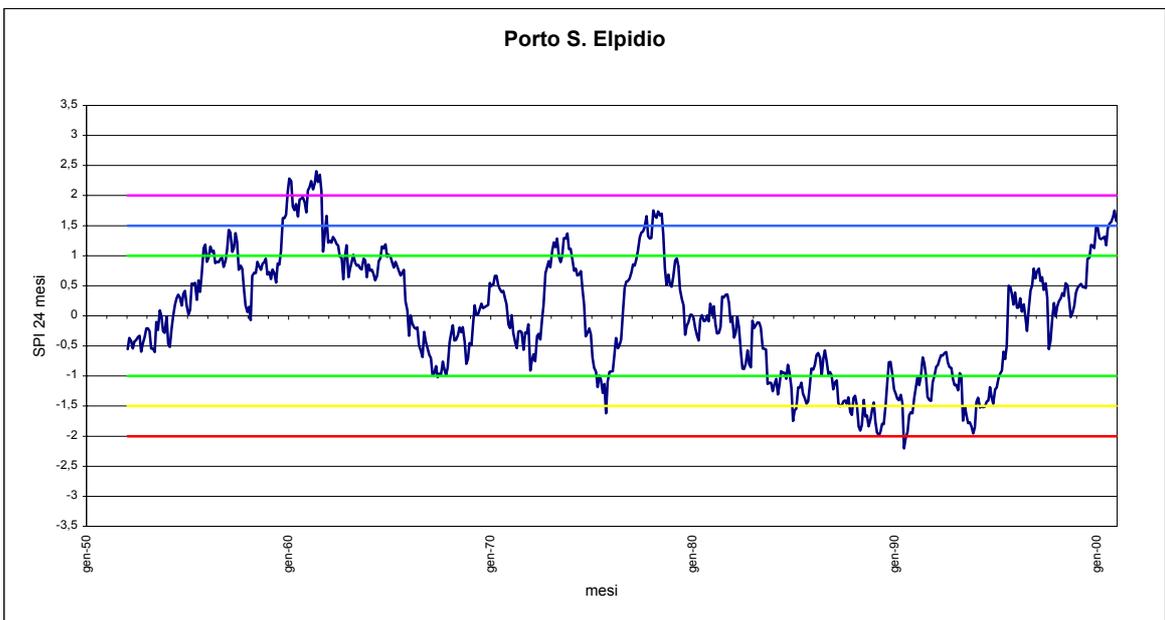
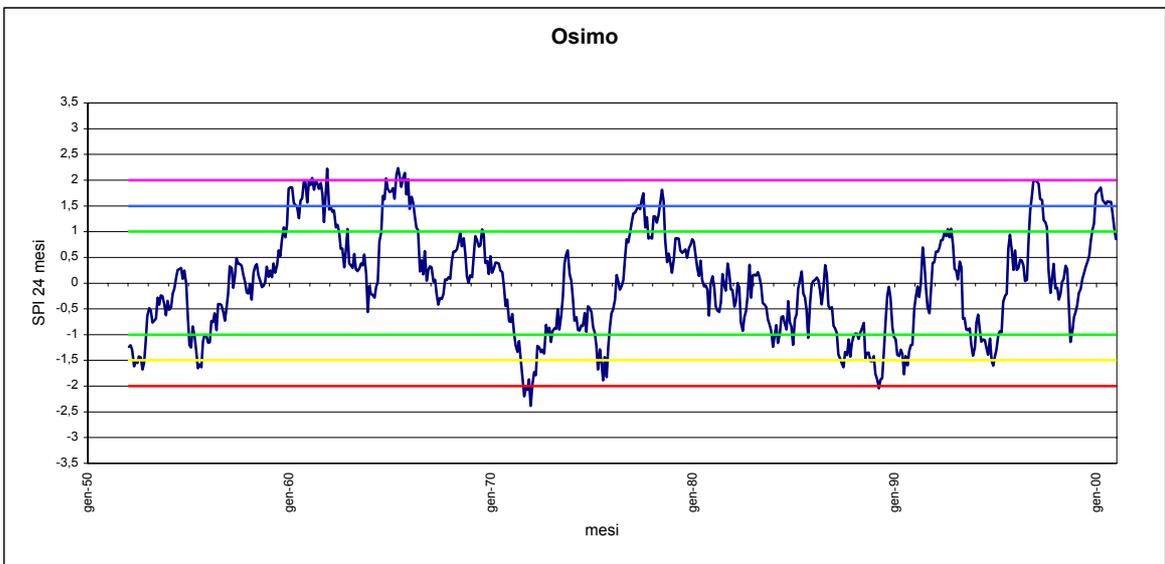
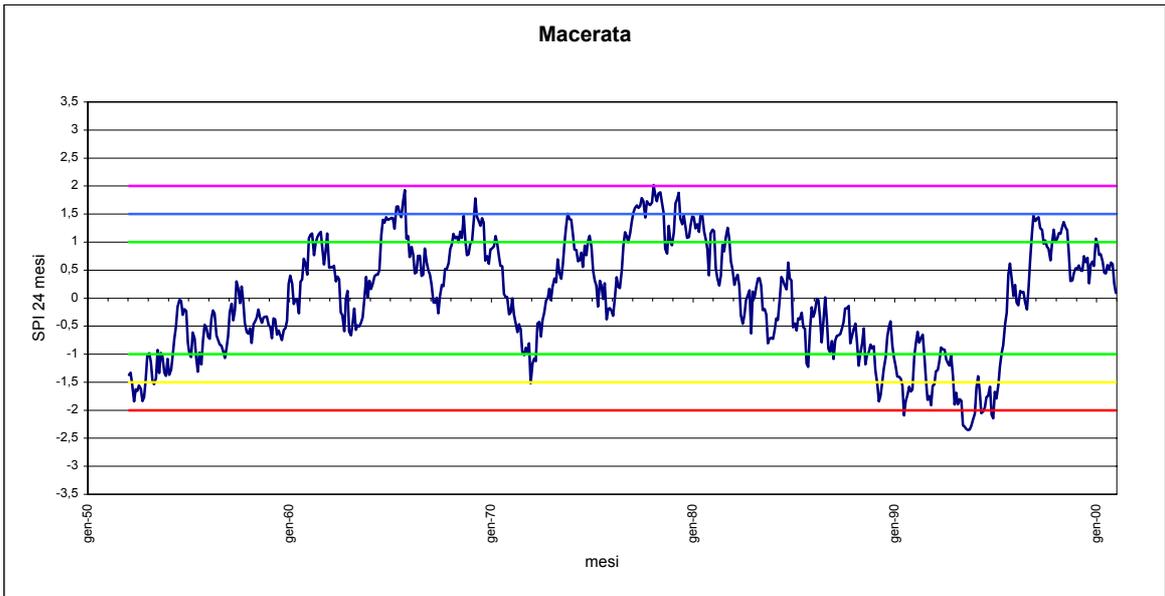
Nelle pagine successive sono mostrati i grafici che rappresentano i valori dell'SPI a 24 mesi da gennaio 1952 a dicembre 2000 per le stazioni oggetto dell'analisi.

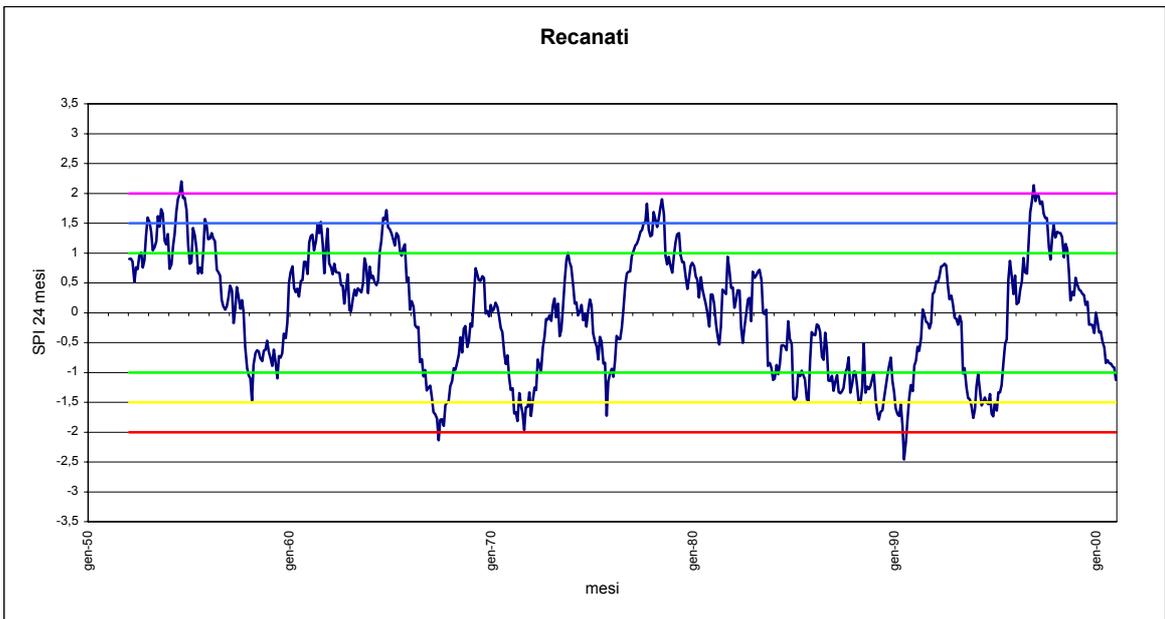
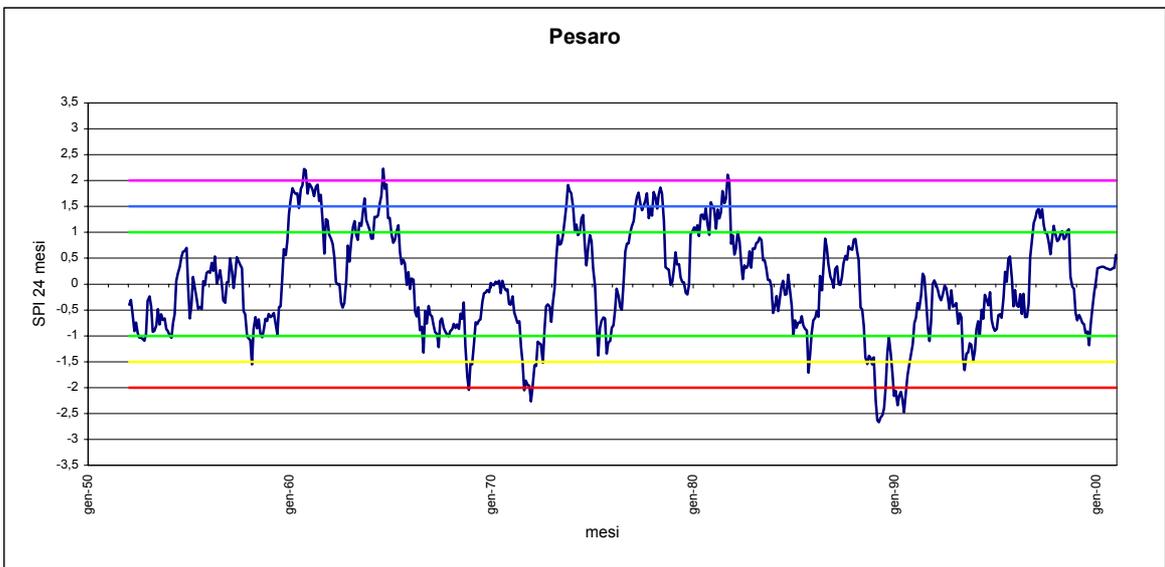
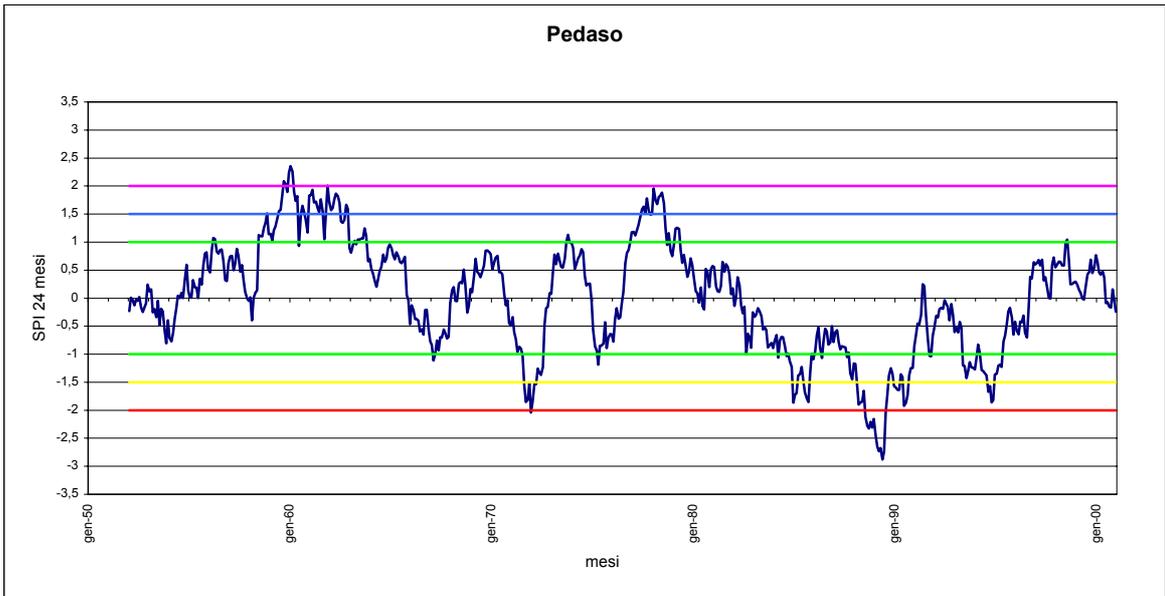
Le linee orizzontali colorate delimitano le classi di variazione dell'SPI come segue:

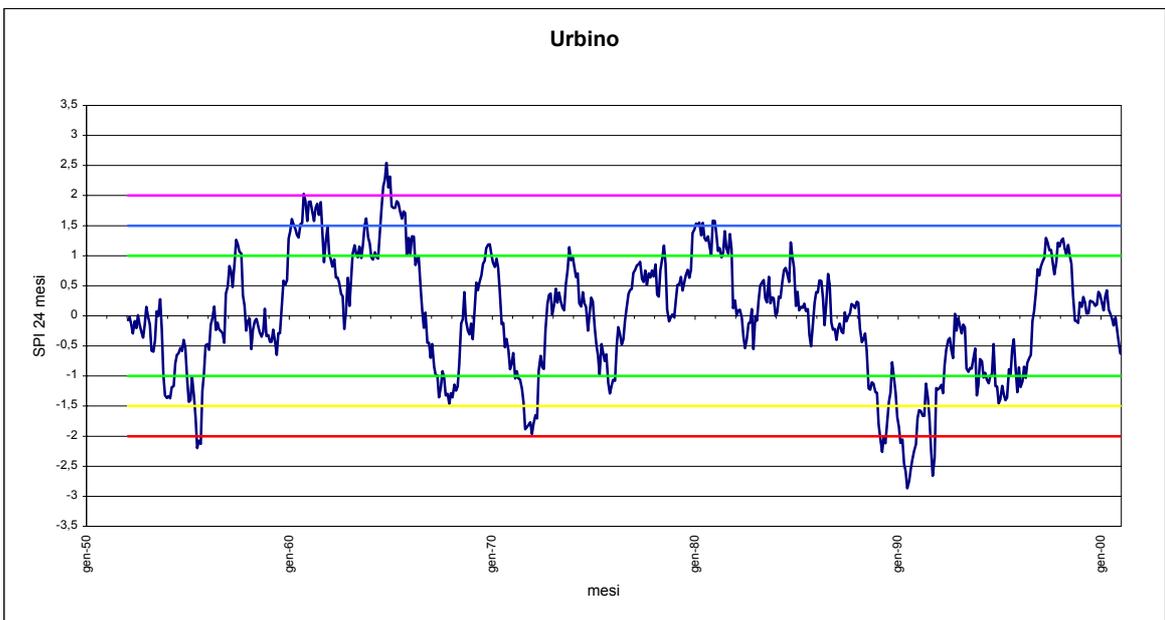
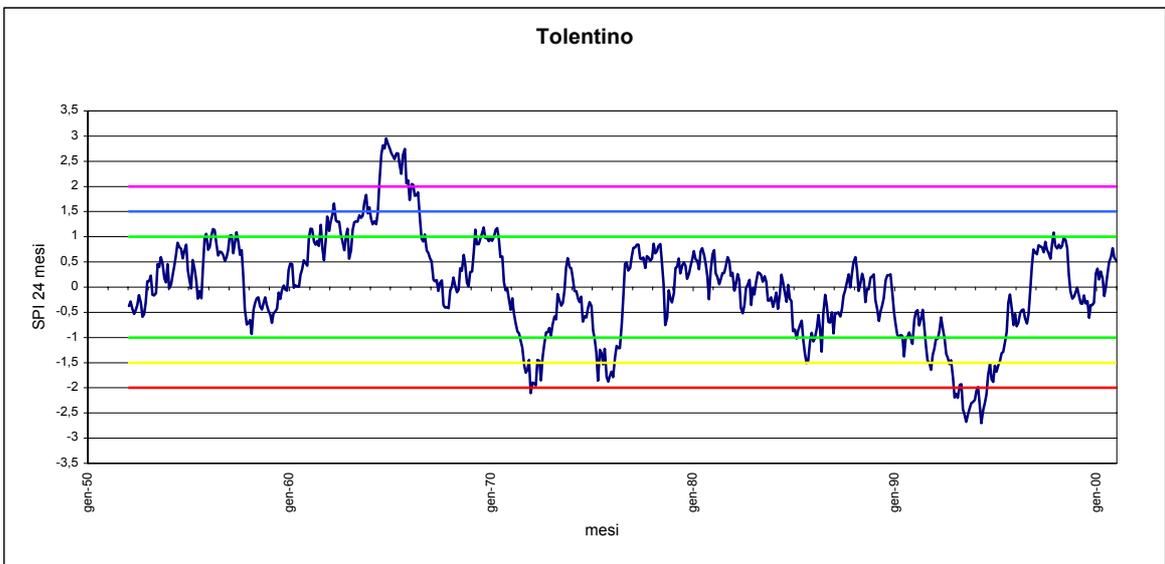
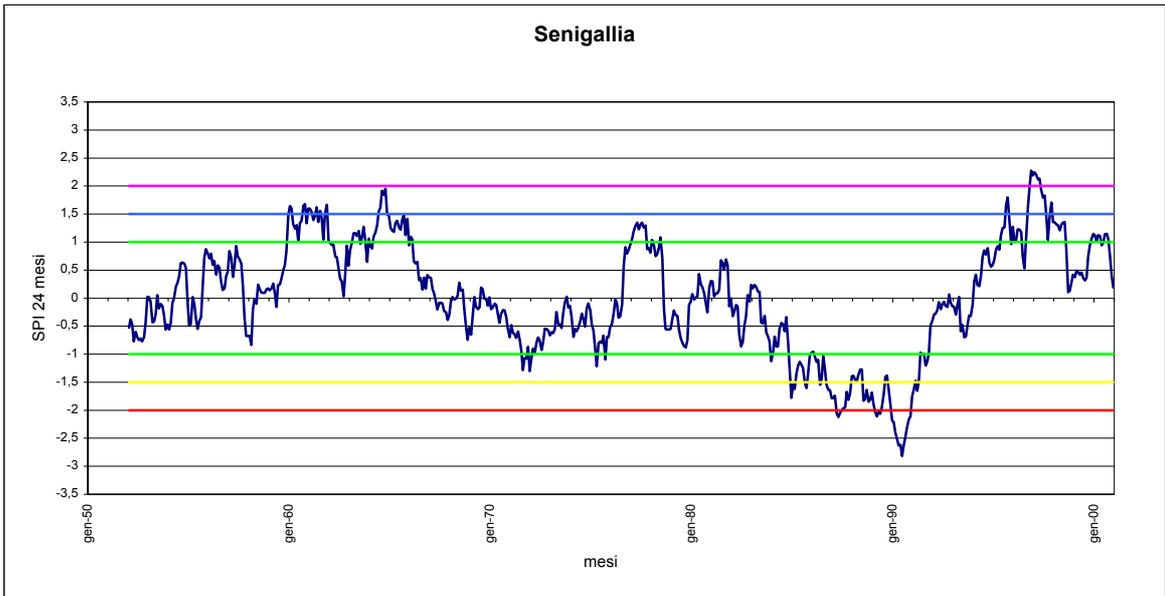
-  estremamente umido;
-  veramente umido;
-  moderatamente umido o siccitoso;
-  severamente siccitoso;
-  estremamente siccitoso.











Come si può notare dai grafici, per la maggior parte delle stazioni analizzate i valori dell'indice evidenziano condizioni di umidità estrema nella prima metà degli anni sessanta, di siccità estrema nei periodi fine anni sessanta-metà anni settanta e fine anni ottanta-metà anni novanta. Per quanto riguarda Bolognola, stazione di montagna dei Sibillini, si evince un'estrema umidità solo nel 1956, una moderata siccità per quasi tutto l'ultimo decennio ed estrema a metà del 1999 e a fine 2000.

## **9. Realizzazione delle carte del campo medio della precipitazione annuale e stagionale dal 1950 al 2000**

Durante la fase finale dello svolgimento del presente lavoro sono state allestite altre 5 carte della precipitazione media annuale e stagionale per l'intervallo 1950-2000, limitate ad una fascia territoriale che circonda 28 stazioni appartenenti alle provincie di Ancona, Macerata ed Ascoli Piceno, con i dati aggiornati fino al 2000.

Di queste 28 stazioni, 10 fanno parte delle 15 con serie già complete, mentre, per le altre, l'OGSM è entrato in possesso dei dati in formato digitale per il periodo 1990-2000 in data 10 giugno 2002, dopo insistenti richieste all'Istituto Idrografico di Bologna che, per varie ragioni, denuncia un ritardo nelle pubblicazioni degli annali a partire dal 1990.

Le serie reperite si riferiscono precisamente a 90 stazioni di misura e, da una prima analisi, si è accertato che esse presentano varie discontinuità. In base alla possibilità di ricostruire i dati mancanti per interpolazione, sono state prescelte 33 stazioni da affiancare alle 15 già complete fino al 2000.

Da un'analisi globale sulla dislocazione geografica delle complessive 48 stazioni, l'area regionale più densamente e omogeneamente popolata è risultata essere quella relativa alle provincie centrali ed alla parte settentrionale dell'ascolano, dove si concentrano 28 stazioni aggiornate, ed è stata quindi scelta quale sezione del territorio per il proseguimento dell'indagine.

Sono stati così calcolati i valori medi di precipitazione annuale e stagionale delle 28 stazioni e successivamente sono state predisposte le relative cartografie, sovrapponendo le mappe delle isoiete ad un unico raster in scala 1:200.000 del territorio regionale, che riporta le provincie, i comuni, le reti stradale e ferroviaria e le aree di bacino compresi nel riquadro prescelto.

L'elenco delle stazioni e le medie risultanti (mm) sono trascritti nella tabella successiva:

<i>Cod.</i>	<i>Stazione</i>	<i>Provincia</i>	<i>Media annuale</i>	<i>Media primaverile</i>	<i>Media estiva</i>	<i>Media autunnale</i>	<i>Media invernale</i>
3	Amandola	AP	958,1	259,4	203,8	262,1	231,6
6	Ancona (Torrette)	AN	738,7	164,2	150,2	237,7	186,7
8	Arcevia	AN	946,1	235,4	186,5	282,5	241,3
17	Bolognola	MC	1556,4	411,0	251,3	466,8	427,6
20	Camerino	MC	884,4	218,6	170,8	254,7	242,1
21	Campodiegoli	AN	1236,2	299,6	237,2	367,6	331,9
28	Cingoli	MC	939,4	235,7	195,7	275,6	232,5
34	Fabriano	AN	932,9	221,1	196,2	275,7	239,4
37	Fermo	AP	731,9	171,2	152,1	223,0	185,4
46	Jesi	AN	799,3	193,4	162,8	236,5	206,3
48	Lornano	MC	731,7	177,3	170,3	207,4	176,0
50	Macerata	MC	796,5	193,9	185,5	233,4	182,5
52	Moie	AN	818,4	194,6	172,3	244,5	207,1
58	Monterubbiano	AP	763,8	178,7	160,3	232,2	191,6
60	Morrovalle	MC	748,4	188,3	151,9	218,7	188,3
63	Osimo	AN	703,6	163,0	153,6	222,3	163,5
70	Petriolo	MC	819,8	203,0	189,7	229,1	196,7
73	Pié del Sasso	MC	1234,4	310,3	213,6	340,0	370,0
75	Pioraco	MC	1048,3	256,1	200,0	303,9	287,1
77	Porto S. Elpidio	AP	678,0	151,2	143,6	215,2	166,9
78	Recanati	MC	740,2	178,6	153,5	228,6	178,6
81	S. Angelo in Pontano	MC	909,8	239,7	176,9	241,7	249,9
84	S. Maria di Pieca	MC	1076,3	279,5	210,1	296,4	288,9
91	Senigallia	AN	817,3	189,3	169,2	261,7	196,1
94	Servigliano	AP	818,1	209,4	187,7	222,1	199,9
95	Sorti	MC	1430,1	347,8	243,0	400,2	438,3
98	Tolentino	MC	845,4	207,7	191,6	237,5	206,9
102	Ville S. Lucia	PG	1304,8	331,7	246,0	359,4	370,8

Di seguito è presentata la distribuzione geografica delle 28 stazioni nella fascia territoriale di interesse evidenziate in blu:

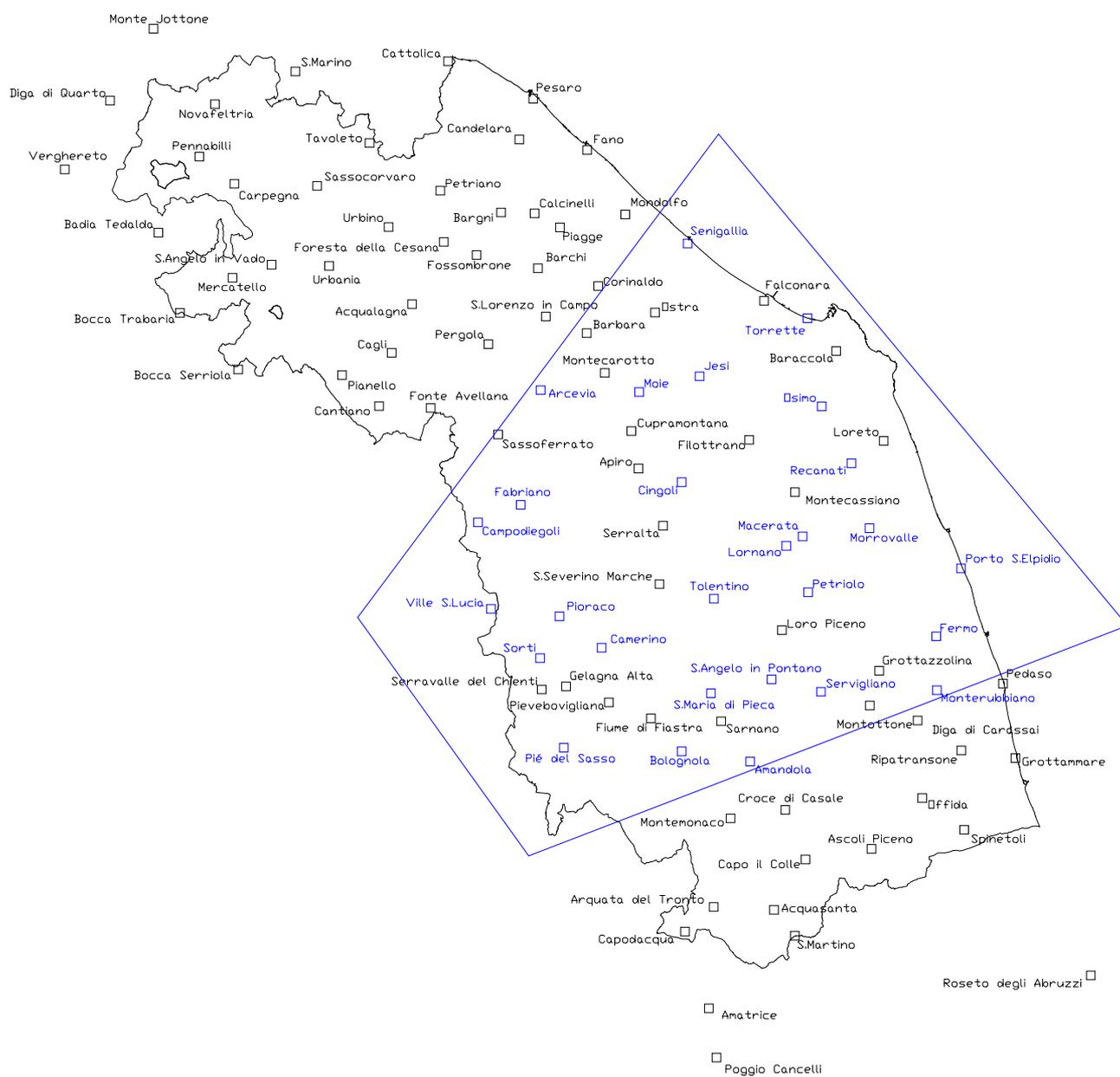


Fig.4 Distribuzione geografica delle stazioni pluviometriche aggiornate fino al 2000.

Prima di passare allo studio della piovosità nell'area ristretta delle Marche in Fig.4 dal 1950 al 2000, sono state confrontate, relativamente alla stessa area, per il quarantennio 1950-1989, le distribuzioni spaziali della precipitazione media annuale e stagionale risultanti dall'interpolazione con le 28 stazioni e le distribuzioni ottenute considerando l'intera popolazione delle 102. Le successioni delle isoiete hanno mostrato una soddisfacente rispondenza, sia in termini qualitativi che quantitativi, rilevabile anche dal confronto tra le quantità di acqua precipitata per aree di bacino, a meno di alcune differenze dovute all'interpolazione effettuata su campioni di dati di diversa ampiezza.

Ciò ha convalidato l'estensione della ricerca a tutto il periodo 1950-2000, pur nella ridotta dimensione territoriale.

Le nuove mappe del campo medio della precipitazione annuale e stagionale relative al riquadro analizzato, estese fino al 2000 e restituite nel CD allegato, mostrano una flessione nei quantitativi complessivi di acqua precipitata rispetto a quelle del quarantennio per la stessa area, fatta eccezione per l'autunno in cui si rileva un aumento. Tale risultato è confermato anche dai dati sotto riportati dei quantitativi medi di acqua precipitata sulle aree di bacino.

*Quantità media annua di acqua precipitata (mc).*

<i>Bacino</i>	<i>1950-1989</i>	<i>1950-2000</i>
Esino*	1.053.047.500	1.040.697.500
Musone	573.677.500	570.695.000
Potenza	804.445.000	793.280.000
Chienti	1.246.002.500	1.222.942.500
Tenna*	509.312.500	501.842.500
Ete Vivo	163.360.000	160.872.500

*Quantità media di acqua precipitata (mc).*

<i>Bacino</i>	<i>Primavera</i>		<i>Estate</i>	
	<i>1950-1989</i>	<i>1950-2000</i>	<i>1950-1989</i>	<i>1950-2000</i>
Esino*	254.585.000	247.957.500	210.167.500	202.357.500
Musone	136.797.500	134.255.000	115.267.500	116.032.500
Potenza	197.860.000	192.300.000	155.920.000	147.402.500
Chienti	302.545.000	293.465.000	254.700.000	235.055.000
Tenna*	123.517.500	120.440.000	104.057.500	99.995.000
Ete Vivo	39.710.000	39.005.000	32.867.500	32.870.000

*Quantità media di acqua precipitata (mc).*

<i>Bacino</i>	<i>Autunno</i>		<i>Inverno</i>	
	<i>1950-1989</i>	<i>1950-2000</i>	<i>1950-1989</i>	<i>1950-2000</i>
Esino*	308.427.500	314.987.500	265.200.000	256.117.500
Musone	166.722.500	172.710.000	142.932.500	138.085.000
Potenza	230.062.500	235.990.000	213.877.500	204.832.500
Chienti	353.352.500	360.645.000	329.807.500	314.320.000
Tenna*	143.105.000	145.737.500	133.270.000	127.690.000
Ete Vivo	46.947.500	47.175.000	41.025.000	39.182.500

\* i quantitativi di acqua precipitata sui bacini dell'Esino e del Tenna non tengono conto delle relative porzioni del territorio che cadono al di fuori del riquadro considerato.

Un successivo studio dovrà analizzare in modo più rigoroso ed esaustivo la distribuzione della piovosità media sulle Marche dal 1950 al 2000, considerando una maggiore densità di stazioni e minimizzando quindi i possibili errori derivanti dalle elaborazioni statistiche.

## **10. Classificazione climatica basata sul metodo di C. W. Thornthwaite**

I componenti fisici del clima sono molteplici e comprendono grandezze misurabili come la radiazione netta, il calore sensibile, la pressione atmosferica, i venti, l'umidità relativa e quella specifica, il punto di rugiada, il grado ed il tipo di nebulosità, la nebbia, il tipo e l'intensità delle precipitazioni, l'evaporazione e la traspirazione, l'incidenza dei cicloni e degli anticicloni, la frequenza del passaggio dei fronti.

Nell'accostarsi alla climatologia è necessario, però, effettuare una selezione limitando il campo di indagine ad alcuni parametri fondamentali.

Le classificazioni climatiche quantitative, che identificano i climi mediante valori numerici precisi, si riferiscono ad un numero ristretto di fattori, quali ad esempio la temperatura e le precipitazioni (il calore e l'acqua sono, infatti, i due più importanti elementi che dominano il mondo organico e quello inorganico), a cui si aggiungono eventuali altre misure a seconda dello scopo dell'indagine.

Da ciò segue che la classificazione del territorio marchigiano in zone affini dal punto di vista pluviometrico, sopra riportata, necessita di un completamento mediante l'utilizzo di altri dati, al fine di individuare aree climatologicamente simili.

A tale scopo è stata prescelta la metodologia del climatologo C.W. Thornthwaite (1957) che ha utilizzato come base per un sistema di classificazione dei climi il bilancio idrico del suolo, fondato sulle due variabili precipitazioni ed evapotraspirazione, quest'ultima calcolata a partire da dati di temperatura e di eliofanìa.

Il termine evapotraspirazione (ET) è stato introdotto dal Thornthwaite per indicare l'unione dei due fenomeni di evaporazione fisica (evaporazione dalle superfici di acqua libera) e di evaporazione fisiologica (evaporazione dovuta ai vegetali), che concorrono a definire l'evaporazione in termini di restituzione di acqua all'atmosfera.

Il climatologo americano ha anche precisato la differenza tra evapotraspirazione reale (ETR) e potenziale (ETP).

L'ETR è costituita dalla quantità di acqua che effettivamente evapora dal suolo e traspira attraverso le piante in un luogo con determinate condizioni di clima.

L'ETP invece rappresenta la quantità di acqua che evaporerebbe e traspirerebbe, in date condizioni di clima, se le riserve idriche del suolo venissero costantemente rinnovate. L'evapotraspirazione potenziale dunque costituisce la più precisa definizione dei bisogni d'acqua della vegetazione e rappresenta un elemento di grande importanza climatologica. Infatti, fino a quando la zona delle radici è ben fornita di acqua, la quantità che traspira da una certa superficie di terreno ricoperta di vegetazione dipende dall'energia solare ricevuta e dalla risultante temperatura.

Poiché non è possibile misurare l'ETP direttamente è stato necessario cercare un'eventuale relazione tra essa ed i valori medi della temperatura. Il Thornthwaite ha trovato un legame tra l'EPT ed i valori termici medi mensili e lo ha espresso con una formula: dato però che questa risultava piuttosto complessa, egli, in collaborazione con J. R. Mather, ha fornito particolari tabelle che ne facilitano il calcolo.

Nel 1961 lo studioso L. Turc ha proposto, per la stima dell'evapotraspirazione potenziale la seguente formula:

$$ETP = 0,4 \frac{t}{(t + 15)} (I_g + 50) \quad (19)$$

in cui  $t$  e  $I_g$  sono rispettivamente la temperatura media mensile in °C e la radiazione solare globale giornaliera (media del mese) in cal/cm<sup>2</sup>.

Poiché solo un numero ristretto di stazioni sono in grado di misurare la  $I_g$ , Turc ne ha proposto il calcolo con una formula applicabile a quelle stazioni che dispongono, in mancanza di un solarimetro, almeno di un eliofanografo:

$$I_g = I_{gA} (0,18 + 0,62r) \quad (20)$$

in cui  $I_{gA}$  è il valore quotidiano medio della radiazione globale in assenza di atmosfera (dipende solo dalla latitudine ed è fornito in tabelle) e  $r$  è il rapporto tra la durata media effettiva dell'insolazione nel mese considerato e l'insolazione massima possibile, cioè in assenza di nubi (valore pure esso dipendente solo dalla latitudine e quindi fornito in tabelle).

Secondo le osservazioni fatte da vari ricercatori le formule di Turc e di Thornthwaite forniscono valori molto simili tra loro. Infatti nella determinazione dei valori mensili della ETP, le differenze tra i risultati ottenuti con un metodo e con l'altro non superano il 10-12% e nel calcolo delle medie annuali si riducono ancora al 5-6%.

Tenuto conto di ciò e del fatto che le tabelle sviluppate da Thornthwaite e Mather a disposizione erano parziali, nello svolgimento dell'indagine è stata utilizzata la formula di Turc (19).

Una volta determinato il valore della ETP, il Thornthwaite ha costruito su di esso due indici che esprimono il grado di umidità ed il grado di aridità annuali di una zona. Il metodo prevede il confronto tra le precipitazioni mensili e la ETP, col presupposto che, dove quest'ultima è uguale per tutto l'anno alla pioggia e l'acqua è in quantità sufficiente per coprire il fabbisogno della vegetazione, non si ha né deficit né eccesso d'acqua, per cui il clima non è né arido né umido.

Quando invece vi è un deficit rispetto alla ETP il clima diventa arido, mentre un'eccedenza idrica denota un clima umido. Nei luoghi in cui vi è eccedenza, il rapporto tra quest'ultima ed il fabbisogno costituisce un indice di umidità; invece nei luoghi in cui vi è deficit d'acqua, il rapporto fra questo ed il fabbisogno costituisce un indice di aridità. Espresi in cifre percentuali i due indici prendono la forma:

$$I_h = \frac{100s}{n} \quad (\text{Indice di umidità}); \quad I_a = \frac{100d}{n} \quad (\text{Indice di aridità}) \quad (21)$$

( $s$  è l'eccedenza idrica,  $d$  è il deficit idrico,  $n$  è il fabbisogno idrico della vegetazione che coincide con la ETP).

Per il calcolo di tali parametri sono state determinate le seguenti grandezze:

1. la differenza tra precipitazioni ( $P$ ) ed evapotraspirazione potenziale:  $P-ETP$ . Ottenuta la ETP, se ne sottrae il valore da quello delle precipitazioni per distinguere i mesi in cui queste ultime sono in eccesso da quelli in cui si ha il contrario. I valori

- negativi della differenza di P-ETP devono essere cumulati per meglio rilevarne gli effetti sulla riserva idrica del terreno (A.WL);
2. capacità di ritenzione idrica del terreno (ST). E' stabilita a priori da coloro che conducono studi sul bilancio idrico, sulla base di carte pedologiche e carte agrarie. La riserva idrica rimane immutata finché le precipitazioni sono superiori alla ETP, ma quando si verifica la situazione inversa le piante cominciano ad attingere alla riserva d'acqua del suolo. Queste diminuzioni della riserva avvengono esponenzialmente in funzione del tempo ed un'apposita tabella (Appendice III) fornisce i valori relativi alla quantità d'acqua che rimane nel suolo in funzione dei valori negativi cumulati di P-ETP;
  3. le variazioni della riserva (C.ST). La riserva idrica del suolo si ricostituisce, se dopo un periodo con scarse precipitazioni si hanno di nuovo valori positivi di P-ETP. In tal caso si somma il residuo di riserva rimasto alla fine del periodo arido con i valori positivi della differenza P-ETP. Può accadere che la somma suddetta porti il valore della riserva idrica del terreno al di sopra del valore massimo consentito. Di conseguenza, l'eccedenza idrica va a costituire il deflusso che in parte scorre sul terreno ed in parte si infiltra nelle falde acquifere per poi defluire attraverso le sorgenti;
  4. l'evapotraspirazione reale (ETR). Il calcolo della ETR si effettua in base a questi principi: quando P è maggiore della ETP e la riserva idrica del suolo rimane integra, la ETR uguaglia la ETP; invece nei mesi in cui P è minore di ETP e le piante attingono dal suolo, la ETR è uguale alle precipitazioni a cui si sottrae l'ammontare dell'acqua uscita dalla riserva del suolo (C.ST);
  5. il deficit idrico ( $d$ ). E' dato dalla differenza tra ETP ed ETR;
  6. l'eccedenza idrica ( $s$ ). Dopo che la riserva di umidità del suolo raggiunge il valore massimo, cioè la capacità di ritenuta idrica (ST), qualsiasi eccesso di precipitazione è computato come eccedenza idrica ed è soggetto a defluire. In pratica, se P supera ETP e la riserva idrica del suolo è integra, l'eccedenza  $s$  è uguale a P-ETP; se P è minore di ETP,  $s$  è 0 e rimane nulla anche con P maggiore di ETP finché la riserva idrica del suolo non si ricostituisce;
  7. la concentrazione estiva dell'efficienza termica (CE%). E' calcolata riportando in percentuale la somma delle ETP dei mesi giugno, luglio ed agosto rispetto alla ETP annuale.

La classificazione dei climi di Thornthwaite ha come punto di partenza i due indici  $I_h$  ed  $I_a$ , che però vengono inseriti in una formula unica con la quale l'autore calcola l'indice di umidità globale  $I_m$ .

Il Thornthwaite ha tenuto conto del fatto che molto spesso, tanto nei climi caldi che in quelli temperati, ad una stagione con eccedenza idrica ne segue un'altra con deficit d'acqua. L'autore inoltre ha presupposto che l'eccedenza idrica, dopo il ripristino della riserva idrica del suolo nella stagione piovosa, a causa del deflusso, non possa neutralizzare o dilazionare la carenza di acqua nella successiva stagione arida. Pertanto nell'indice di umidità globale  $I_m$  gli indici  $I_h$  ed  $I_a$  devono entrare con peso uguale, influenzandolo l'uno positivamente e l'altro negativamente:

$$I_m = I_h - I_a = \frac{100(s - d)}{ETP}. \quad (22)$$

I climi umidi hanno valori positivi di  $I_m$  e quelli aridi valori negativi. Pertanto il Thornthwaite ha stabilito una prima suddivisione dei climi in nove classi principali, contraddistinte da una lettera maiuscola, in base ai valori di  $I_m$ , secondo questo schema:

<i>Simbolo</i>	<i>Tipo di clima</i>	<i>Valore di <math>I_m</math></i>	
A	Perumido	100 e oltre	
B <sub>4</sub>	Umido	80	100
B <sub>3</sub>	Umido	60	80
B <sub>2</sub>	Umido	40	60
B <sub>1</sub>	Umido	20	40
C <sub>2</sub>	Da umido a subumido	0	20
C <sub>1</sub>	Da subumido a subarido	-33,3	0
D	Semiarido	-66,6	-33,3
E	Arido	-100	-66,6

L'indice  $I_m$  non può rivelare l'eventuale esistenza di forti variazioni dell'umidità nel corso dell'anno e non può indicare se la stagione meno piovosa cade in estate o in inverno. Perciò Thornthwaite ha introdotto nella sua classificazione un altro simbolo che si riferisce al regime di umidità ed indica l'esistenza o meno di un periodo di eccedenza o di deficit idrico e la stagione in cui eventualmente esso si verifica. Le variazioni stagionali dell'umidità sono precisate con le seguenti lettere minuscole:

<i>Simbolo</i>	<i>Periodo dell'anno in cui si ha deficienza o eccedenza idrica</i>	<i>Indici <math>I_a</math> e <math>I_h</math></i>
<b>Climi umidi A, B, C<sub>2</sub></b>		Indice di aridità
r	non vi è deficienza idrica o è molto piccola	0-16,7
s	moderata deficienza idrica in estate	16,7-33,3
w	moderata deficienza idrica in inverno	16,7-33,3
S <sub>2</sub>	forte deficienza idrica in estate	>33,3
W <sub>2</sub>	forte deficienza idrica in inverno	>33,3
<b>Climi aridi C<sub>1</sub>, D, E</b>		Indice di umidità
d	non vi è eccedenza idrica o è molto piccola	0-10
s	moderata eccedenza idrica in estate	10-20
w	moderata eccedenza idrica in inverno	10-20
S <sub>2</sub>	forte eccedenza idrica in estate	>20
W <sub>2</sub>	forte eccedenza idrica in inverno	>20

Ai valori dell'indice di umidità globale si uniscono altri dati numerici, sia pure espressi attraverso dei simboli, che indicano i caratteri della temperatura, non nella forma di valori termometrici, bensì in termini di una possibile efficacia delle temperature osservate nel determinare la crescita delle piante.

Il Thornthwaite ha trovato questo indice di efficacia o efficienza termica nella evapotraspirazione potenziale, che esprime le esigenze delle piante in termini di mm di acqua necessari per la loro crescita.

Le varietà di clima basate sull'efficienza termica sono indicate nella seguente tabella:

<i>Simbolo</i>	<i>ETP annua (mm)</i>	<i>Varietà climatica</i>
A'	oltre 1440	Megatermico
B <sub>4</sub> '	1440-997	Quarto mesotermico
B <sub>3</sub> '	997-855	Terzo mesotermico
B <sub>2</sub> '	855-712	Secondo mesotermico
B <sub>1</sub> '	712-570	Primo mesotermico
C <sub>2</sub> '	570-427	Secondo microtermico
C <sub>1</sub> '	427-285	Primo microtermico
D'	285-142	Clima della tundra
E'	meno di 142	Clima del gelo

Ai fini della classificazione del clima, anche per l'efficienza termica è necessario fornire alcune indicazioni sulla sua variazione nel corso dell'anno.

Nella tabella che segue sono riportati i vari tipi di concentrazione estiva dell'indice di efficacia (CE), con i relativi valori:

<i>CE (%)</i>	<i>Tipo di concentrazione estiva</i>
<48,0	a'
48,0-51,9	b <sub>4</sub> '
51,9-56,3	b <sub>3</sub> '
56,3-61,6	b <sub>2</sub> '
61,6-68,0	b <sub>1</sub> '
68,0-76,3	c <sub>2</sub> '
76,3-88,0	c <sub>1</sub> '
>88,0	d'

In definitiva, i caratteri del clima di una località nel sistema di Thornthwaite si esprimono con una formula climatica, costituita da una successione di quattro lettere, le prime due maiuscole, le altre minuscole, che indicano nell'ordine il gruppo di valori dell'indice di umidità globale, quello dell'efficienza termica media annua, il tipo di variazione stagionale dell'umidità effettiva ed il gruppo di valori della concentrazione estiva dell'efficienza termica [Pinna, 1977].

Per l'individuazione delle zone climatologicamente affini del territorio marchigiano con la metodologia di Thornthwaite sono stati tabulati i valori mensili della temperatura media per le sole 29 stazioni con serie complete nel quarantennio 1950-1989. A partire da questi dati sono state calcolate le medie mensili del suddetto quarantennio, riportate nella seguente tabella:

*Medie mensili della temperatura media (°C).*

<i>Stazione</i>	<i>G</i>	<i>F</i>	<i>M</i>	<i>A</i>	<i>M</i>	<i>G</i>	<i>L</i>	<i>A</i>	<i>S</i>	<i>O</i>	<i>N</i>	<i>D</i>
Amatrice	1,6	2,3	4,6	7,9	12,3	15,8	18,5	18,7	15,7	11,1	6,6	3,3
Ancona (Torrette)	5,9	7,2	9,8	13,2	17,4	21,3	23,8	23,8	21,0	16,8	11,7	7,9
Arcevia	3,7	4,4	6,7	10,6	15,1	18,8	22,0	21,8	18,4	13,4	8,6	5,2
Ascoli Piceno	6,3	7,2	9,6	12,9	17,2	21,1	23,9	23,8	20,7	15,9	11,0	7,7
Bargni	5,1	6,2	9,0	12,6	16,9	20,7	23,7	23,6	20,3	15,6	10,2	6,8
Camerino	3,4	4,1	6,5	10,2	14,8	18,6	21,5	20,9	17,4	12,5	7,8	4,7
Carpegna	3,6	3,9	6,4	9,7	13,9	17,6	20,6	20,3	17,1	12,6	8,0	4,9
Cingoli	4,2	4,8	7,6	11,0	15,4	19,2	22,1	22,0	18,8	13,9	9,1	5,9
Diga di Quarto	3,6	4,7	7,6	11,3	15,2	18,8	21,4	21,3	18,3	13,7	8,7	5,1
Fabriano	4,2	5,2	7,7	11,3	15,6	19,3	22,1	22,0	18,6	13,7	9,0	5,8
Falconara	4,6	5,8	8,4	11,8	16,0	19,7	22,3	22,2	19,2	14,8	9,9	6,1
Fano	4,7	6,1	8,8	12,2	16,3	20,4	22,9	22,6	19,7	15,3	10,2	6,4
Fonte Avellana	3,3	3,7	6,1	9,9	14,2	17,6	20,8	20,7	17,4	12,7	8,1	4,9
Fossombrone	5,6	6,7	9,4	13,0	17,3	20,9	23,7	23,3	20,3	15,6	10,2	6,8
Grottammare	7,0	7,6	9,6	12,5	16,8	20,5	23,5	23,2	20,3	16,4	11,8	8,4
Jesi	4,6	6,2	9,0	12,7	16,8	21,1	23,9	23,6	20,2	15,2	9,9	6,4

Lornano	5,5	6,4	8,9	12,6	16,9	20,8	23,7	23,7	20,5	15,6	10,4	7,1
Macerata	5,1	6,1	8,7	12,2	16,9	20,8	23,6	23,3	20,1	15,0	9,9	6,6
Mercatello	3,2	4,3	6,9	10,5	14,5	18,1	20,8	20,7	17,5	12,8	7,9	4,6
Montemonaco	2,6	3,2	5,5	9,1	13,6	17,3	20,4	20,3	17,0	12,0	7,4	4,3
Novafeltria	3,8	5,0	8,1	11,9	16,0	19,9	22,8	22,6	19,1	14,2	8,9	5,3
Pergola	4,1	5,3	8,0	11,7	15,8	19,7	22,5	22,3	19,0	14,1	9,2	5,7
Pesaro	4,0	5,4	8,5	12,2	16,3	20,0	22,7	22,3	19,2	14,6	9,5	5,6
Porto S. Elpidio	5,6	6,6	8,8	12,0	16,4	20,4	23,3	23,1	20,0	15,5	10,6	7,1
S. Angelo in Vado	4,0	4,7	7,3	10,7	15,0	18,5	21,5	21,3	18,0	13,3	8,0	5,0
S. Marino	2,9	3,4	6,0	9,6	14,2	18,2	21,1	20,7	17,2	12,3	7,2	4,1
Servigiano	5,0	6,1	8,4	11,8	15,7	19,4	22,0	21,9	18,7	14,0	9,5	6,4
Urbino	3,4	4,4	7,0	10,6	15,2	19,2	22,1	21,6	18,0	12,9	8,1	4,9
Verghereto	1,4	2,0	4,6	8,3	12,8	16,7	19,8	19,6	16,3	11,3	6,3	2,9

In seguito sono stati reperiti i valori di eliofania e di radiazione solare globale per le stazioni in cui tali misurazioni si siano protratte per un minimo di dieci anni nell'intervallo di studio. E' stata verificata la rispondenza numerica delle misure di radiazione effettuate sia con strumenti diretti che attraverso l'eliofania e la formula di conversione di Turc (20) e, avendo ottenuto una buona approssimazione, per le stazioni aventi solo i dati di eliofania si è usata la formula per calcolare la radiazione globale, prendendo i valori mensili di  $I_{gA}$  corrispondenti a 43° di latitudine nord dalla relativa tabella [Hufty, 1979].

Avendo così a disposizione i valori definitivi per le 8 stazioni sotto elencate, è stato necessario adattare le rilevazioni alle altre 21, in base alla loro reciproca distanza ed altimetria.

*Radiazione solare globale media giornaliera (cal/cm<sup>2</sup>) per mese.*

Stazione	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
Ancona (Torrette)	100	175	300	419	541	583	612	523	387	249	143	97
Camerino	128	204	267	381	515	553	594	516	375	230	131	103
Fabriano	115	183	265	377	471	520	550	477	359	238	135	102
M.te Bove (sud)	141	198	268	362	441	483	508	447	347	244	156	130
Macerata	122	188	269	379	471	519	548	477	361	242	141	109
Pesaro	119	189	270	381	499	545	582	490	365	233	135	103
S.Benedetto	133	176	275	390	483	535	534	463	340	230	143	103
Urbino	126	198	274	369	486	520	562	479	358	241	144	111

E' stata quindi applicata la formula di Turc (19) per il calcolo della ETP mensile e sono stati stimati tutti gli altri parametri relativi al metodo di Thornthwaite, previa determinazione delle medie mensili delle precipitazioni per il periodo 1950-1989 indicate nella sottostante tabella:

*Precipitazione media mensile (mm).*

<i>Stazione</i>	<i>G</i>	<i>F</i>	<i>M</i>	<i>A</i>	<i>M</i>	<i>G</i>	<i>L</i>	<i>A</i>	<i>S</i>	<i>O</i>	<i>N</i>	<i>D</i>
Amatrice	79,5	86,7	81,5	75,5	64,1	54,4	37,6	42,3	63,9	81,1	104,4	109,0
Ancona (Torrette)	64,3	56,2	69,0	54,5	49,2	52,4	45,9	55,2	71,7	77,4	87,2	77,1
Arcevia	77,4	79,4	87,1	75,4	76,3	68,4	48,1	74,3	75,5	90,5	101,8	91,9
Ascoli Piceno	65,0	54,7	73,1	69,3	60,3	65,4	48,0	56,9	71,6	78,6	86,3	74,6
Bargni	67,5	68,3	80,9	71,5	65,8	65,8	47,7	73,9	79,6	85,6	97,8	77,5
Camerino	74,3	80,3	73,5	73,2	66,1	64,2	48,4	60,9	67,6	81,2	98,3	92,2
Carpegna	96,9	87,0	105,9	104,7	88,8	75,6	62,1	73,3	95,7	104,3	132,6	122,2
Cingoli	77,5	76,9	87,4	79,7	73,9	73,6	50,6	71,7	82,1	96,1	102,1	93,0
Diga di Quarto	68,8	64,3	75,4	86,1	67,9	66,0	54,6	60,4	76,2	80,2	102,1	81,0
Fabriano	73,9	79,0	78,6	77,4	73,4	74,5	53,9	73,2	75,7	89,8	104,0	96,7
Falconara	68,1	58,7	70,2	58,3	59,7	61,4	48,4	65,2	67,6	78,4	86,5	78,7
Fano	60,5	53,5	65,2	55,2	54,6	51,2	49,0	61,4	74,9	72,3	86,0	65,5
Fonte Avellana	156,3	172,1	171,7	148,6	125,8	101,7	76,7	102,1	119,1	156,9	206,1	202,0
Fossombrone	75,5	81,1	90,2	82,4	71,3	70,7	57,8	73,9	83,8	89,5	106,1	93,0
Grottammare	42,4	48,0	50,5	40,5	33,3	47,8	42,0	60,6	59,2	45,7	51,3	57,0
Jesi	66,4	66,1	72,9	60,9	63,5	63,1	45,3	59,3	64,6	74,1	86,5	78,6
Lornano	55,6	54,4	64,7	62,5	57,6	66,5	50,0	58,6	63,9	74,5	73,3	71,2
Macerata	55,3	57,6	67,9	66,5	62,0	64,9	52,2	71,1	69,1	80,3	83,1	75,2
Mercatello	102,3	111,0	109,4	96,8	81,9	63,8	53,6	63,3	94,8	105,5	146,0	133,9
Montemonaco	97,2	100,4	107,6	105,5	100,1	87,5	61,9	75,4	93,5	120,1	134,8	133,1
Novafeltria	69,4	67,9	83,8	87,4	68,9	70,0	67,9	73,2	86,6	88,2	108,3	91,9
Pergola	75,4	80,3	92,2	79,8	78,7	76,9	56,3	77,1	80,8	92,4	113,9	94,9
Pesaro	61,0	56,0	67,4	61,0	56,6	60,1	50,8	60,4	79,9	71,6	85,9	65,8
Porto S. Elpidio	59,9	47,2	57,1	50,1	44,6	50,8	39,0	49,2	72,9	70,6	71,1	67,7
S. Angelo in Vado	80,4	87,8	90,8	80,4	75,5	65,8	55,2	62,6	84,0	95,2	121,2	107,3
S. Marino	62,5	61,9	72,0	72,8	68,7	63,0	61,2	63,9	86,5	80,1	99,8	76,3
Servigliano	63,9	60,9	74,4	67,5	64,6	72,5	49,3	65,8	65,1	74,4	84,0	79,5
Urbino	60,5	64,6	70,5	71,5	65,9	68,9	51,3	65,6	77,4	81,6	94,9	74,7
Verghereto	124,6	124,9	120,9	120,7	99,0	84,9	62,9	70,3	92,2	127,0	171,5	147,7

Segue la tabella con elencate le grandezze di ciascuna stazione in esame necessarie per la classificazione climatica di Thornthwaite:

<i>Stazione</i>	<i>ST<sup>1</sup></i>	<i>ETP annua (mm)</i>	<i>CE (%)</i>	<i>I<sub>a</sub></i>	<i>I<sub>h</sub></i>	<i>I<sub>m</sub></i>
Amatrice	200	707,9	48,4	15,1	39,3	24,2
Ancona (Torrette)	100	986,9	45,8	34,6	11,5	-23,2
Arcevia	150	829,8	47,6	15,0	25,2	10,2
Ascoli Piceno	150	904,6	44,9	20,5	10,1	-10,5
Bargni	150	902,2	45,6	17,8	15,6	-2,1
Camerino	200	813,3	48,0	15,4	23,5	8,1
Carpegna	200	810,9	47,6	8,3	49,8	41,6
Cingoli	200	849,7	46,6	11,6	25,3	13,7
Diga di Quarto	200	845,2	46,7	13,9	33,0	19,1
Fabriano	200	847,6	46,8	11,8	3,9	12,2
Falconara	100	938,3	46,8	30,3	15,7	-14,6
Fano	100	901,8	46,5	29,1	12,0	-17,2
Fonte Avellana	200	802,2	48,0	2,5	119,5	117,0
Fossombrone	150	908,4	45,3	15,1	22,3	7,2
Grottammare	100	903,2	44,6	35,0	4,1	-30,9
Jesi	150	963,9	46,8	27,5	11,6	-15,9
Lornano	100	897,2	45,5	22,2	8,9	-13,3
Macerata	150	888,4	45,8	19,6	10,0	-9,6
Mercatello	150	822,4	47,4	11,2	52,8	41,5
Montemonaco	200	755,8	47,3	5,0	65,6	60,6
Novafeltria	200	867,9	46,6	11,2	22,4	11,2
Pergola	200	855,8	46,7	11,9	28,6	16,7
Pesaro	150	889,4	46,9	26,6	12,4	-14,2
Porto S. Elpidio	100	884,0	45,4	31,0	7,9	-23,1
S. Angelo in Vado	100	838,9	47,0	12,3	32,4	20,2
S. Marino	200	805,4	48,5	14,9	22,7	7,8
Servigliano	150	859,4	45,7	18,0	13,7	-4,2
Urbino	150	838,3	47,6	13,8	21,2	7,5
Verghereto	200	754,7	50,2	6,6	84,9	78,3

Dai valori dei parametri calcolati, tenendo conto delle tabelle generali elaborate da Thornthwaite sopra riportate, si sono ottenuti i seguenti tipi di clima:

---

<sup>1</sup> i valori della capacità di ritenzione idrica del terreno (ST) sono stati scelti pari a 100, 150 e 200 mm per le località in esame posizionate rispettivamente sulla fascia costiera, collinare e montana.

<i>Stazione</i>	<i>Formula climatica</i>
Amatrice	B <sub>1</sub> B <sub>1</sub> 'rb <sub>4</sub> '
Ancona (Torrette)	C <sub>1</sub> B <sub>3</sub> 'sa'
Arcevia	C <sub>2</sub> B <sub>2</sub> 'ra'
Ascoli Piceno	C <sub>1</sub> B <sub>3</sub> 'sa'
Bargni	C <sub>1</sub> B <sub>3</sub> 'sa'
Camerino	C <sub>2</sub> B <sub>2</sub> 'rb <sub>4</sub> '
Carpegna	B <sub>2</sub> B <sub>2</sub> 'ra'
Cingoli	C <sub>2</sub> B <sub>2</sub> 'ra'
Diga di Quarto	C <sub>2</sub> B <sub>2</sub> 'ra'
Fabriano	C <sub>2</sub> B <sub>2</sub> 'ra'
Falconara	C <sub>1</sub> B <sub>3</sub> 'sa'
Fano	C <sub>1</sub> B <sub>3</sub> 'sa'
Fonte Avellana	AB <sub>2</sub> 'rb <sub>4</sub> '
Fossombrone	C <sub>2</sub> B <sub>3</sub> 'ra'
Grottammare	C <sub>1</sub> B <sub>3</sub> 'da'
Jesi	C <sub>1</sub> B <sub>3</sub> 'sa'
Lornano	C <sub>1</sub> B <sub>3</sub> 'da'
Macerata	C <sub>1</sub> B <sub>3</sub> 'da'
Mercatello	B <sub>2</sub> B <sub>2</sub> 'ra'
Montemonaco	B <sub>3</sub> B <sub>2</sub> 'ra'
Novafeltria	C <sub>2</sub> B <sub>3</sub> 'ra'
Pergola	C <sub>2</sub> B <sub>3</sub> 'ra'
Pesaro	C <sub>1</sub> B <sub>3</sub> 'sa'
Porto S. Elpidio	C <sub>1</sub> B <sub>3</sub> 'da'
S. Angelo in Vado	B <sub>1</sub> B <sub>2</sub> 'ra'
S. Marino	C <sub>2</sub> B <sub>2</sub> 'rb <sub>4</sub> '
Servigiano	C <sub>1</sub> B <sub>3</sub> 'sa'
Urbino	C <sub>2</sub> B <sub>2</sub> 'ra'
Verghereto	B <sub>3</sub> B <sub>2</sub> 'rb <sub>4</sub> '

L'analisi proposta da Thornthwaite ha permesso di individuare per le Marche 11 aree climatiche, consentendo una classificazione puntuale del territorio regionale, in quanto

tiene conto di parametri meteorologici fondamentali, come la radiazione solare, la temperatura, l'evapotraspirazione, oltre alle precipitazioni.

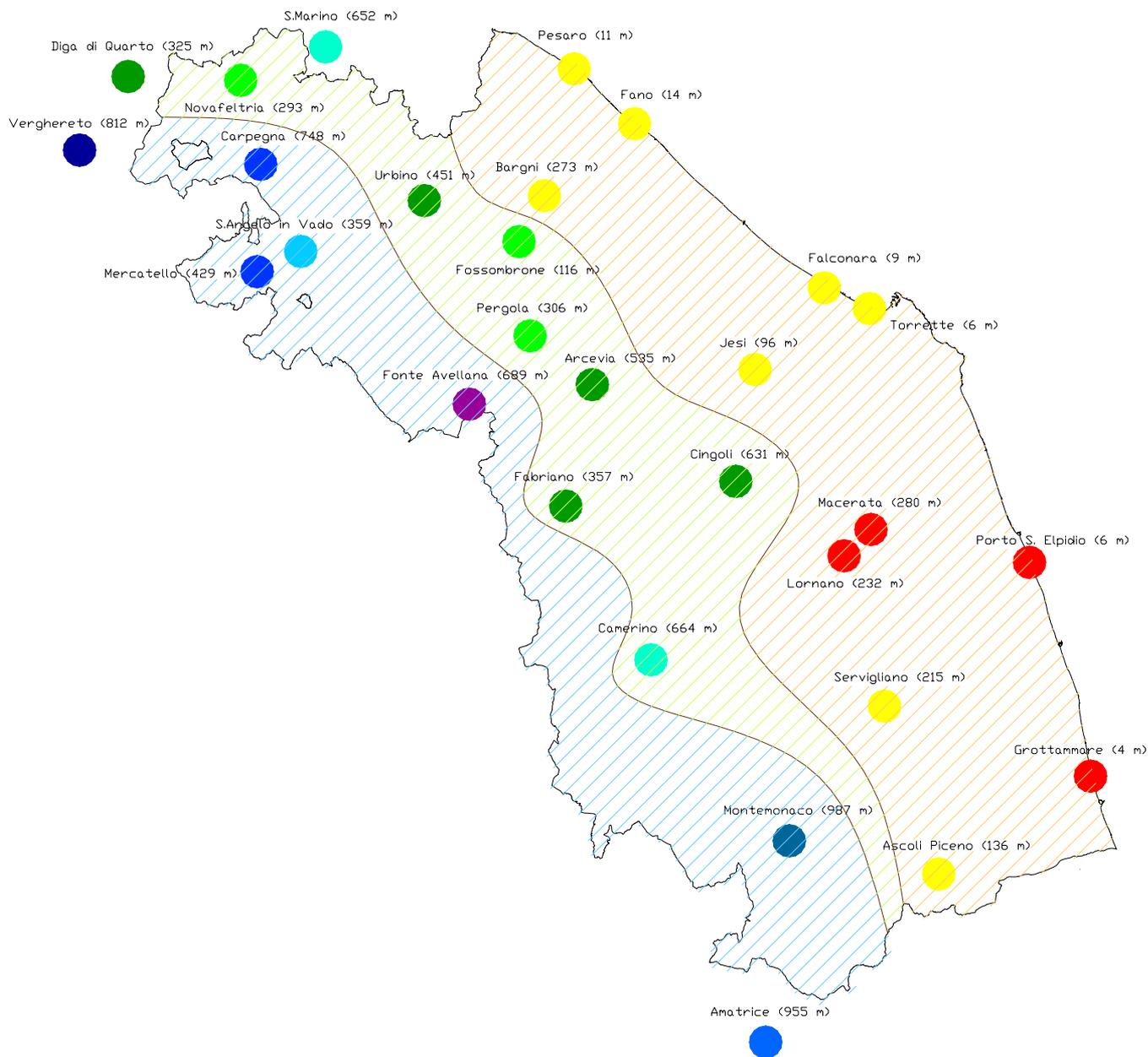
Le aree climatiche individuate sono state riportate nel precedente tabulato. Una più sintetica presentazione può essere così descritta:

1. una prima area è quella che ingloba i climi di tipo  $C_1$  e comprende la zona costiera-bassocollinare della regione, con estensione a quella mediocollinare della provincia di Ascoli Piceno; da rilevare che l'estrema costa meridionale sfiora il tipo D;
2. una seconda è quella dei climi di tipo  $C_2$ , in cui figurano le zone interne mediocollinari e vallive delle provincie di Pesaro-Urbino, Ancona e Macerata;
3. una terza, di tipo B con vari gradi di umidità, comprende tutta la fascia altocollinare-montana della regione con una punta "perumida" a Fonte Avellana.

Nella figura di pagina seguente sono rappresentate le tre aree climatiche principali e per ciascuna i sottotipi di clima individuati.

Nonostante i risultati ottenuti si siano dimostrati soddisfacenti per una conoscenza climatologica dettagliata delle Marche, sono comunque da considerare con delle riserve a causa del numero ridotto di stazioni aventi a disposizione dati di temperatura, radiazione solare ed eliofania.

Per una revisione ed un completamento dell'analisi è indispensabile attendere l'arricchimento della banca dati con registrazioni dei parametri meteorologici sopra menzionati, distribuite omogeneamente sul territorio regionale.



Legenda			$C_2B_3'ra'$		$B_1B_2'ra'$		$B_3B_2'ra'$
	$C_1B_3'da'$		$C_2B_2'ra'$		$B_1B_1'rb_4'$		$B_3B_2'rb_4'$
	$C_1B_3'sa'$		$C_2B_2'rb_4'$		$B_2B_2'ra'$		$AB_2'rb_4'$

Fig.5 Carta delle zone climatologicamente affini.

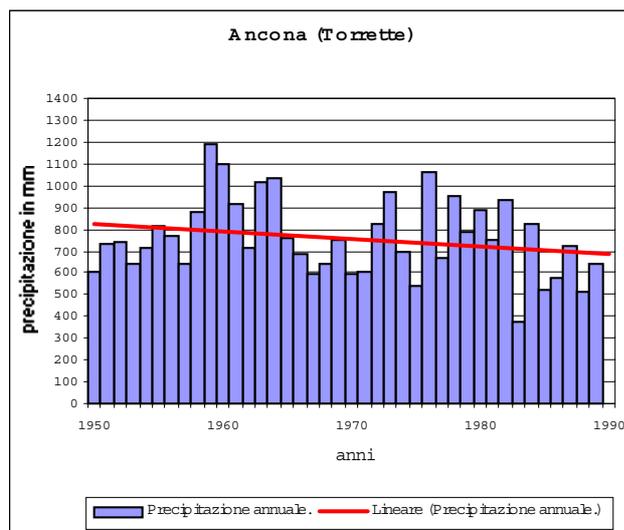
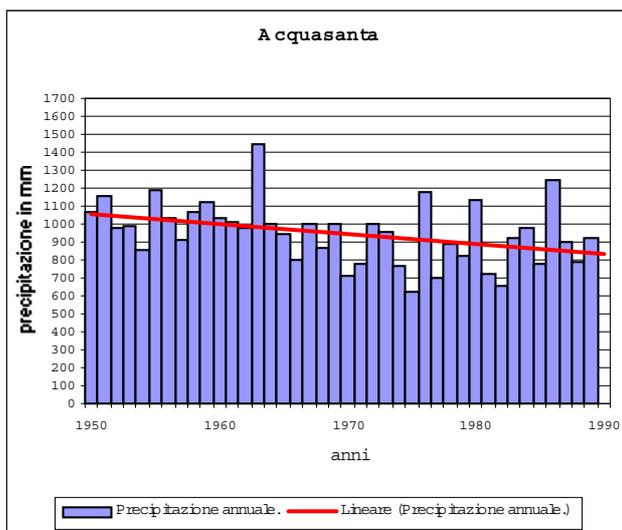
## 11. Conclusioni e progetti futuri

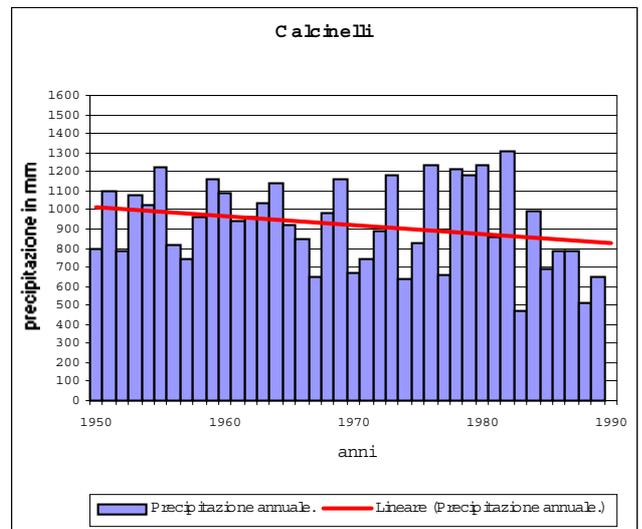
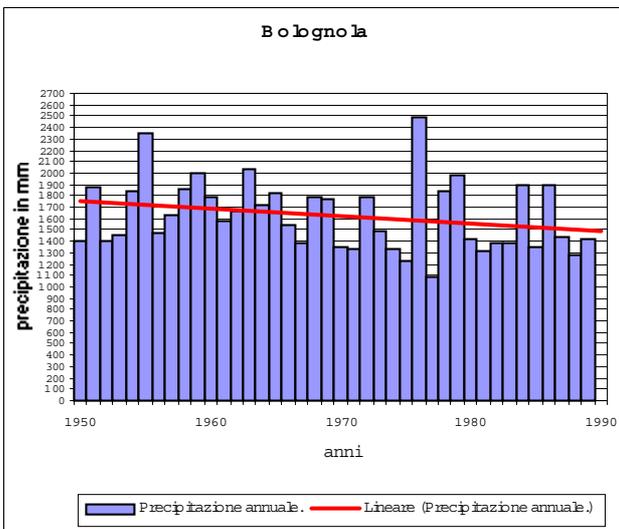
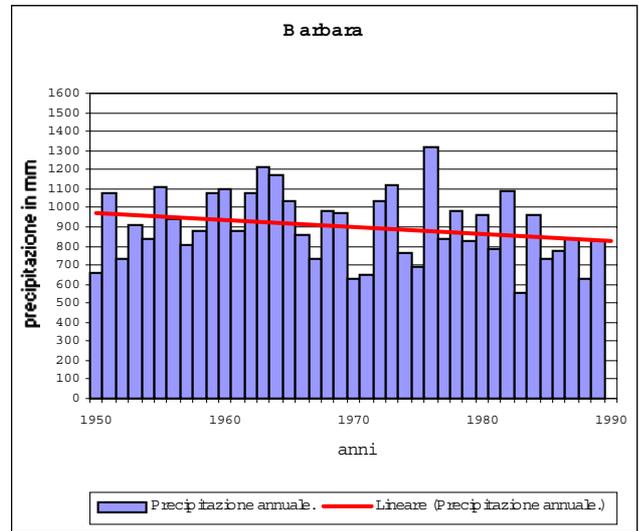
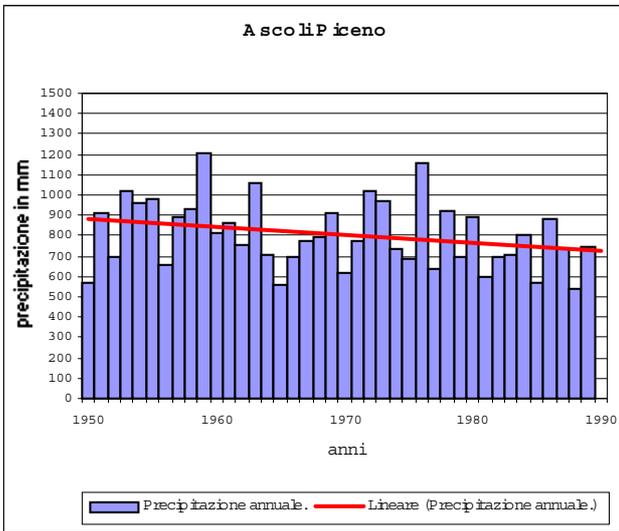
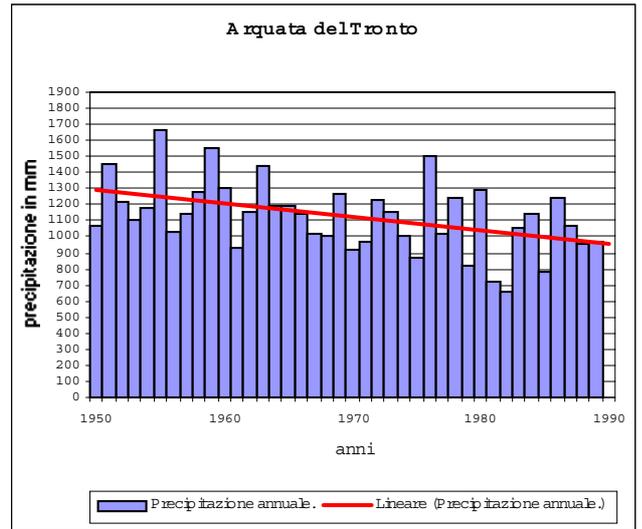
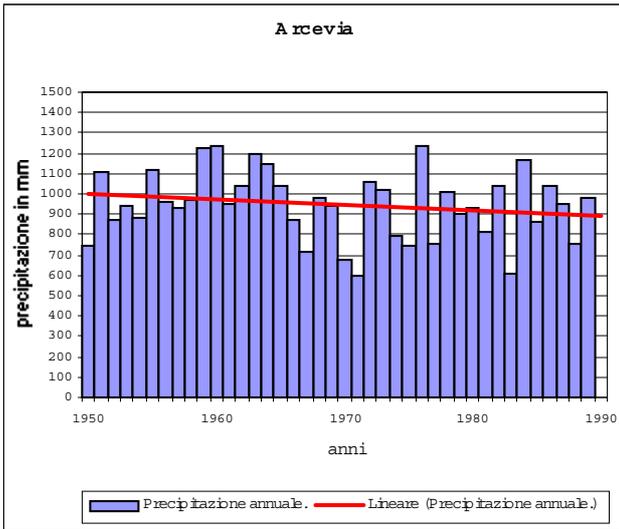
In sintesi, i risultati del lavoro svolto sono i seguenti:

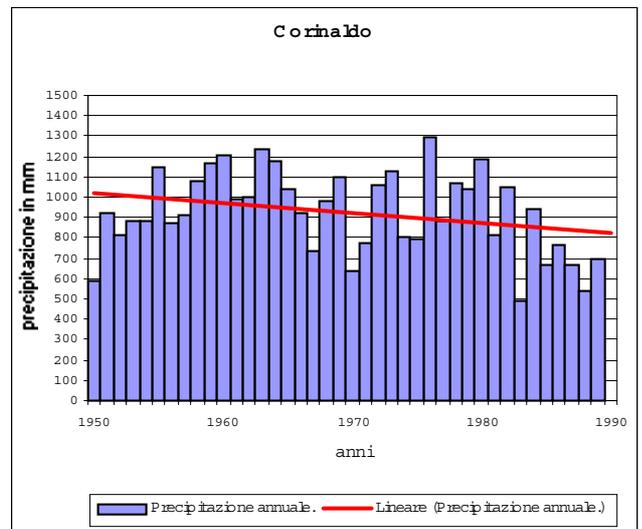
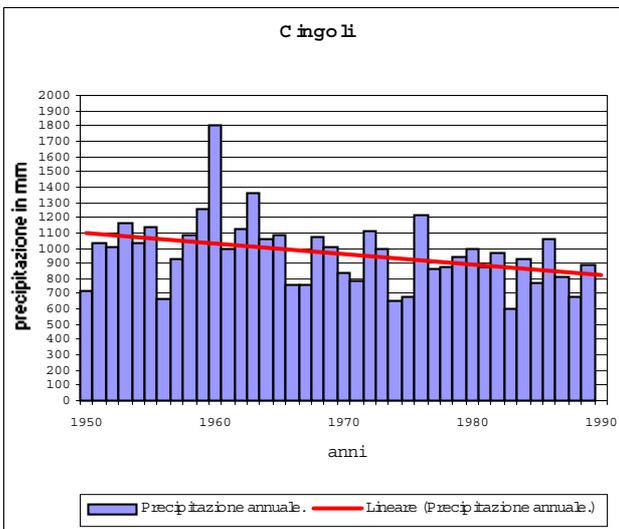
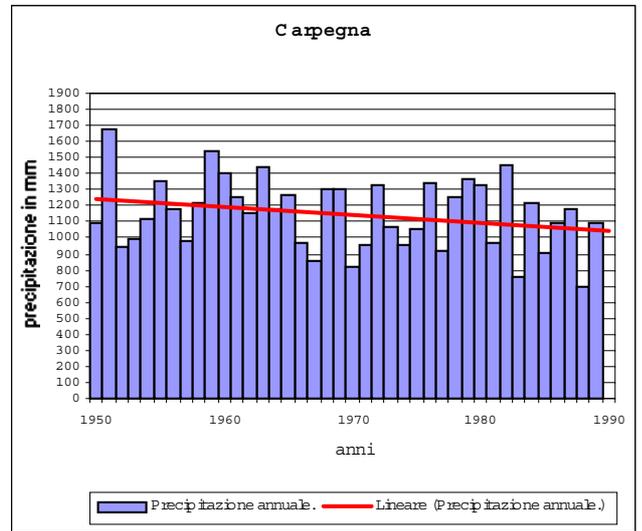
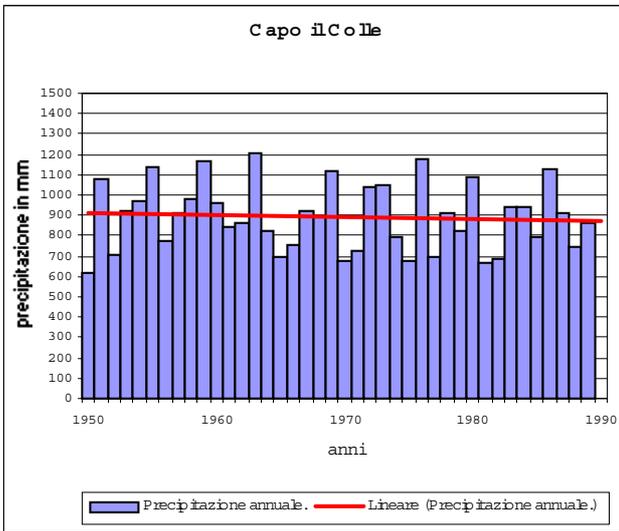
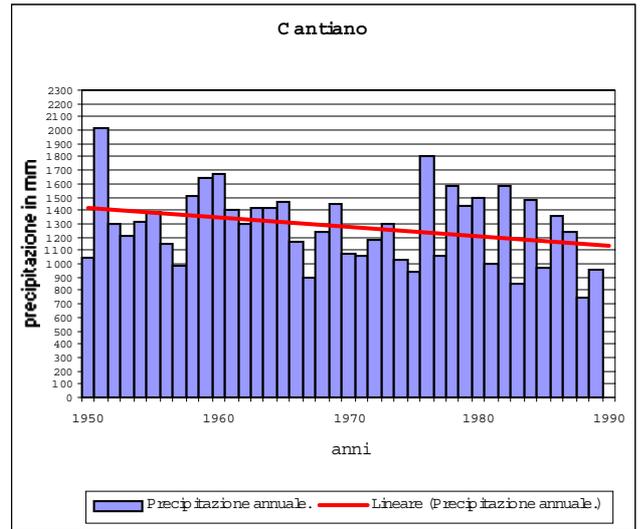
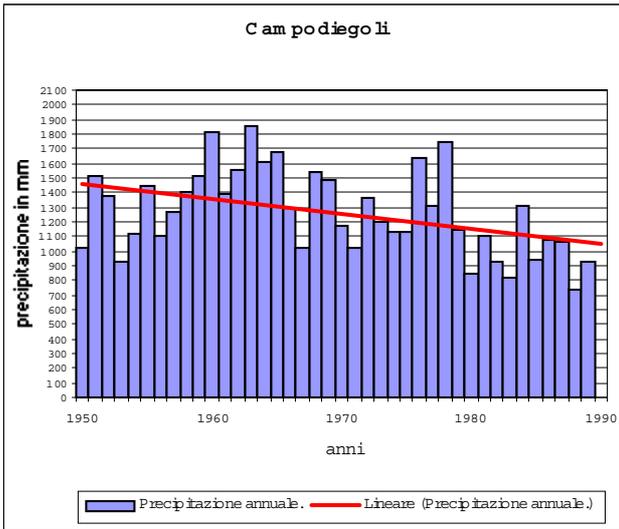
- determinazione per ciascuna stazione relativamente al periodo 1950-1989 dei parametri  $\alpha$  e  $\beta$  che definiscono univocamente la distribuzione di probabilità Gamma della precipitazione mensile, valido strumento per calcolare la probabilità che questa superi o meno una certa soglia;
- rilevamento di un ***trend significativo decrescente*** della precipitazione annuale per 59 stazioni dal 1950 al 1989 e determinazione della riduzione in percentuale della precipitazione rispetto al valor medio, che risulta essere minore o uguale del 10% per 4 stazioni; maggiore del 10% e minore o uguale del 20% per 21 stazioni; maggiore del 20% e minore o uguale del 30% per 24; maggiore del 30% e minore o uguale del 40% per 9 ed infine maggiore del 50% per una stazione.

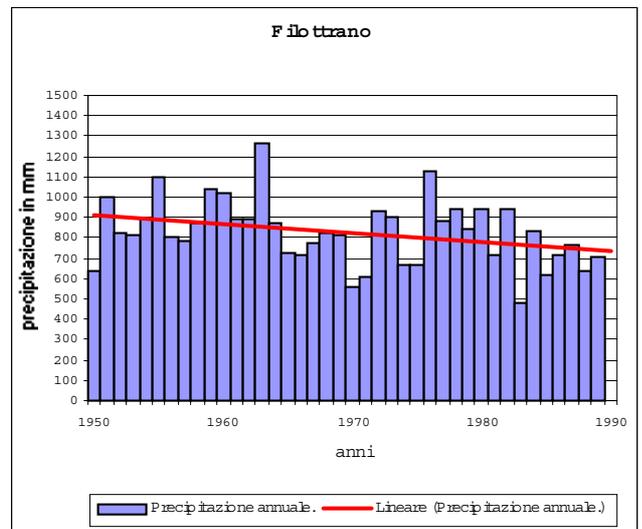
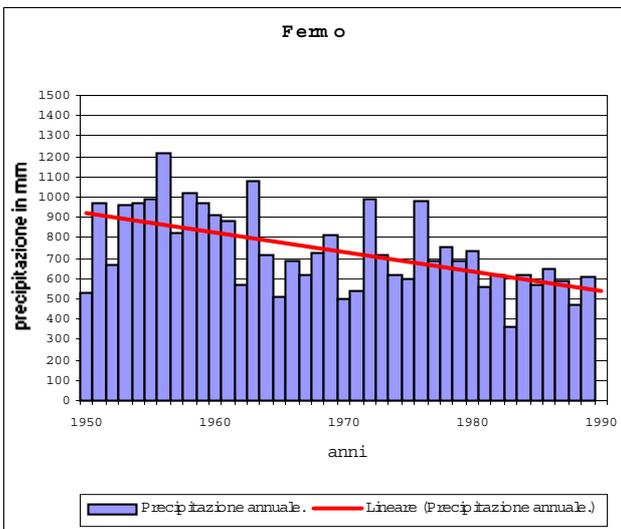
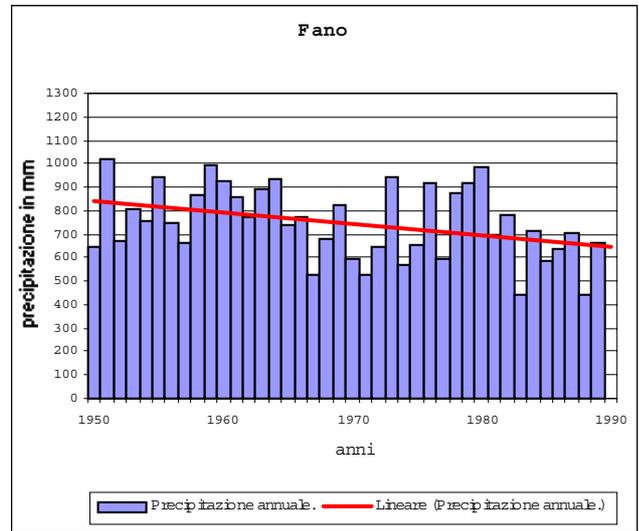
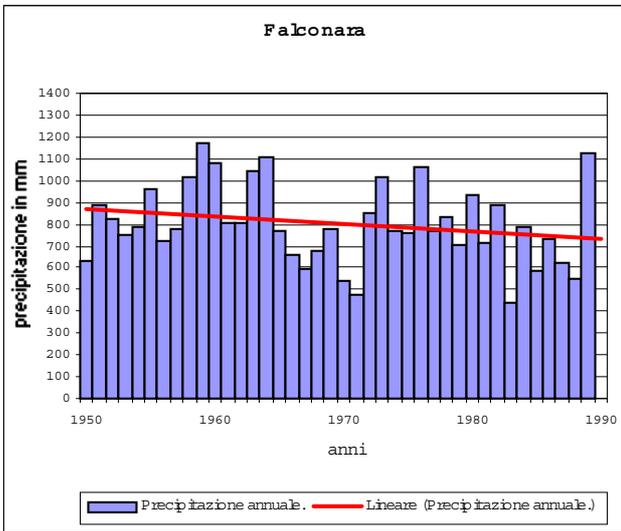
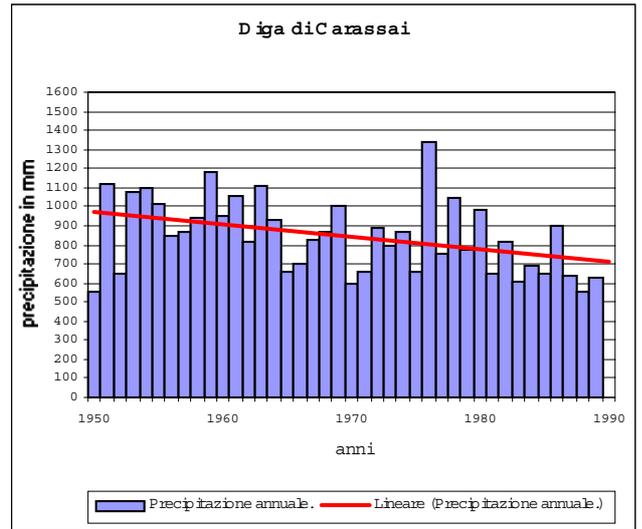
Di seguito sono riportati i grafici ad istogramma dell'andamento della precipitazione annuale e il relativo trend delle stazioni interessate:

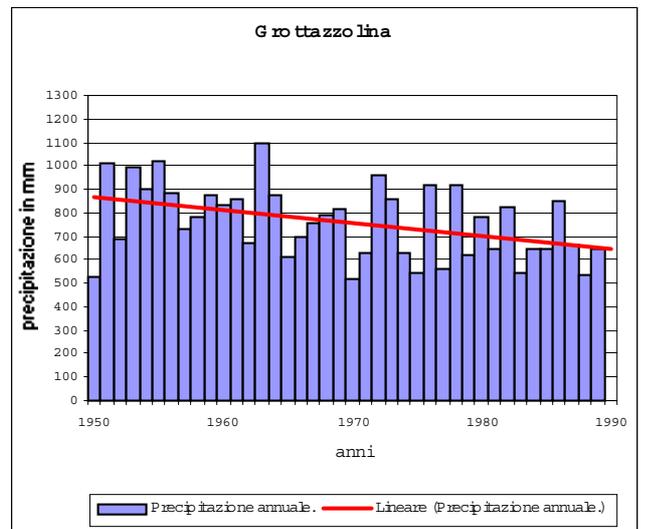
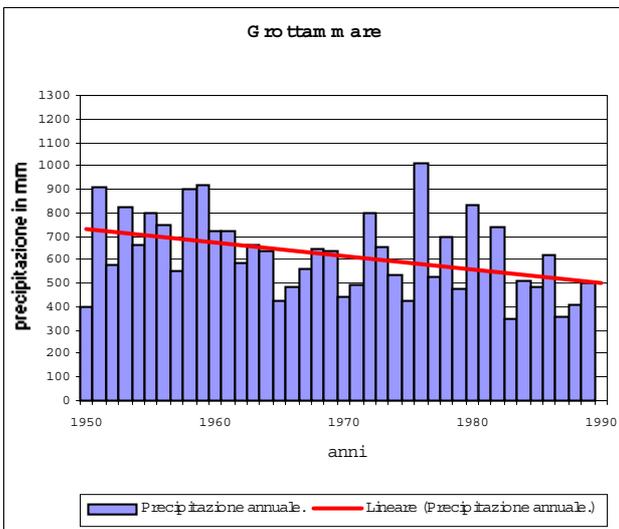
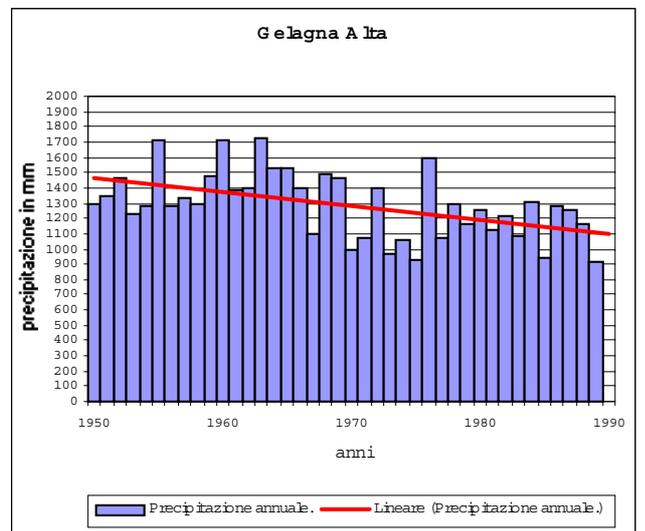
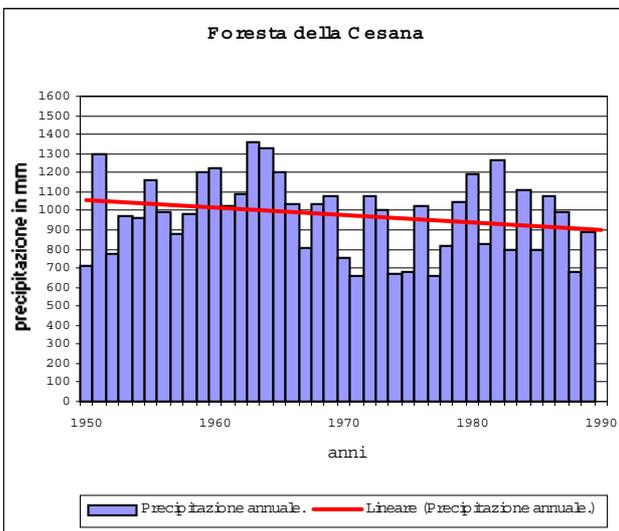
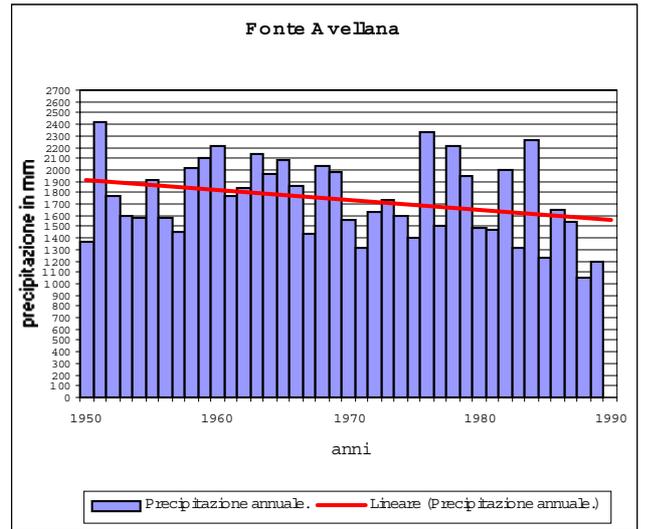
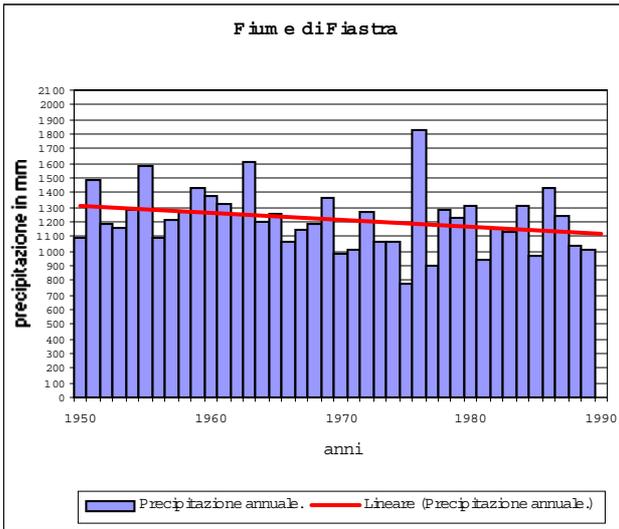
Grafici della precipitazione annuale e relativo trend.

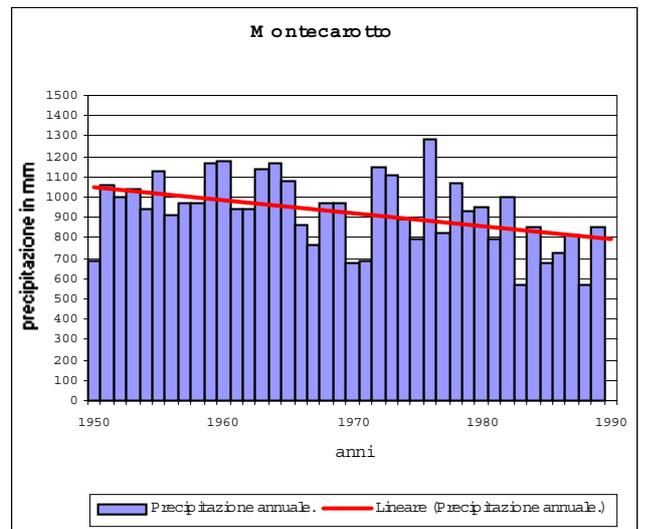
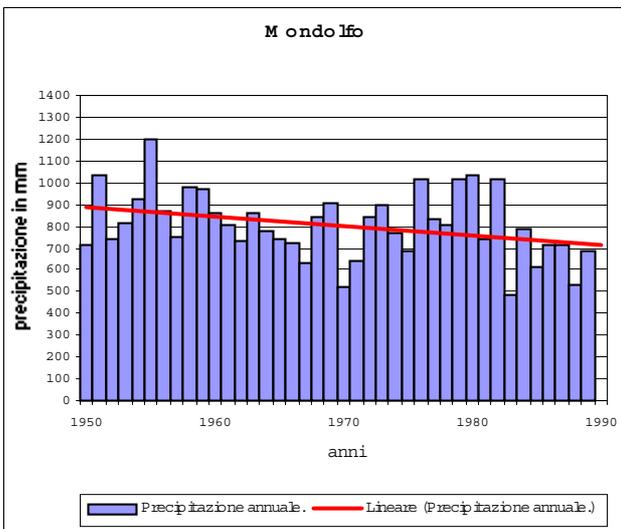
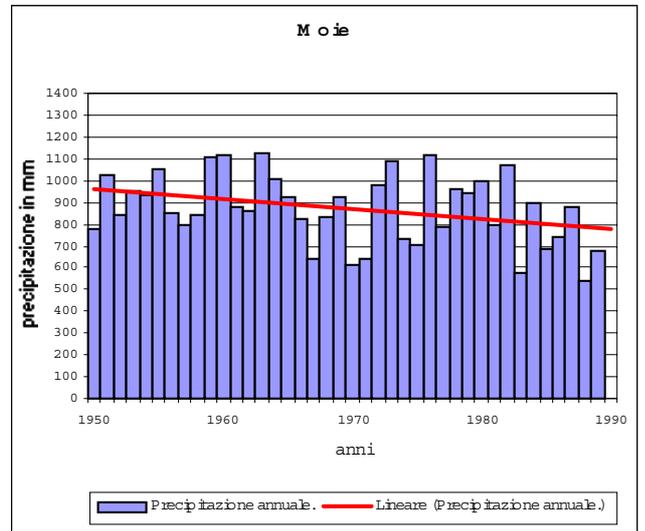
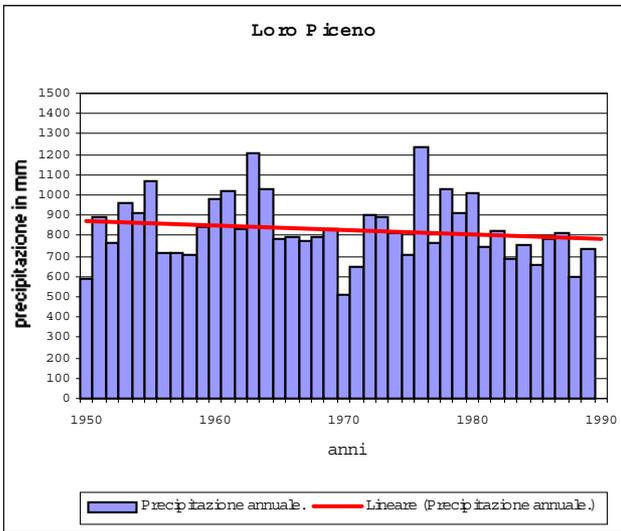
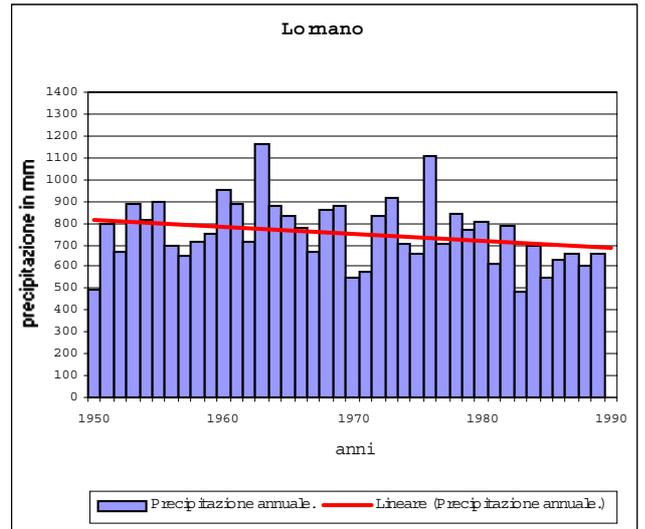
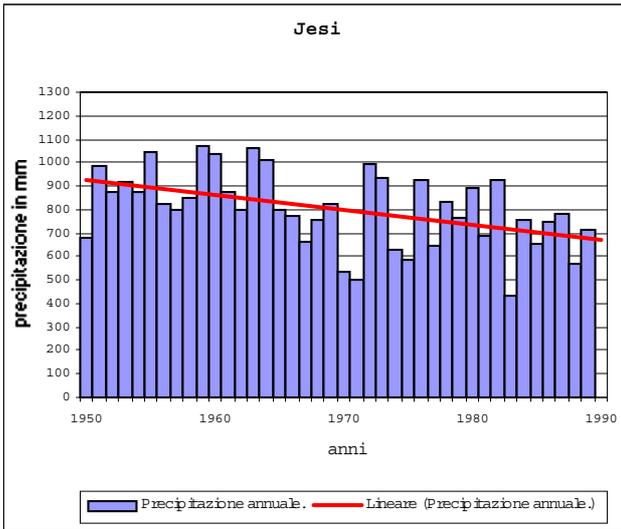


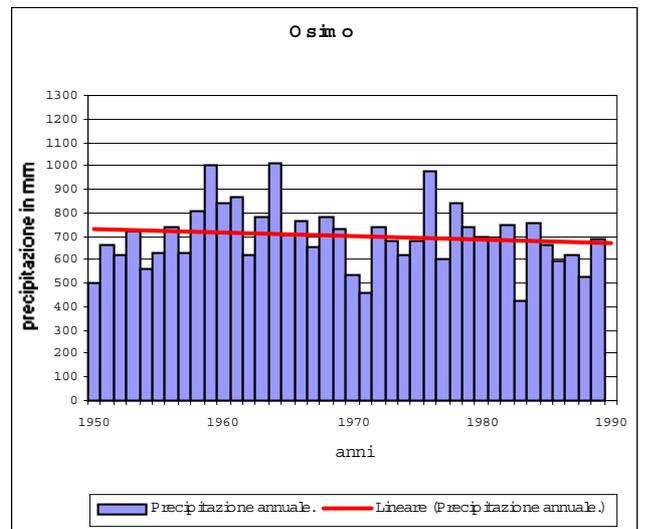
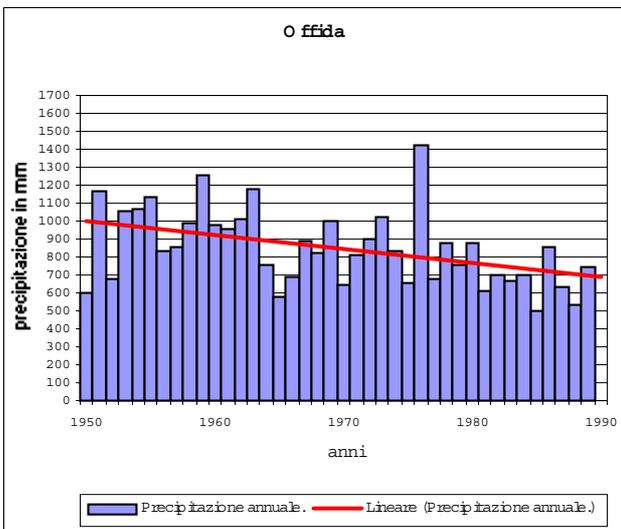
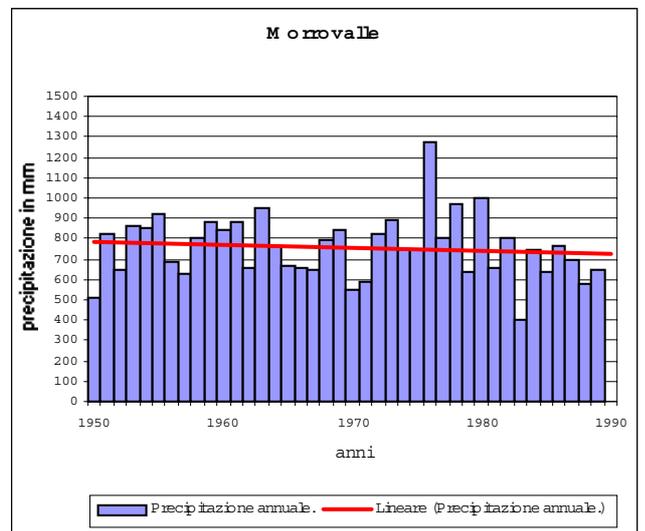
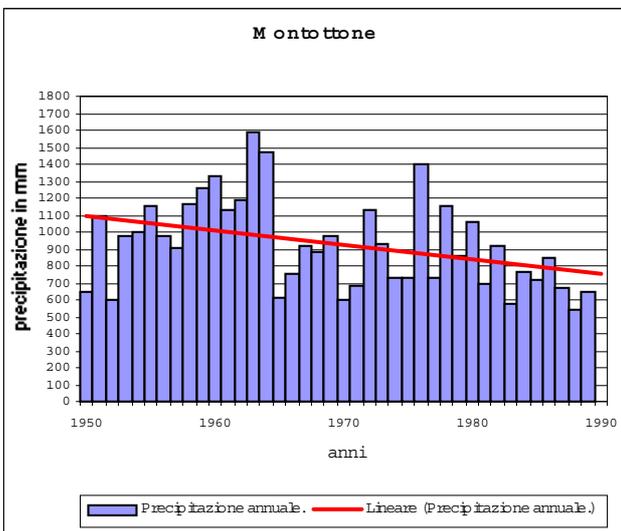
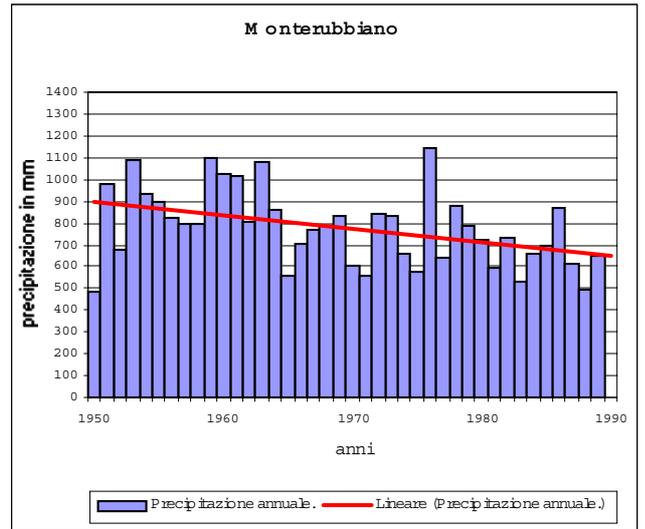
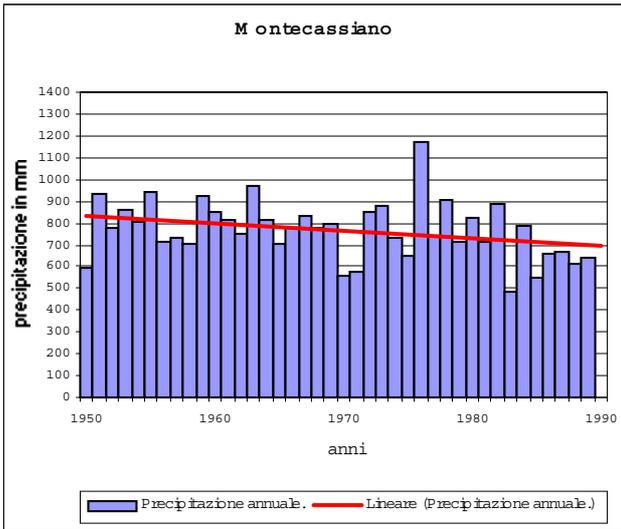


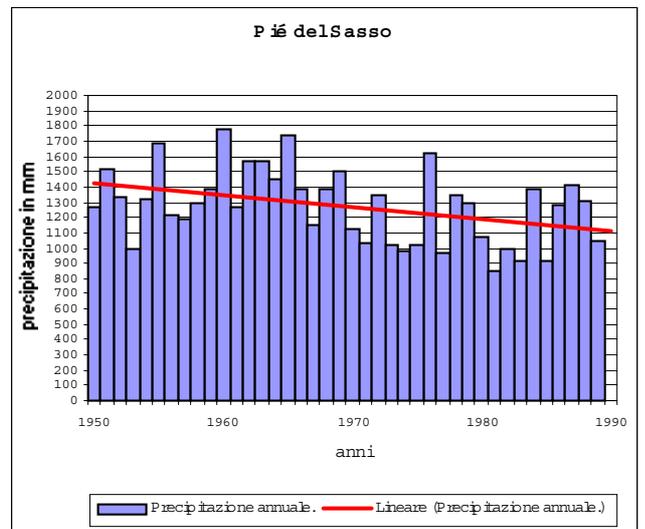
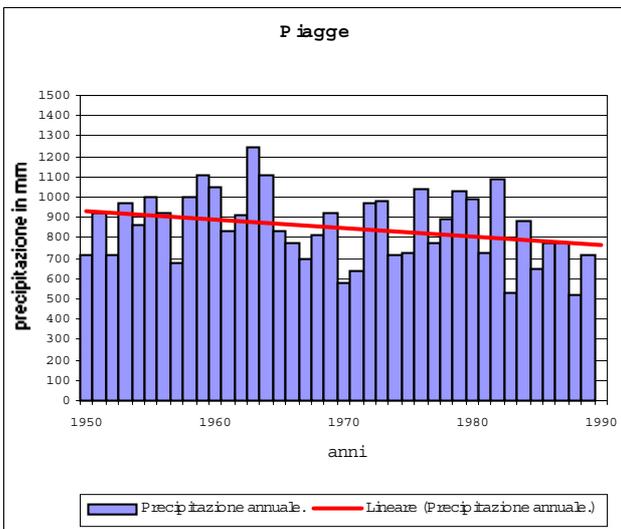
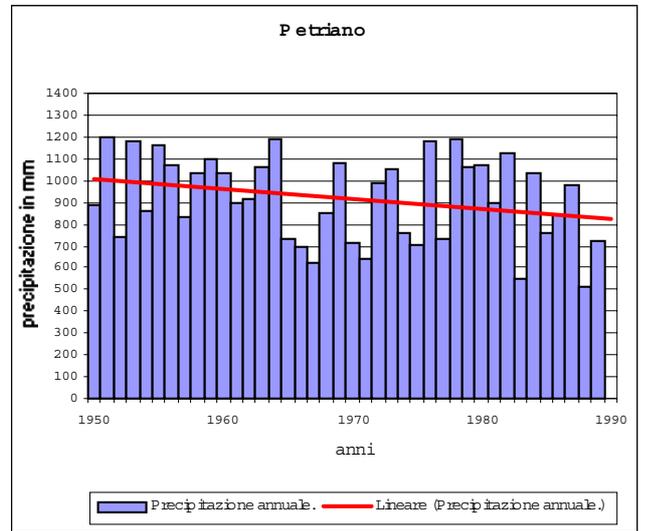
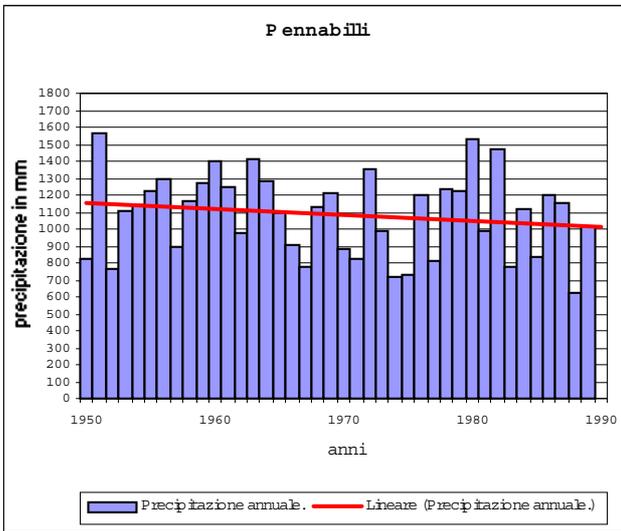
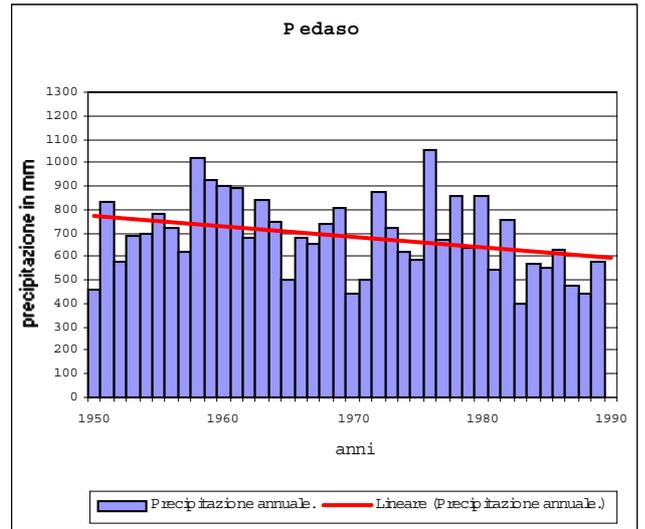
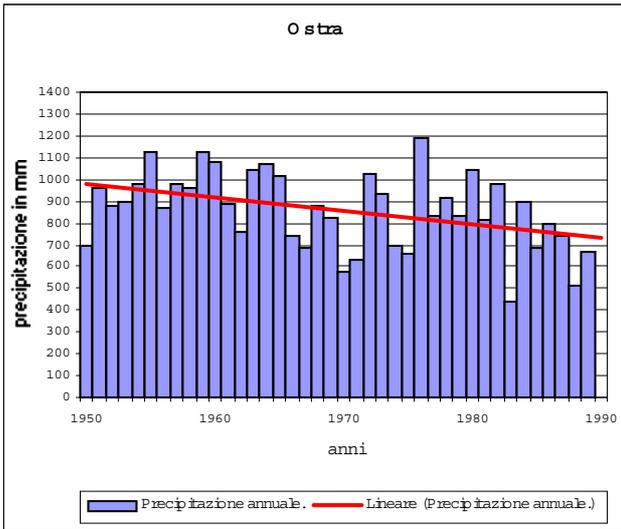


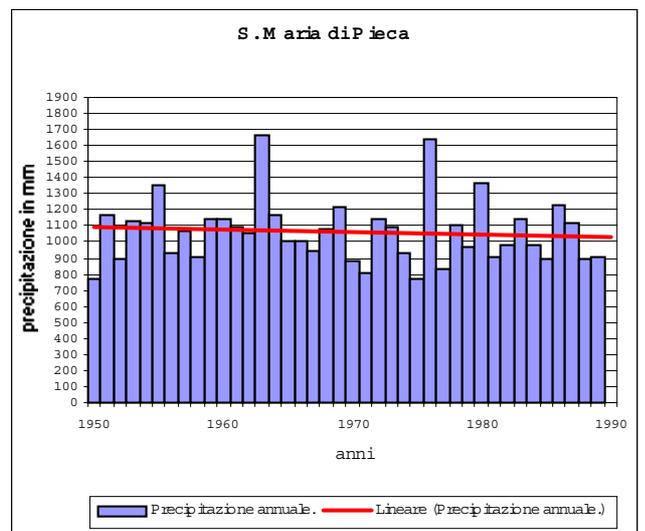
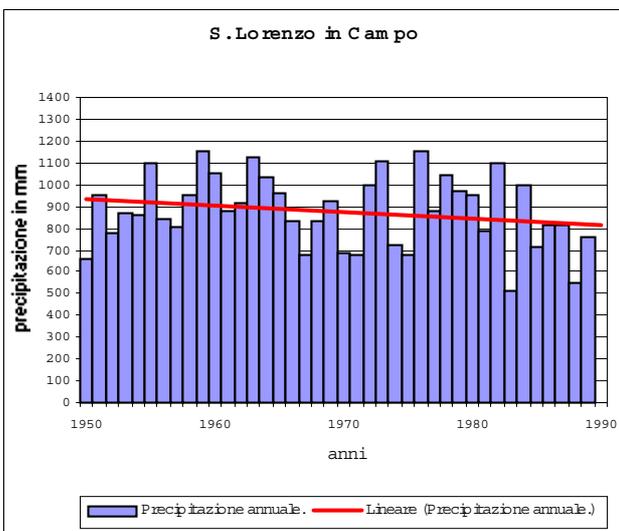
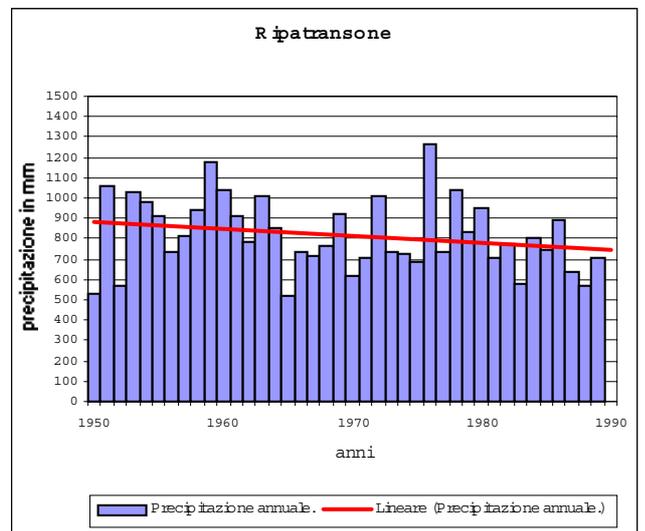
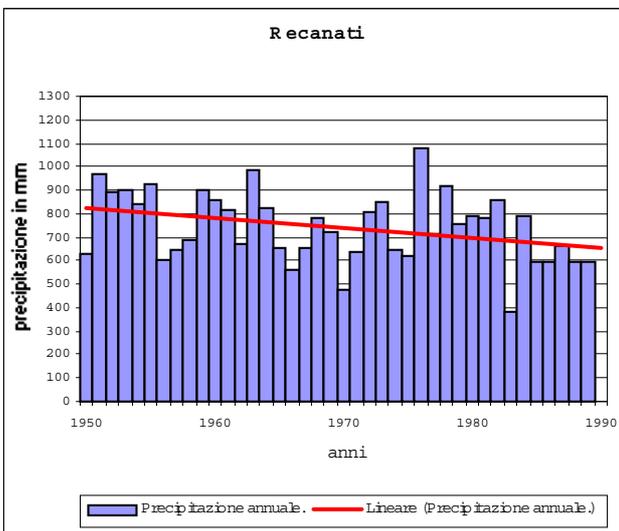
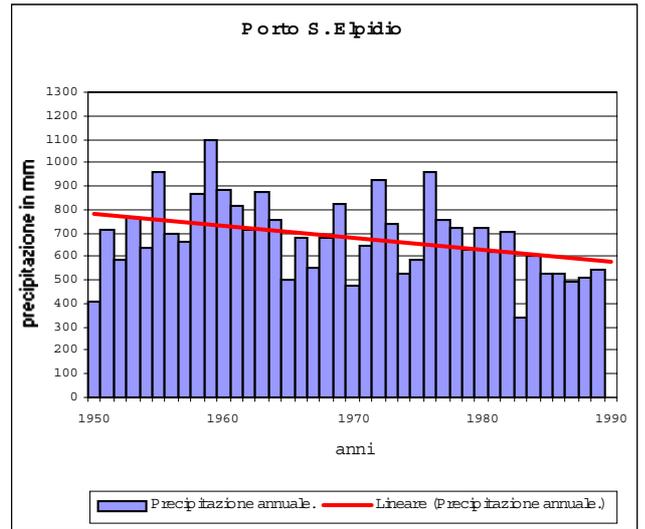
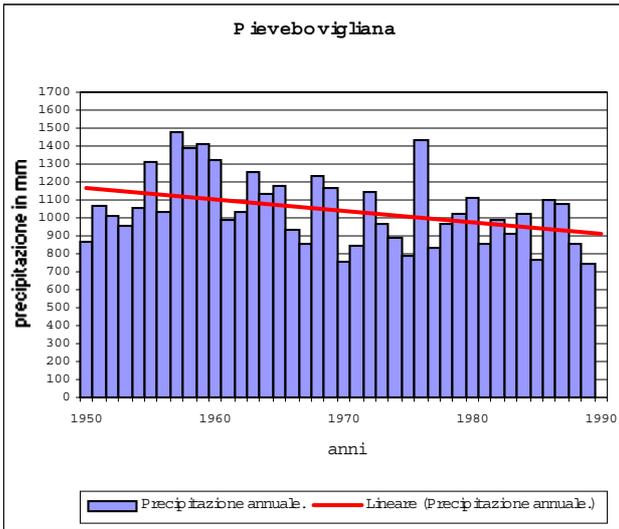


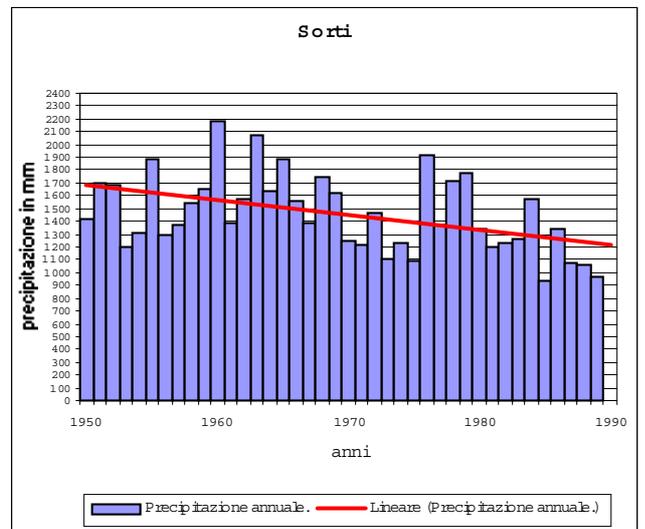
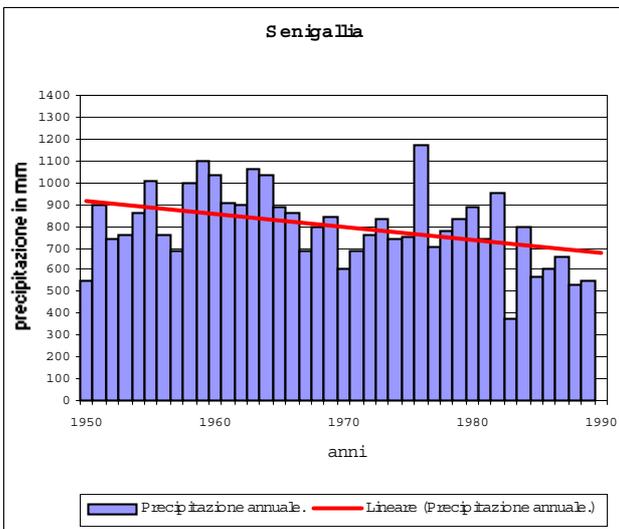
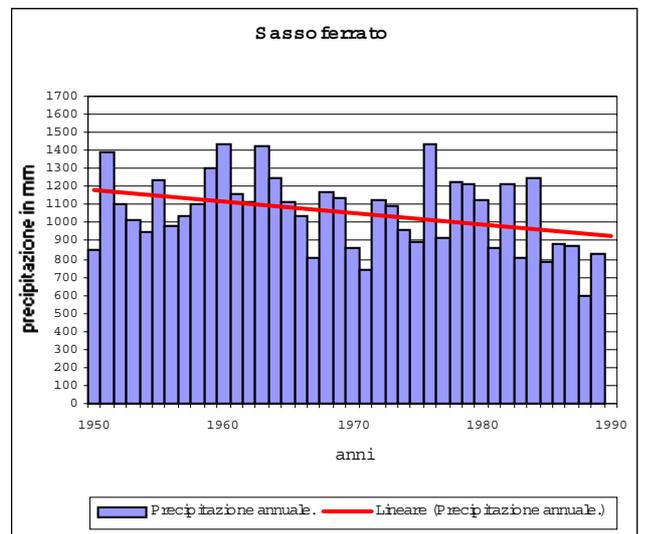
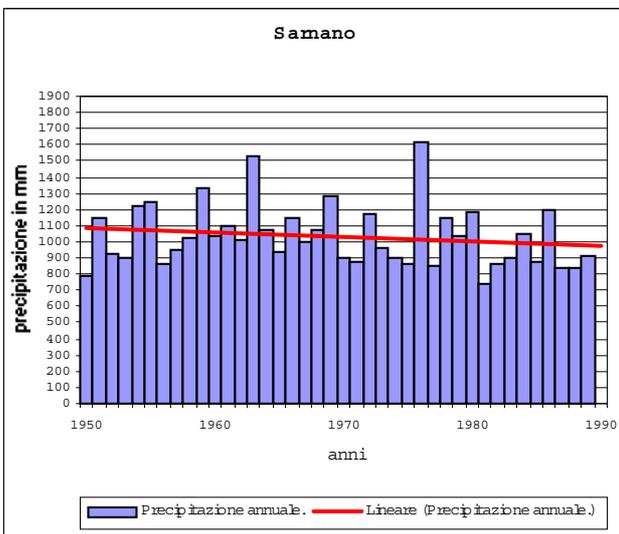
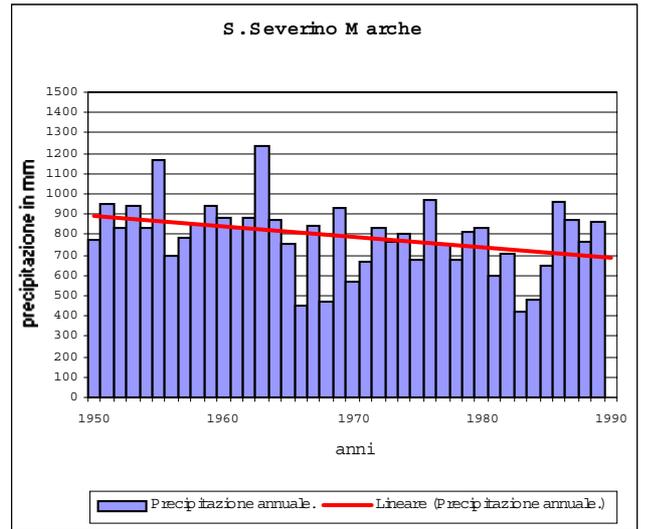
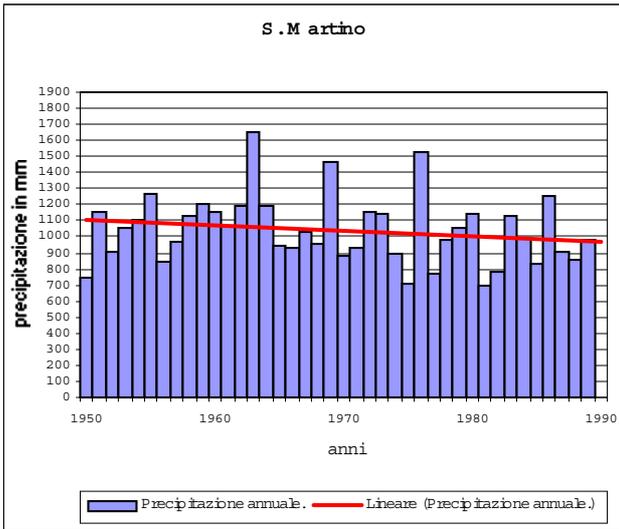


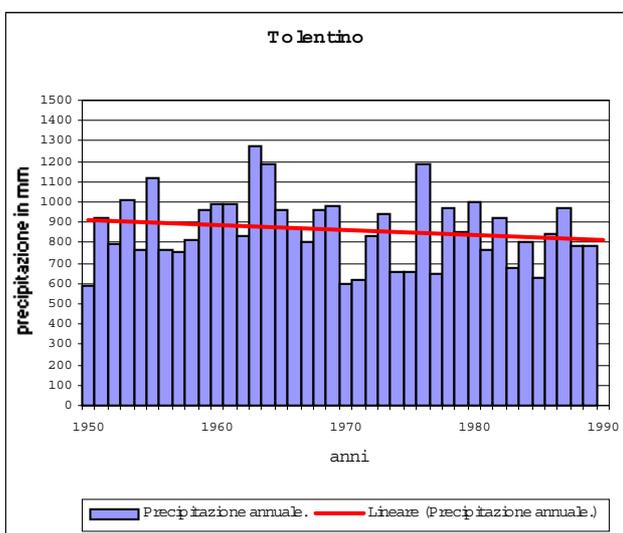
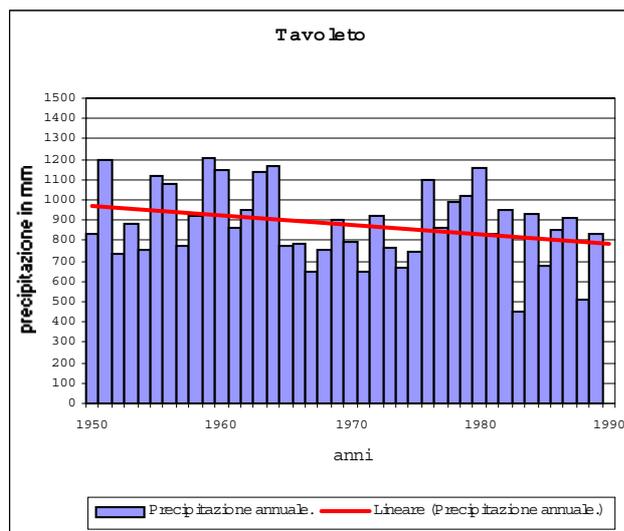
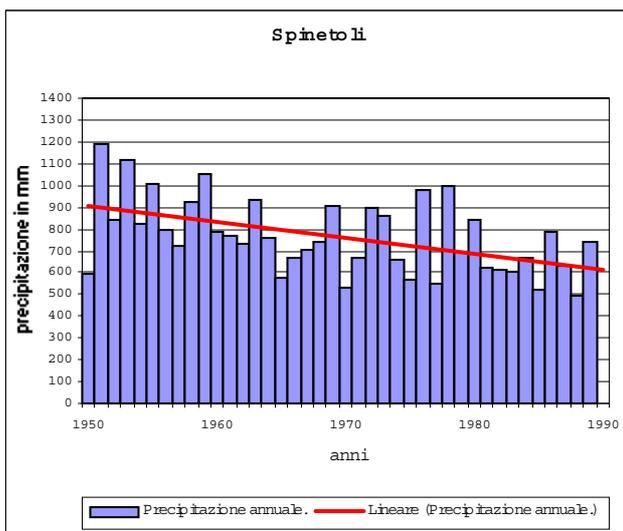












- realizzazione delle carte del campo medio della precipitazione annuale e stagionale sulle Marche del periodo 1950-1989, da cui si evince la suddivisione del territorio regionale in tre principali fasce longitudinali: una costiera, una medio-bassocollinare ed una altocollinare e montana con quantitativi medi di acqua precipitata compresi nei range elencati nella seguente tabella:

Zona	Costiera	Medio-bassocollinare	Altocollinare e montana
<i>Periodo</i>			
<i>Anno</i>	600-850 mm	850-1100 mm	1100-1750 mm
<i>Primavera</i>	120-195 mm	195-270 mm	270-435 mm
<i>Estate</i>	105-165 mm	165-195 mm	195-285 mm
<i>Autunno</i>	165-225 mm	225-315 mm	315-480 mm
<i>Inverno</i>	150-210 mm	210-300 mm	300-525 mm

Da quanto precede, emerge inoltre che l'autunno è la stagione più piovosa, anche se il valore massimo di precipitazione media stagionale si raggiunge in inverno ad alta quota;

- individuazione di aree con regime pluviometrico particolare (minimi e massimi assoluti e relativi, annuali e stagionali) elencate nelle tabelle successive:

*Minimi assoluti e relativi, espressi in mm.*

<i>Zona</i>	<i>Costa sud</i>	<i>Osimo- Recanati</i>	<i>Sudovest Montefeltro</i>	<i>Camerino- S. Severino</i>	<i>Costa nord</i>
<i>Periodo</i>					
<i>Anno</i>	550-600	650-700	750-800	750-900	-
<i>Primavera</i>	120-150	135-150	180-195	180-210	-
<i>Estate</i>	105-135	-	150-165	165-180	-
<i>Autunno</i>	165-195	195-210	225-240	195-240	-
<i>Inverno</i>	150-180	150-165	150-180	195-240	150-165

*Massimi assoluti e relativi, espressi in mm.*

<i>Zona</i>	<i>Catria</i>	<i>Sibillini</i>	<i>Pennino</i>	<i>S. Vicino</i>
<i>Periodo</i>				
<i>Anno</i>	1550-1700	1500-1550	1350-1400	1050-1100
<i>Primavera</i>	375-420	390-405	330-345	255-270
<i>Estate</i>	240-270	240-255	225-240	210-225
<i>Autunno</i>	420-465	420-450	360-390	285-300
<i>Inverno</i>	465-510	420-435	405-435	270-285

- calcolo delle quantità medie annuali e stagionali di acqua precipitata sulle aree dei bacini idrografici della regione, riportate nel tabulato a pagina seguente:

*Quantità media annuale e stagionale di acqua precipitata (mc) su ciascuna area di bacino.*

<i>Bacino</i>	<i>Anno</i>	<i>Primavera</i>	<i>Estate</i>	<i>Autunno</i>	<i>Inverno</i>
Fiume Tevere	317.180.000	81.216.250	56.641.750	87.815.250	89.902.750
Fiume Marecchia	347.515.000	87.831.000	69.949.000	101.532.250	95.094.250
Torrente Conca	82.300.000	20.502.500	17.687.250	24.705.000	20.539.250
Fiume Tronto	816.015.000	211.088.250	156.370.000	234.010.250	220.656.250
Fiume Tavollo	40.265.000	9.798.000	8.623.750	12.526.250	10.409.500
Litorale Gabicce-Pesaro	1.687.500	395.750	366.500	534.000	398.500
Fiume Foglia	589.685.000	147.482.500	119.857.500	177.072.750	147.534.000
Rio Genica	21.912.500	5.241.000	4.810.750	6.820.250	5.197.250
Torrente Arzilla	81.232.500	19.882.250	17.426.500	24.699.000	19.689.250
Fiume Metauro	1.406.535.000	354.254.250	259.564.500	418.626.000	379.119.250
Litorale Metauro-Cesano	20.385.000	4.802.750	4.446.500	6.287.500	5.112.500
Fiume Cesano	400.020.000	99.713.250	80.432.500	116.979.000	104.445.500
Litorale Cesano-Misa	9.505.000	2.221.000	2.063.250	2.841.000	2.424.250
Fiume Misa	373.265.000	92.404.500	79.323.750	108.032.750	96.328.500
Litorale Misa-Fosso Rubiano	19.810.000	4.586.750	4.114.750	5.974.250	4.942.750
Fosso Rubiano	39.485.000	9.341.500	8.125.250	11.880.750	9.813.250
Fiume Esino	1.178.960.000	292.994.000	233.492.000	336.768.750	320.433.000
Litorale Esino-Musone	49.927.500	11.613.750	10.519.000	15.170.000	12.783.500
Fiume Musone	561.345.000	136.177.250	118.670.750	163.655.500	145.109.250
Rio Fiumarella o Bellaluce	10.292.500	2.412.250	2.183.250	3.199.750	2.550.750
Fiume Potenza	779.805.000	192.814.750	153.506.500	221.287.250	212.426.250
Fosso Pilocco	18.490.000	4.400.000	3.911.000	5.522.750	4.725.500
Torrente Asola	39.910.000	9.532.500	8.282.000	12.173.500	10.183.000
Fiume Chienti	1.256.720.000	312.070.250	251.141.750	351.016.000	347.312.250
Litorale Chienti-Tenna	12.217.500	2.927.250	2.516.250	3.674.500	3.153.000
Fiume Tenna	521.175.000	134.865.500	99.209.500	146.524.750	142.230.750
Fosso Valloscura/Petronilla	15.147.500	3.579.250	3.142.000	4.566.000	3.917.000
Fiume Ete Vivo	144.160.000	35.652.750	30.540.000	41.111.250	37.458.250
Fosso Mulinello/S. Biagio	17.785.000	4.282.500	3.639.750	5.460.250	4.685.250
Fiume Aso	284.915.000	73.464.500	52.992.500	80.300.250	75.550.500
Rio Canale	14.725.000	3.394.250	3.069.000	4.462.500	3.844.000
Torrente Menocchia	79.645.000	19.538.250	17.265.250	23.700.250	18.503.000
Torrente S. Egidio	17.782.500	4.206.500	3.631.750	5.326.500	4.492.250
Fiume Tesino	104.495.000	26.345.250	22.554.250	29.633.000	26.413.250
Torrente Albula/Ragnola	38.445.000	9.291.500	8.022.500	11.367.250	9.374.500
Fiume Savio	59.262.500	15.315.000	12.030.750	17.378.750	14.885.000
Torrente Vibrata	6.732.500	1.710.750	1.418.250	1.980.000	1.653.750

- classificazione del territorio regionale in 14 categorie che inglobano zone affini sulla base della distribuzione della precipitazione media annuale (vedi Fig.3):

<i>Cat.</i>	<i>n. stazioni</i>	<i>Elenco</i>
1	63	Acqualagna, Cupramontana, Fossombrone, Foresta della Cesana, Cingoli, Novafeltria, Acquasanta, Arcevia, Amandola, Fabriano, Monte Jottone, Petriano, Serralta, Calcinelli, Corinaldo, Montottone, Montecarotto, Barbara, Barchi, S. Angelo in Pontano, Capo il Colle, Amatrice, Camerino, Tavoleto, Bargni, Diga di Quarto, S. Lorenzo in Campo, Tolentino, Moie, S. Marino, Diga di Carassai, Urbino, Offida, Ostra, Piagge, Ancona (Baraccola), Ripatransone, Servigliano, Filottrano, Loro Piceno, Petriolo, Ancona (Torrette), Grottazzolina, Morrovalle, Cattolica, Candelara, Spinetoli, Montecassiano, Lornano, Fano, Recanati, Fermo, Ascoli Piceno, Macerata, Mondolfo, Falconara, Jesi, Loreto, Senigallia, S. Severino Marche, Sassocorvaro, Monterubbiano, Pesaro.
2	13	S. Martino, Pievebovigliana, Sarnano, Pennabilli, Pioraco, Capodacqua, S. Maria di Pieca, Sassoferrato, Croce di Casale, S. Angelo in Vado, Urbania, Poggio Cancelli, Pergola.
3	4	Porto S. Elpidio, Osimo, Pedaso, Roseto degli Abruzzi.
4	4	Carpegna, Apiro, Arquata del Tronto, Mercatello.
5	1	Bocca Serriola.
6	2	Fiume di Fiastra, Montemonaco.
7	7	Cagli, Gelagna Alta, Cantiano, Serravalle del Chienti, Pianello, Pié del Sasso, Campodiegoli.
8	1	Badia Tedalda.
9	1	Ville S. Lucia.
10	1	Verghereto.
11	1	Grottammare.
12	2	Sorti, Bocca Trabaria.
13	1	Fonte Avellana.
14	1	Bolognola.

- stima attraverso l'indice SPI e limitatamente a 15 stazioni con serie continue fino al 2000 delle condizioni di umidità estrema, rilevate agli inizi degli anni sessanta; di siccità estrema avutasi nei periodi fine anni sessanta-metà anni settanta, fine anni ottanta-metà anni novanta;
- realizzazione delle carte del campo medio della precipitazione annuale e stagionale dal 1950 al 2000 per una parte del territorio regionale corrispondente approssimativamente alle province di Ancona e Macerata, dove si concentrano le stazioni aggiornate fino al 2000. Tali carte mostrano una flessione nei quantitativi complessivi di acqua precipitata rispetto a quelle del quarantennio per la stessa area, fatta eccezione per l'autunno in cui si rileva un aumento;
- individuazione attraverso il metodo di classificazione climatica di Thornthwaite di tre principali tipi di clima: C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> e B (B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> e B<sub>3</sub>), caratterizzanti rispettivamente:
  1. l'area costiera e bassocollinare della regione, con estensione a quella mediocollinare della provincia di Ascoli Piceno;
  2. le aree interne mediocollinari e vallive delle province di Pesaro-Urbino, Ancona e Macerata;
  3. la fascia altocollinare e montana.

All'interno di queste tre categorie sono stati rilevati dei sottotipi di clima in base all'efficienza termica media annua, alla variazione stagionale dell'umidità effettiva e alla concentrazione estiva dell'efficienza termica per un totale complessivo di 11 varietà climatiche, secondo le quali le stazioni analizzate risultano così raggruppate (vedi Fig.5):

<i>Clima</i>	<i>Elenco stazioni</i>
C <sub>1</sub> B <sub>3</sub> 'da'	Grottammare, Porto S. Elpidio, Lornano, Macerata.
C <sub>1</sub> B <sub>3</sub> 'sa'	Ancona (Torrette), Ascoli Piceno, Bargni, Falconara, Fano, Jesi, Pesaro, Servigliano.
C <sub>2</sub> B <sub>2</sub> 'ra'	Arcevia, Cingoli, Diga di Quarto, Fabriano, Urbino.
C <sub>2</sub> B <sub>2</sub> 'rb <sub>4</sub> '	Camerino, S. Marino.
C <sub>2</sub> B <sub>3</sub> 'ra'	Fossombrone, Novafeltria, Pergola.
B <sub>1</sub> B <sub>1</sub> 'rb <sub>4</sub> '	Amatrice.
B <sub>1</sub> B <sub>2</sub> 'ra'	S. Angelo in Vado.
B <sub>2</sub> B <sub>2</sub> 'ra'	Carpegna, Mercatello.
B <sub>3</sub> B <sub>2</sub> 'ra'	Montemonaco.
B <sub>3</sub> B <sub>2</sub> 'rb <sub>4</sub> '	Verghereto.
AB <sub>2</sub> 'rb <sub>4</sub> '	Fonte Avellana.

Subordinatamente al completamento omogeneo del database di ciascuna stazione, relativamente alle precipitazioni, si ritiene necessario approfondire e completare le seguenti ricerche:

- estendere lo studio della distribuzione di probabilità della precipitazione mensile e del trend della precipitazione annuale fino all'anno in corso;
- qualora il trend della precipitazione annua si confermasse negativo, come risulta nel presente lavoro, studiare l'intensità delle precipitazioni valutando il trend del numero dei giorni piovosi nel mese: se quest'ultimo dovesse presentare una significatività negativa più accentuata rispetto a quello corrispondente alla quantità di precipitazione, si avrebbe come conseguenza una tendenza crescente dell'intensità. Il monitoraggio del parametro intensità di precipitazione, correlato ad altri fattori, è di estrema importanza nella prevenzione di eventi calamitosi, quali esondazioni, alluvioni, ecc.;
- completare l'elaborazione cartografica del campo medio della precipitazione annuale e stagionale fino al 2000 per tutto il territorio marchigiano;
- valutare l'incidenza delle precipitazioni solide sul totale della quantità di acqua precipitata;
- valutare l'indice di precipitazione standard di tutte le stazioni;
- revisionare ed approfondire l'analisi climatologica con la metodologia di Thornthwaite in seguito ad un eventuale arricchimento della banca dati anche con registrazioni di temperatura, radiazione solare ed eliofania, distribuite omogeneamente sul territorio regionale.

## Bibliografia

- Abramowitz M. and Stegun I. A., *Handbook of Mathematical Functions*; Dover, 1965.
- Boggio A., Borello G., *Statistica Argomenti e applicazioni di inferenza statistica e di interpolazione e regressione*; Petrini editore, 1992.
- Buffoni L., Maugeri M., Nanni T., *Precipitation in Italy from 1833 to 1996*; Theoretical and Applied Climatology, 1999.
- Guttman N. B., *Accepting the Standardized Precipitation Index: a calculation algorithm*; J. of Amer. Water Resources Assn., 1999.
- Hufty A., *La climatologia. L'atmosfera: tempo, clima, nubi, pioggia, tempeste, inquinamento*; Newton Compton editori, 1979.
- McKee T. B., Doesken N. J. and Kleist J., *The relationship of drought frequency and duration to time scales*; 8<sup>th</sup> Conference on Applied Climatology, 17-22 January 1993.
- Mennella C., *Il clima d'Italia*, Vol. II; F.lli Conte Editori S.p.a., 1970.
- Murri A., Fusari R., *Tipi di tempo in grande e condizioni meteorologiche sulle Marche*; Centro di Ecologia e Climatologia Macerata, 1987.
- Pinna M., *Climatologia*; UTET, 1977.
- Sneyers R., *On the statistical analysis of series of conservation*; WMO, 1990.
- Strahler A. N., *Geografia fisica*; Edizione italiana a cura di Pellegrini G. B., Sauro U., Zanon G., PICCIN, 1984.
- Wilks D. S., *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*; ACADEMIC PRESS, 1995.

Appendice I  
Distribuzione Gamma standard ( $\beta = 1$ ).

$\alpha$	.001	.01	.05	.10	.20	.30	.40	.50	.60	.70	.80	.90	.95	.99	.999
0,05	0,0000	0,0000	0,0000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,077	0,262	1,057	2,423
0,10	0,0000	0,0000	0,0000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,004	0,018	0,070	0,264	0,575	1,554	3,035
0,15	0,0000	0,0000	0,0000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,006	0,021	0,062	0,164	0,442	0,820	1,894	3,439
0,20	0,0000	0,0000	0,0000	0,000	0,002	0,006	0,018	0,044	0,095	0,122	0,265	0,602	1,024	2,164	3,756
0,25	0,0000	0,0000	0,0000	0,000	0,006	0,013	0,034	0,073	0,142	0,257	0,364	0,747	1,203	2,395	4,024
0,30	0,0000	0,0000	0,0000	0,000	0,003	0,013	0,034	0,073	0,142	0,257	0,461	0,882	1,365	2,599	4,262
0,35	0,0000	0,0000	0,0001	0,001	0,007	0,024	0,055	0,108	0,192	0,328	0,556	1,007	1,515	2,785	4,477
0,40	0,0000	0,0000	0,0004	0,002	0,013	0,038	0,080	0,145	0,245	0,398	0,644	1,126	1,654	2,958	4,677
0,45	0,0000	0,0000	0,0010	0,005	0,022	0,055	0,107	0,186	0,300	0,468	0,733	1,240	1,786	3,121	4,863
0,50	0,0000	0,0001	0,0020	0,008	0,032	0,074	0,138	0,228	0,355	0,538	0,819	1,349	1,913	3,274	5,040
0,55	0,0000	0,0002	0,0035	0,012	0,045	0,096	0,170	0,272	0,411	0,607	0,904	1,454	2,034	3,421	5,208
0,60	0,0000	0,0004	0,0057	0,018	0,059	0,120	0,204	0,316	0,467	0,676	0,987	1,556	2,150	3,562	5,370
0,65	0,0000	0,0008	0,0086	0,025	0,075	0,146	0,240	0,362	0,523	0,744	1,068	1,656	2,264	3,698	5,526
0,70	0,0001	0,0013	0,0123	0,033	0,093	0,173	0,276	0,408	0,579	0,811	1,149	1,753	2,374	3,830	5,676
0,75	0,0001	0,0020	0,0168	0,043	0,112	0,201	0,314	0,455	0,636	0,878	1,227	1,848	2,481	3,958	5,822
0,80	0,0003	0,0030	0,0221	0,053	0,132	0,231	0,352	0,502	0,692	0,945	1,305	1,941	2,586	4,083	5,964
0,85	0,0004	0,0044	0,0283	0,065	0,153	0,261	0,391	0,550	0,749	1,010	1,382	2,032	2,689	4,205	6,103
0,90	0,0007	0,0060	0,0353	0,078	0,176	0,292	0,431	0,598	0,805	1,076	1,458	2,122	2,790	4,325	6,239
0,95	0,0010	0,0080	0,0432	0,091	0,199	0,324	0,471	0,646	0,861	1,141	1,533	2,211	2,888	4,441	6,373
1,00	0,0014	0,0105	0,0517	0,106	0,224	0,357	0,512	0,694	0,918	1,206	1,607	2,298	2,986	4,556	6,503
1,05	0,0019	0,0133	0,0612	0,121	0,249	0,391	0,553	0,742	0,974	1,270	1,681	2,384	3,082	4,669	6,631
1,10	0,0022	0,0166	0,0713	0,138	0,275	0,425	0,594	0,791	1,030	1,334	1,759	2,469	3,177	4,781	6,757
1,15	0,0023	0,0202	0,0823	0,155	0,301	0,459	0,636	0,840	1,086	1,397	1,831	2,553	3,270	4,890	6,881
1,20	0,0024	0,0240	0,0938	0,173	0,329	0,494	0,678	0,899	1,141	1,460	1,903	2,636	3,362	4,998	7,003
1,25	0,0031	0,0271	0,1062	0,191	0,357	0,530	0,720	0,938	1,197	1,523	1,974	2,719	3,453	5,105	7,124
1,30	0,0037	0,0321	0,1192	0,210	0,385	0,566	0,763	0,987	1,253	1,586	2,045	2,800	3,544	5,211	7,242
1,35	0,0044	0,0371	0,1328	0,230	0,414	0,602	0,806	1,036	1,308	1,649	2,115	2,881	3,633	5,314	7,360
1,40	0,0054	0,0432	0,1451	0,250	0,443	0,639	0,849	1,085	1,364	1,711	2,185	2,971	3,722	5,418	7,476
1,45	0,0066	0,0493	0,1598	0,272	0,473	0,676	0,892	1,135	1,419	1,773	2,255	3,041	3,809	5,519	7,590
1,50	0,0083	0,0560	0,1747	0,293	0,504	0,713	0,935	1,184	1,474	1,834	2,324	3,120	3,897	5,620	7,704
1,55	0,0106	0,0632	0,1908	0,313	0,534	0,750	0,979	1,234	1,530	1,896	2,392	3,199	3,983	5,720	7,816
1,60	0,0136	0,0708	0,2070	0,336	0,565	0,788	1,023	1,283	1,585	1,957	2,461	3,276	4,068	5,818	7,928

1,65	0,0177	0,0780	0,2238	0,359	0,597	0,826	1,067	1,333	1,640	2,018	2,529	3,354	4,153	5,917	8,038
1,70	0,0232	0,0867	0,2411	0,382	0,628	0,865	1,111	1,382	1,695	2,079	2,597	3,431	4,237	6,014	8,147
1,75	0,0306	0,0958	0,2588	0,406	0,661	0,903	1,155	1,432	1,750	2,140	2,664	3,507	4,321	6,110	8,255
1,80	0,0360	0,1041	0,2771	0,430	0,693	0,942	1,199	1,481	1,805	2,200	2,731	3,584	4,405	6,207	8,362
1,85	0,0406	0,1145	0,2958	0,454	0,726	0,980	1,244	1,531	1,860	2,261	2,798	3,659	4,487	6,301	8,469
1,90	0,0447	0,1243	0,3142	0,479	0,759	1,020	1,288	1,580	1,915	2,321	2,865	3,735	4,569	6,396	8,575
1,95	0,0486	0,1361	0,3338	0,505	0,790	1,059	1,333	1,630	1,969	2,381	2,931	3,809	4,651	6,490	8,679
2,00	0,0525	0,1514	0,3537	0,530	0,823	1,099	1,378	1,680	2,024	2,442	2,997	3,883	4,732	6,582	8,783
2,05	0,0565	0,1637	0,3741	0,556	0,857	1,138	1,422	1,729	2,079	2,501	3,063	3,958	4,813	6,675	8,887
2,10	0,0657	0,1751	0,3949	0,583	0,891	1,178	1,467	1,779	2,133	2,561	3,129	4,032	4,894	6,767	8,989
2,15	0,0697	0,1864	0,4149	0,610	0,925	1,218	1,512	1,829	2,188	2,620	3,195	4,105	4,973	6,858	9,091
2,20	0,0740	0,2002	0,4365	0,637	0,959	1,258	1,557	1,879	2,242	2,680	3,260	4,179	5,053	6,949	9,193
2,25	0,0854	0,2116	0,4584	0,664	0,994	1,298	1,603	1,928	2,297	2,739	3,325	4,252	5,132	7,039	9,294
2,30	0,0898	0,2259	0,4807	0,691	1,029	1,338	1,648	1,978	2,351	2,799	3,390	4,324	5,211	7,129	9,394
2,35	0,0945	0,2378	0,5023	0,718	1,064	1,379	1,693	2,028	2,405	2,858	3,455	4,396	5,289	7,219	9,493
2,40	0,0996	0,2526	0,5244	0,747	1,099	1,420	1,738	2,078	2,459	2,917	3,519	4,468	5,367	7,308	9,592
2,45	0,1134	0,2680	0,5481	0,775	1,134	1,460	1,784	2,127	2,514	2,976	3,584	4,540	5,445	7,397	9,691
2,50	0,1184	0,2803	0,5754	0,804	1,170	1,500	1,829	2,178	2,568	3,035	3,648	4,612	5,522	7,484	9,789
2,55	0,1239	0,2962	0,5978	0,833	1,205	1,539	1,875	2,227	2,622	3,093	3,712	4,683	5,600	7,572	9,886
2,60	0,1297	0,3129	0,6211	0,862	1,241	1,581	1,920	2,277	2,676	3,152	3,776	4,754	5,677	7,660	9,983
2,65	0,1468	0,3255	0,6456	0,890	1,277	1,622	1,966	2,327	2,730	3,210	3,840	4,825	5,753	7,746	10,079
2,70	0,1523	0,3426	0,6705	0,920	1,314	1,663	2,011	2,376	2,784	3,259	3,903	4,896	5,830	7,833	10,176
2,75	0,1583	0,3561	0,6938	0,950	1,350	1,704	2,058	2,427	2,838	3,328	3,967	4,966	5,906	7,919	10,272
2,80	0,1647	0,3735	0,7188	0,980	1,386	1,746	2,103	2,476	2,892	3,386	4,030	5,040	5,982	8,004	10,366
2,85	0,1861	0,3919	0,7441	1,009	1,423	1,787	2,149	2,526	2,946	3,444	4,093	5,120	6,058	8,090	10,461
2,90	0,1919	0,4056	0,7697	1,040	1,460	1,829	2,195	2,576	2,999	3,502	4,156	5,190	6,133	8,175	10,556
2,95	0,1982	0,4242	0,7936	1,070	1,497	1,871	2,241	2,626	3,054	3,560	4,220	5,260	6,208	8,260	10,649
3,00	0,2050	0,4388	0,8193	1,101	1,534	1,913	2,287	2,676	3,108	3,618	4,283	5,329	6,283	8,345	10,743
3,05	0,2123	0,4577	0,8454	1,134	1,571	1,954	2,333	2,726	3,161	3,676	4,346	5,398	6,357	8,429	10,837
3,10	0,2385	0,4778	0,8717	1,165	1,607	1,996	2,378	2,776	3,215	3,734	4,408	5,468	6,432	8,513	10,930
3,15	0,2447	0,4922	0,8982	1,197	1,645	2,038	2,425	2,825	3,268	3,792	4,471	5,537	6,506	8,596	11,023
3,20	0,2514	0,5125	0,9251	1,227	1,682	2,080	2,471	2,875	3,322	3,850	4,533	5,605	6,580	8,680	11,113
3,25	0,2588	0,5278	0,9498	1,259	1,720	2,123	2,517	2,925	3,376	3,907	4,595	5,675	6,654	8,763	11,205
3,30	0,2667	0,5483	0,9767	1,291	1,758	2,165	2,563	2,975	3,430	3,965	4,658	5,743	6,727	8,845	11,298
3,35	0,2995	0,5704	1,0039	1,323	1,796	2,207	2,610	3,025	3,483	4,022	4,720	5,811	6,801	8,928	11,389
3,40	0,3057	0,5850	1,0313	1,354	1,834	2,250	2,656	3,075	3,537	4,079	4,782	5,879	6,874	9,010	11,480

3.45	0,3126	0,6072	1,0590	1,386	1,872	2,292	2,702	3,125	3,590	4,137	4,843	5,948	6,947	9,093	11,570
3.50	0,3201	0,6228	1,0870	1,418	1,910	2,334	2,748	3,175	3,644	4,194	4,905	6,015	7,020	9,174	11,660
3.55	0,3282	0,6450	1,1152	1,451	1,948	2,377	2,795	3,225	3,697	4,252	4,967	6,084	7,092	9,255	11,749
3.60	0,3370	0,6614	1,1405	1,483	1,985	2,420	2,841	3,274	3,750	4,309	5,028	6,152	7,165	9,337	11,840
3.65	0,3767	0,6837	1,1687	1,516	2,024	2,462	2,887	3,324	3,804	4,366	5,091	6,219	7,237	9,418	11,929
3.70	0,3830	0,7084	1,1972	1,549	2,062	2,505	2,934	3,374	3,858	4,423	5,152	6,286	7,310	9,499	12,017
3.75	0,3900	0,7233	1,2259	1,582	2,101	2,547	2,980	3,425	3,911	4,480	5,214	6,354	7,381	9,579	12,107
3.80	0,3978	0,7480	1,2549	1,613	2,140	2,590	3,027	3,474	3,964	4,537	5,275	6,420	7,454	9,659	12,195
3.85	0,4064	0,7637	1,2843	1,646	2,179	2,633	3,073	3,524	4,018	4,594	5,336	6,488	7,525	9,740	12,284
3.90	0,4157	0,7883	1,3101	1,680	2,218	2,676	3,120	3,574	4,071	4,651	5,397	6,555	7,596	9,820	12,371
3.95	0,4259	0,8049	1,3393	1,713	2,257	2,719	3,163	3,624	4,124	4,708	5,458	6,622	7,668	9,900	12,459
4.00	0,4712	0,8294	1,3687	1,746	2,295	2,762	3,209	3,674	4,177	4,765	5,519	6,689	7,739	9,980	12,546
4.05	0,4779	0,8469	1,3984	1,780	2,334	2,805	3,256	3,724	4,231	4,822	5,580	6,755	7,811	10,059	12,634
4.10	0,4853	0,8714	1,4285	1,814	2,373	2,848	3,302	3,774	4,284	4,879	5,641	6,821	7,882	10,137	12,721
4.15	0,4937	0,8999	1,4551	1,848	2,413	2,891	3,350	3,823	4,337	4,936	5,701	6,888	7,952	10,216	12,807
4.20	0,5030	0,9141	1,4850	1,882	2,451	2,935	3,396	3,874	4,390	4,992	5,762	6,954	8,023	10,295	12,894
4.25	0,5133	0,9424	1,5150	1,916	2,491	2,978	3,443	3,924	4,444	5,049	5,823	7,020	8,093	10,374	12,981
4.30	0,5244	0,9575	1,5454	1,950	2,531	3,021	3,489	3,974	4,497	5,105	5,883	7,086	8,170	10,453	13,066
4.35	0,5779	0,9856	1,5762	1,985	2,572	3,065	3,537	4,024	4,550	5,162	5,944	7,153	8,264	10,531	13,452
4.40	0,5842	1,0016	1,6034	2,017	2,612	3,108	3,584	4,074	4,603	5,218	6,005	7,219	8,334	10,609	13,238
4.45	0,5916	1,0294	1,6339	2,051	2,653	3,152	3,630	4,012	4,656	5,274	6,065	7,284	8,405	10,687	13,324
4.50	0,6001	1,0463	1,6646	2,085	2,691	3,195	3,677	4,173	4,709	5,331	6,126	7,350	8,475	10,765	13,410
4.55	0,6096	1,0739	1,6956	2,120	2,731	3,239	3,724	4,223	4,762	5,387	6,186	7,415	8,544	10,843	13,495
4.60	0,6201	1,0917	1,7271	2,155	2,771	3,283	3,771	4,273	4,815	5,443	6,246	7,480	8,615	10,920	13,578
4.65	0,6319	1,1191	1,7547	2,190	2,812	3,326	3,817	4,323	4,868	5,501	6,306	7,546	8,684	10,998	13,663
4.70	0,6978	1,1378	1,7857	2,225	2,852	3,369	3,864	4,373	4,921	5,557	6,366	7,601	8,754	11,075	13,748
4.75	0,7031	1,1649	1,8170	2,260	2,890	3,412	3,911	4,423	4,974	5,613	6,426	7,676	8,823	11,152	13,832
4.80	0,7095	1,1844	1,8487	2,295	2,930	3,456	3,958	4,474	5,027	5,669	6,486	7,742	8,892	11,229	13,916
4.85	0,7172	1,2113	1,8809	2,330	2,970	3,500	4,005	4,524	5,081	5,725	6,546	7,807	8,962	11,306	14,000
4.90	0,7262	1,2465	1,9088	2,366	3,011	3,544	4,052	4,573	5,134	5,781	6,606	7,872	9,031	11,382	14,084
4.95	0,7365	1,2582	1,9403	2,398	3,051	3,588	4,099	4,623	5,186	5,837	6,665	7,937	9,100	11,457	14,168
5.00	0,7482	1,2931	1,9722	2,434	3,091	3,632	4,146	4,673	5,239	5,893	6,725	8,002	9,169	11,534	14,251



### Appendice III

Variazioni della riserva d'acqua nel suolo in funzione dei deficit pluviometrici cumulati.

<i>Deficit pluviometrico cumulato</i>	A	B	C	D
0	100	150	200	250
20	81	131	181	231
40	66	114	163	213
60	54	100	148	196
80	44	87	133	181
100	36	76	120	167
120	29	66	109	154
140	24	58	98	142
160	19	51	89	131
180	16	44	80	121
200	13	39	73	111
220	10	34	66	103
240	8	30	59	95
260	7	26	54	87
280	6	22	48	81
300	5	20	44	74
320	4	17	40	69
340	3	15	36	63
360	2	13	32	58
380	2	11	29	54
400	2	10	26	50
420	1	9	24	46
440	1	8	22	42
460	1	7	20	39
480	1	6	18	36
500	1	5	16	33
550		4	12	27
600		3	10	22
650		2	7	18
700		1	6	15
750		1	5	12
800			4	10
900			4	6
1000			1	4

La riserva d'acqua iniziale è stata convenzionalmente fissata a: A, 100 mm; B, 150 mm; C, 200 mm; D, 250 mm.

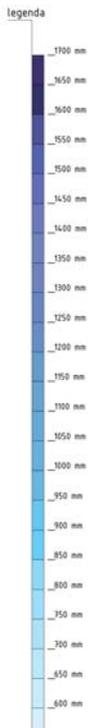
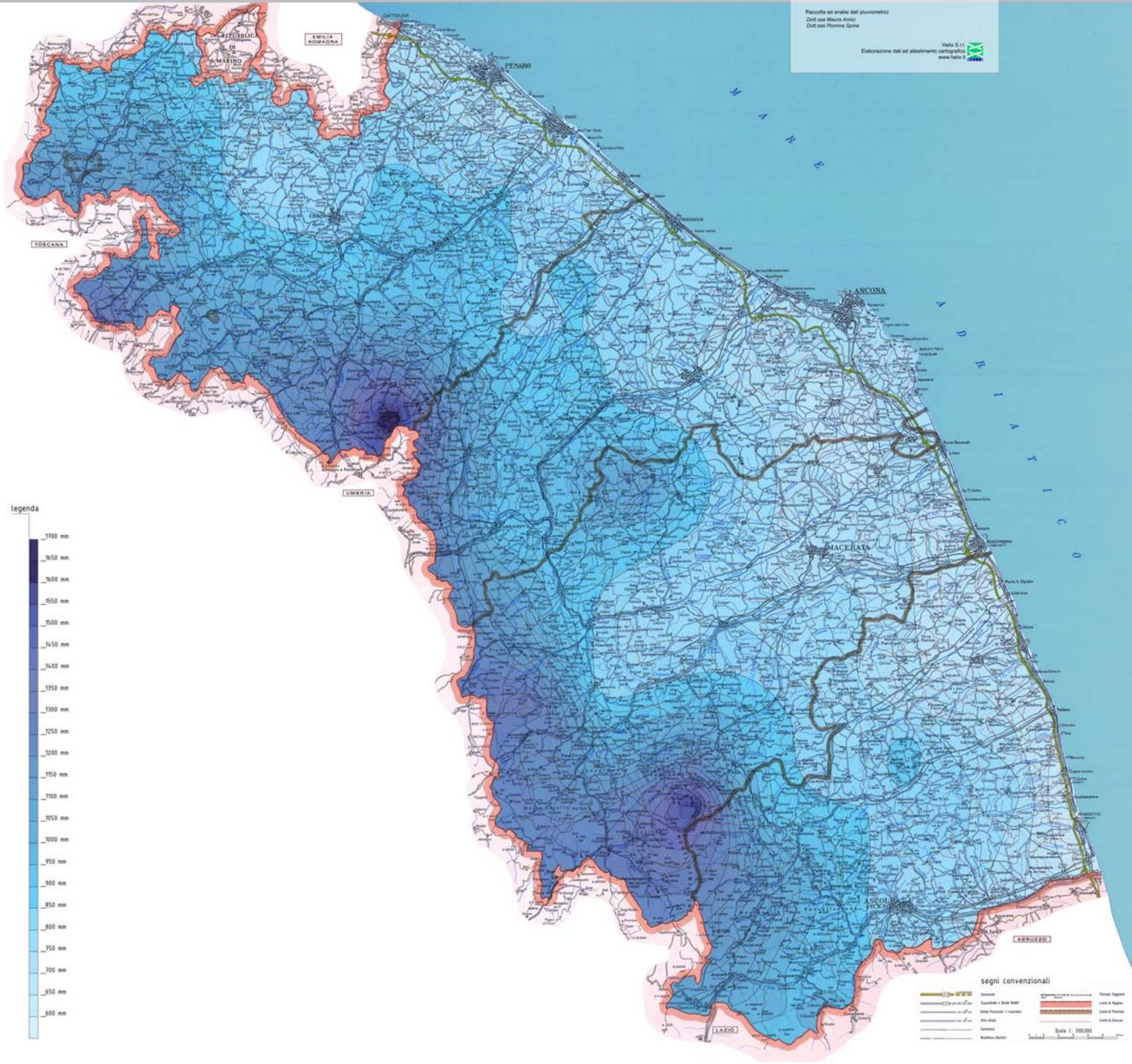


# Carta della precipitazione media annuale sulle Marche del periodo 1950-1989



Raccolta ed analisi dati pluviometrici  
Oss. aut. Marche Ancon.  
Oss. aut. Marche Spina

Nella S.11  
Elaborazione dati ed allestimento cartografico:



segni convenzionali

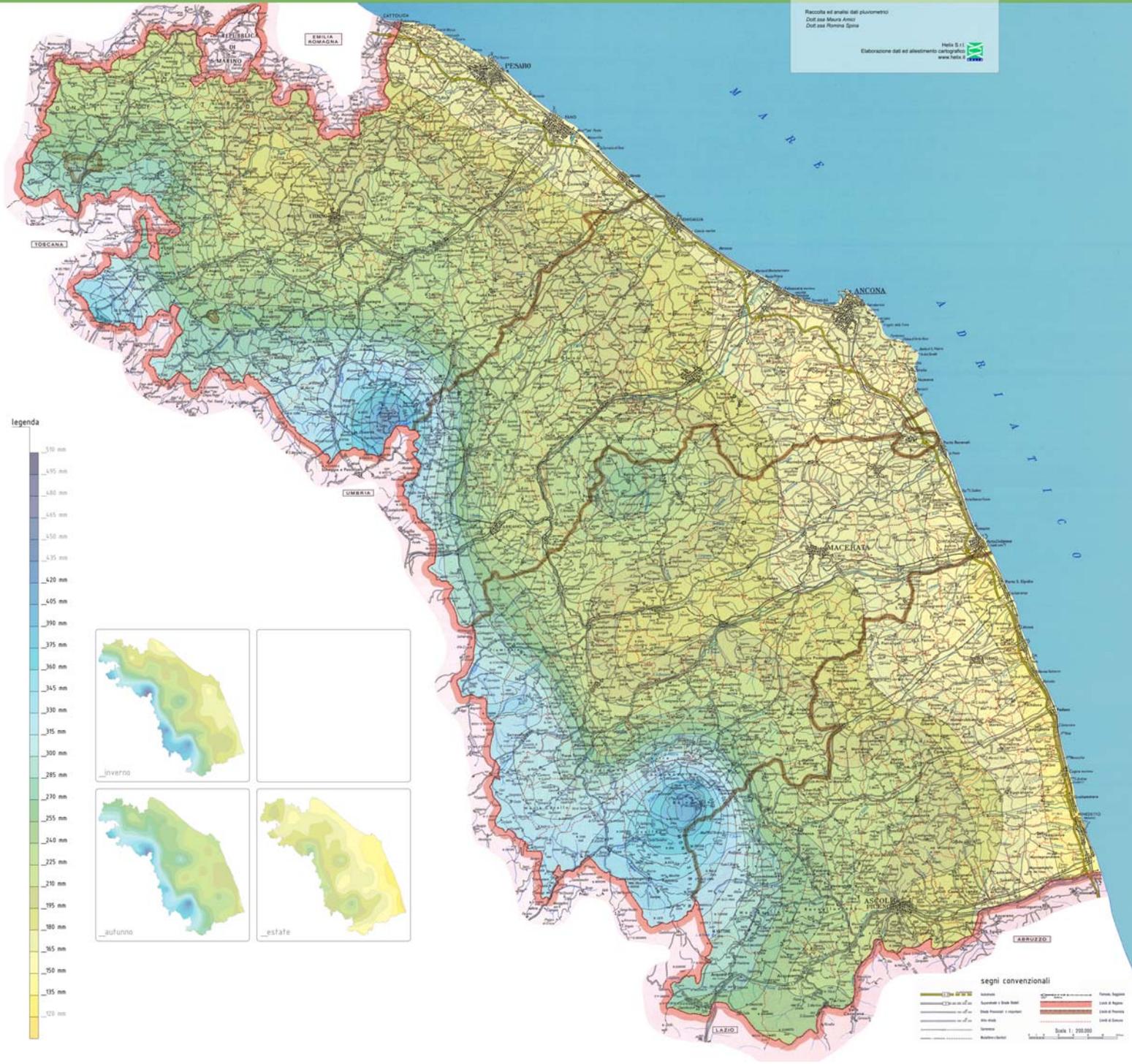
	Strada Nazionale		Strada Regionale
	Strada Provinciale		Strada Statale
	Ferrovia		Acquedotto
	Fiume		Lago
	Lago		Diga
	Diga		Diga

Scala 1: 200.000

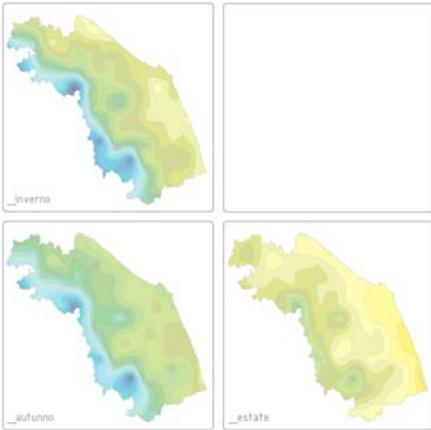
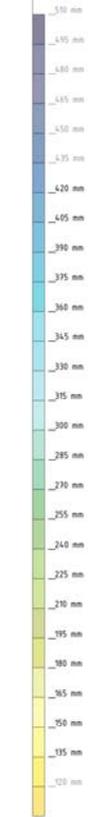
# Carta della precipitazione media primaverile sulle Marche del periodo 1950-1989



Raccolta ed analisi dati pluviometrici  
 Dat. est. Marche Anon.  
 Dat. est. Marche Spaz.  
 Nella S.11  
 Elaborazione dati ed allestimento cartografico:



legenda



**segni convenzionali**

	Railway		Road
	River		Coastline
	Lake		Border
	City		Province border

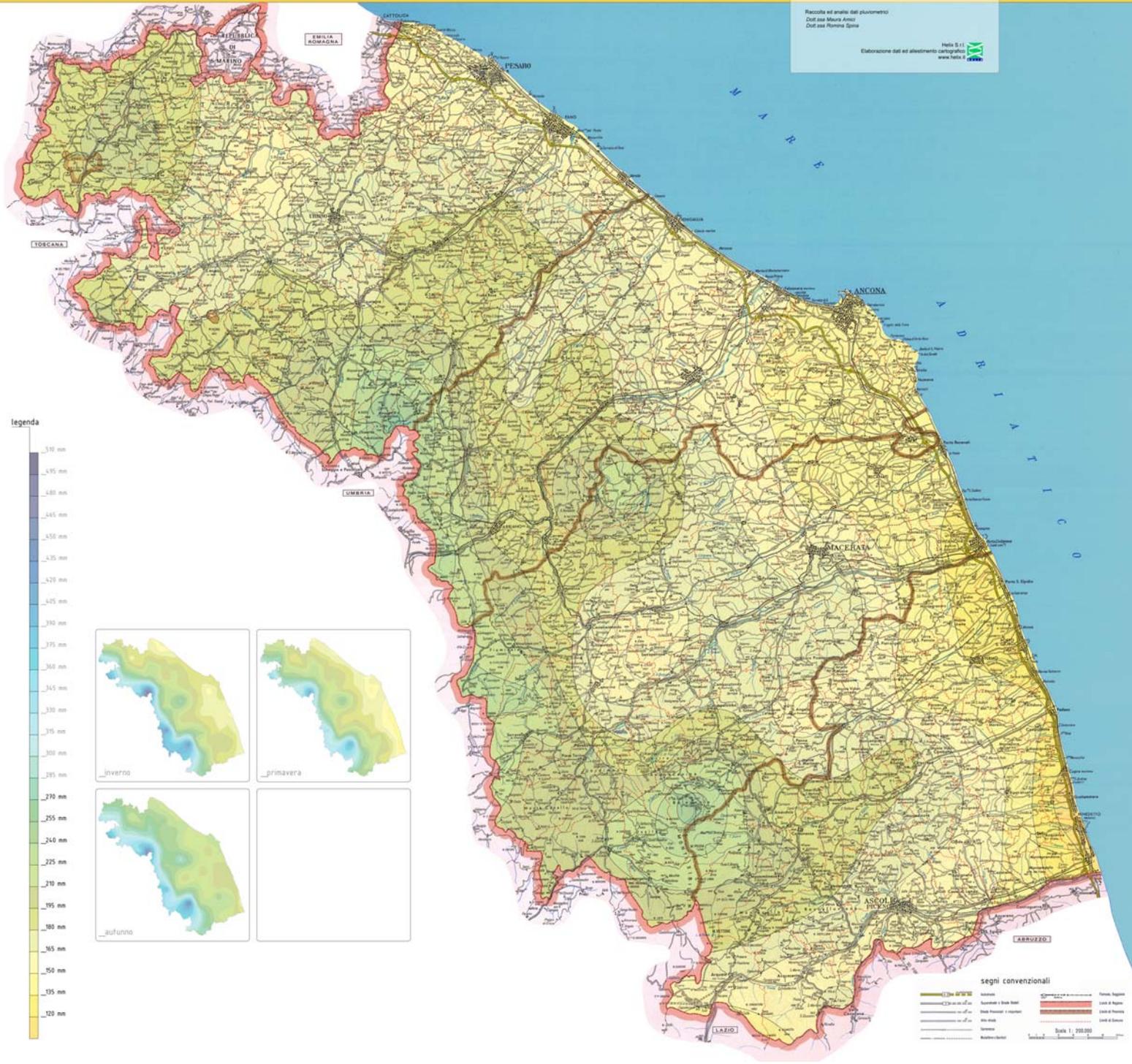
Scala 1: 200.000

# Carta della precipitazione media estiva sulle Marche del periodo 1950-1989

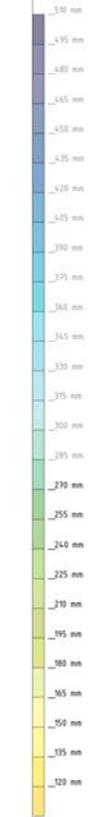


Raccolta ed analisi dati pluviometrici  
 Dat. est Marche Anon  
 Dat. est Marche Spine

Nella S.1  
 Elaborazione dati ed allestimento cartografico



legenda



segni convenzionali

	Province, Regioni
	Strade Nazionali
	Strade Regionali
	Strade Provinciali
	Strade Comunali
	Linee Ferroviarie
	Acque
	Foreste
	Urbanizzazione

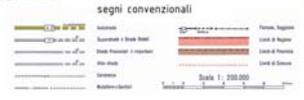
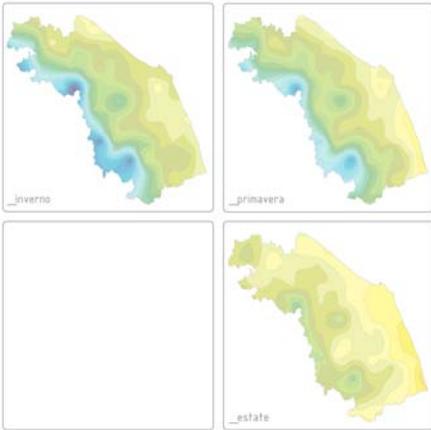
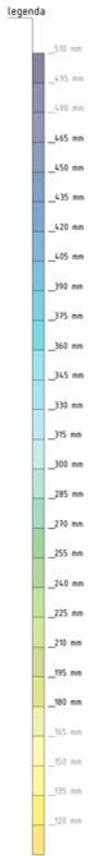
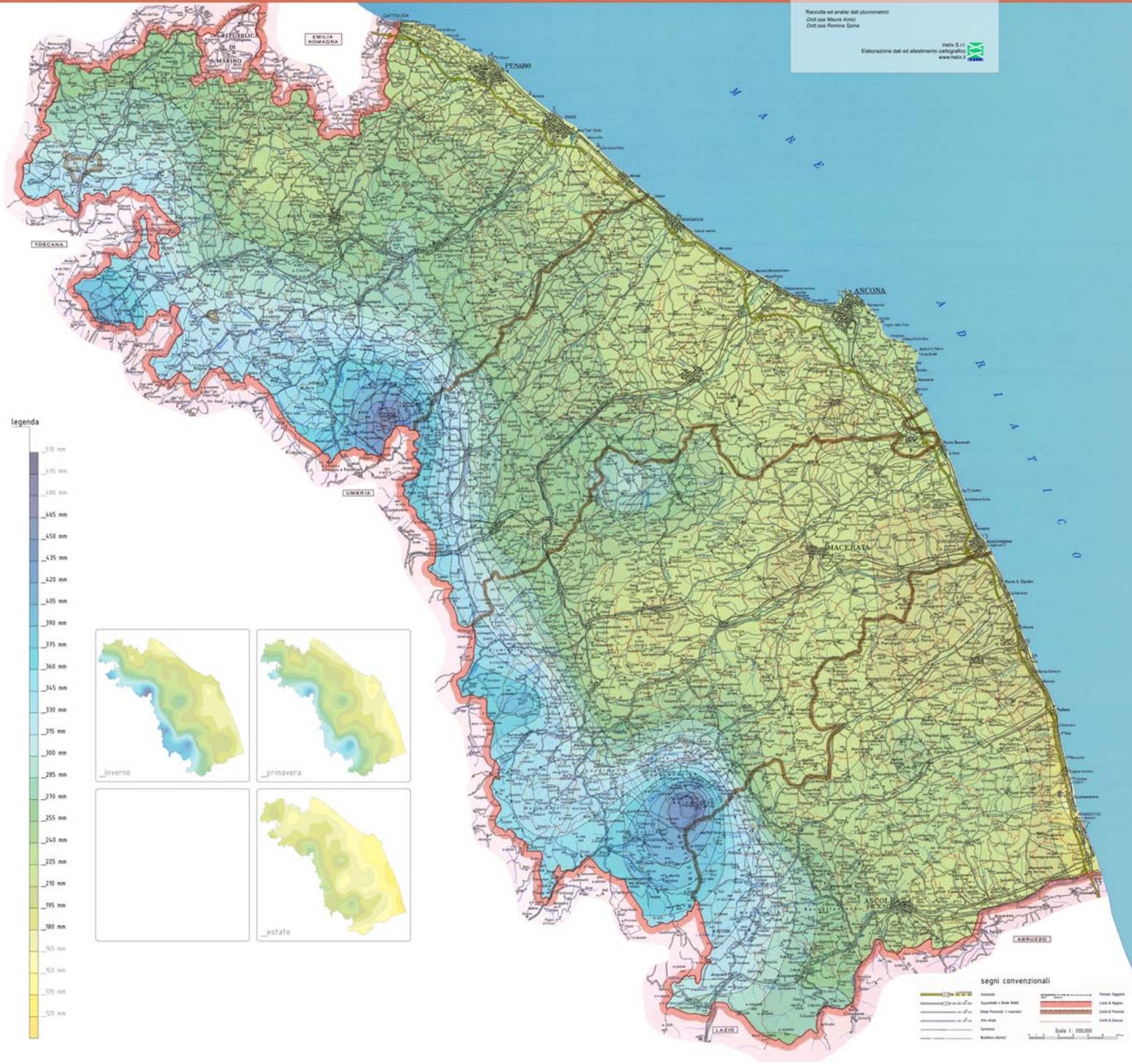
Scala 1 : 200.000

# Carta della precipitazione media autunnale sulle Marche del periodo 1950-1989



Raccolta ed analisi dati pluviometrici  
 Dati 1950-1989 Anno  
 Dati 1950-1989 Spazi

Elaborazione dati ed allestimento cartografico  
 Nella S. 11  
 www.igeo.it

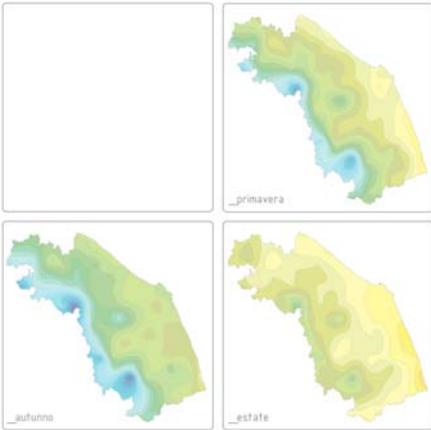
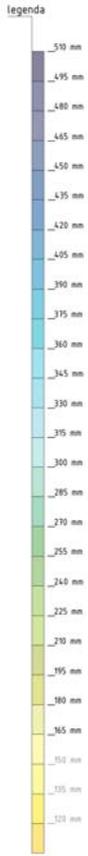
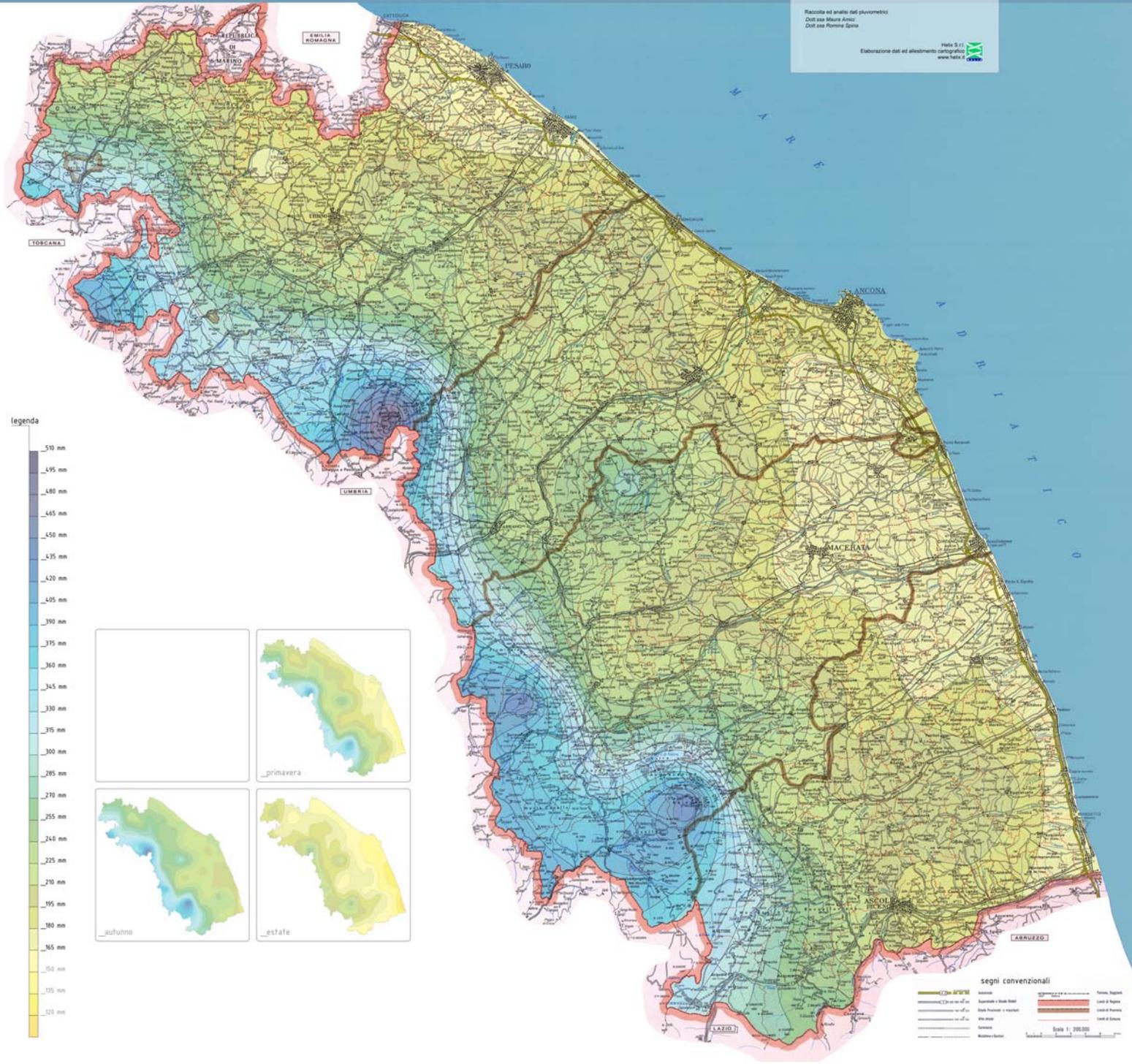


# Carta della precipitazione media invernale sulle Marche del periodo 1950-1989

**Centro di Ecologia e Climatologia**  
 UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI ANCONA

Raccolta ed analisi dati pluviometrici  
 Dott.ssa Maria Amici  
 Dott.ssa Romina Spina

Foglio G.11  
 Elaborazione dati ed allestimento cartografico  
 www.helix.it



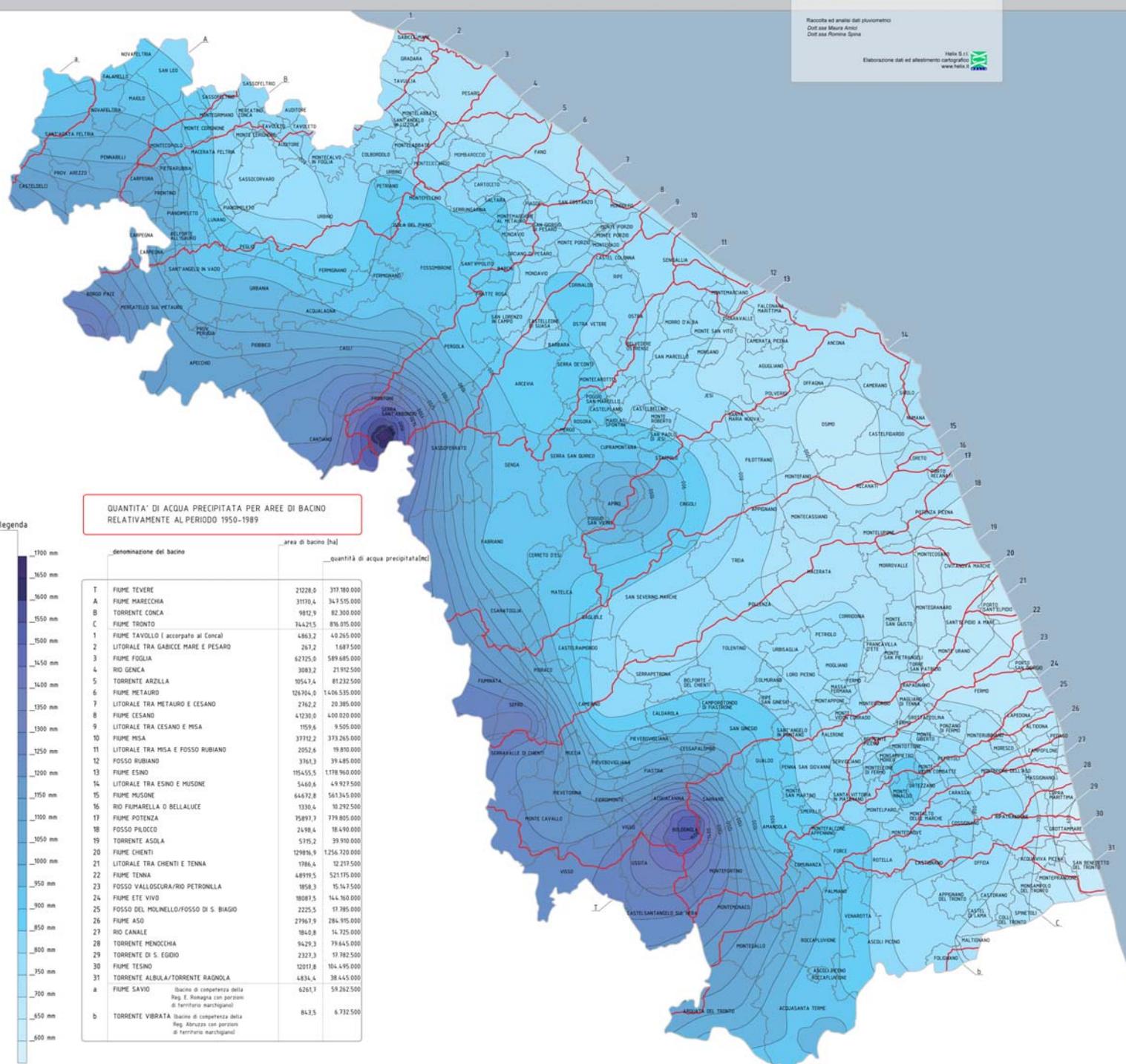
**segni convenzionali**

	Province		Capitale Regionale
	Strada Nazionale		Strada Regionale
	Strada Statale		Strada Provinciale
	Ferrovie		Acquedotti
	Acquedotti		Fiumi
	Fiumi		Laghi
	Laghi		Paludi
	Paludi		Boschi
	Boschi		Centri Urbani
	Centri Urbani		Confini Regionali

Scala 1: 200.000

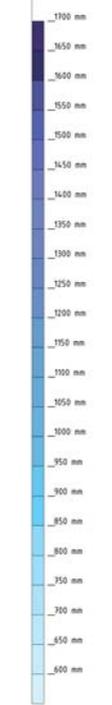
# Campo medio della precipitazione annuale sui bacini idrografici delle Marche del periodo 1950-1989

**Centro di Ecologia e Climatologia**  
 INSTITUTO GEOGRAFICO UNIVERSITARIO MARCHE  
 Raccolta ed analisi dati pluviometrici  
 Out. sez. Monte Amaro  
 Out. sez. Roma Spina  
 Nella S. 11  
 Elaborazione dati ed allestimento cartografia  
 www.ice.univpm.it



QUANTITA' DI ACQUA PRECIPITATA PER AREE DI BACINO RELATIVAMENTE AL PERIODO 1950-1989

legenda



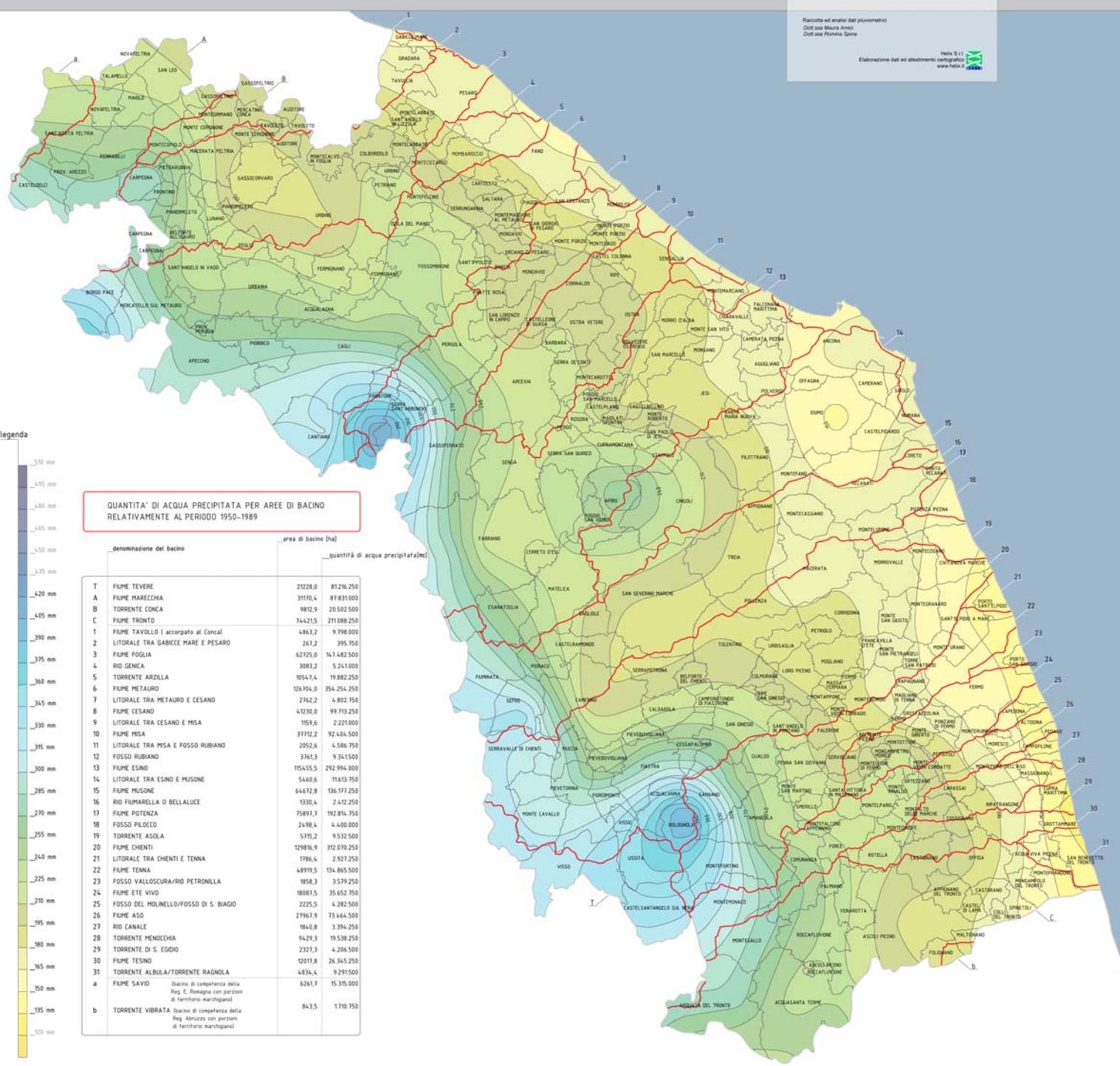
denominazione del bacino	area di bacino [ha]	quantità di acqua precipitata[mm]
T FIUME TEVERE	21228,0	317.180.000
A FIUME MARECCHIA	31170,4	34.7515.000
B TORRENTE CONCA	9812,9	82.300.000
C FIUME TRONTO	74.421,5	876.015.000
1 FIUME TAVOLLO (accorpato al Conca)	4863,2	4.0265.000
2 LITORALE TRA GABICCE MARE E PESARO	261,2	1.687.500
3 FIUME FOGGIA	62725,0	589.685.000
4 RIO GENICA	3083,2	21.912.500
5 TORRENTE ARZELLA	10547,4	81.232.500
6 FIUME METAURO	12934,0	1.406.535.000
7 LITORALE TRA METAURO E CESANO	2762,2	20.385.000
8 FIUME CESANO	47230,0	4.000.020.000
9 LITORALE TRA CESANO E MSA	1959,6	9.505.000
10 FIUME MSA	37710,2	313.265.000
11 LITORALE TRA MISA E FOSSO RUBIANO	2952,6	19.810.000
12 FOSSO RUBIANO	3764,3	39.485.000
13 FIUME ESINO	115.555,5	1178.960.000
14 LITORALE TRA ESINO E MUSONE	5440,8	4.927.500
15 FIUME MUSONE	64472,8	561.345.000
16 RIO FUMARELLA D BELLALUZE	1330,4	10.292.500
17 FIUME POTENZA	25891,7	779.805.000
18 FOSSO PILOCCO	2498,4	18.490.000
19 TORRENTE ASOLA	5715,2	39.910.000
20 FIUME CHIENTI	129816,9	1256.720.000
21 LITORALE TRA CHIENTI E TENNA	1786,4	12.217.500
22 FIUME TENNA	48919,5	521.115.000
23 FOSSO VALLOSCURA/RIO PETRONILLA	1858,3	15.167.500
24 FIUME ETE VIVO	18081,5	144.160.000
25 FOSSO DEL MOLINELLO/FOSSO DI S. BIAGIO	2225,5	17.785.000
26 FIUME ASO	27967,9	284.915.000
27 RIO CANALE	1840,8	14.725.000
28 TORRENTE MENCOCHEA	9429,3	79.645.000
29 TORRENTE DI S. EGIO	2327,3	17.782.500
30 FIUME TESINO	12017,8	104.495.000
31 TORRENTE ALBULA/TORRENTE RAINOLA	4834,4	38.445.000
a FIUME SAVIO (Bacino di competenza della Reg. L. Romagna con porzioni di territorio marchigiani)	6261,7	59.262.500
b TORRENTE VIBRATA (Bacino di competenza della Reg. Abruzzo con porzioni di territorio marchigiani)	843,5	6.732.500

# Campo medio della precipitazione primaverile sui bacini idrografici delle Marche del periodo 1950-1989

**Centro di Ecologia e Climatologia**  
 UNIVERSITÀ DEL SALENTO - LEZIONE S. GIUSEPPE

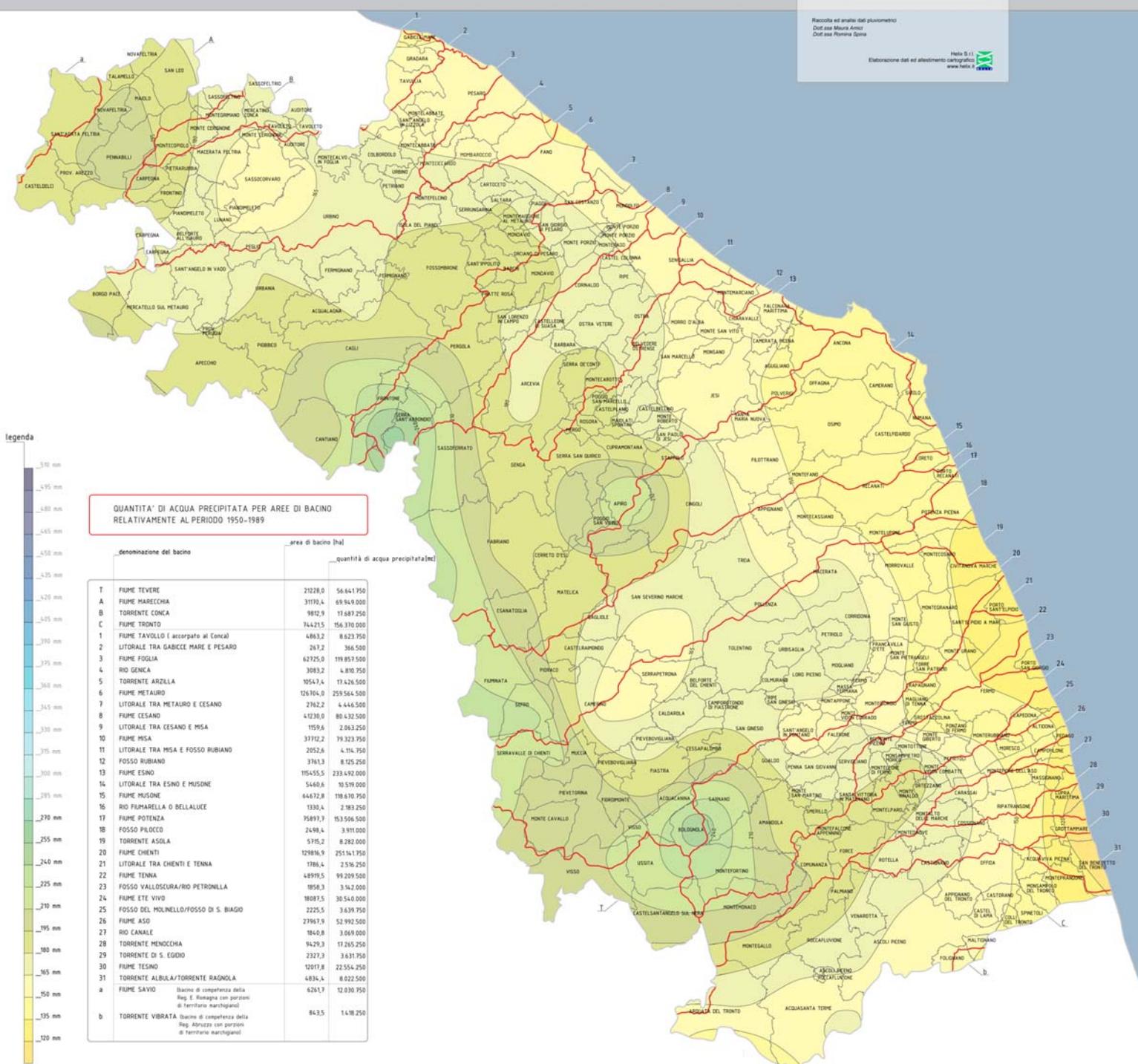
Raccolta ed analisi dati pluviometrici  
 Oct. 2001 Mauro Amici  
 Oct. 2002 Flaminia Spina

Elaborazione dati ed allestimento cartografia  
 Nella S. C.  
 www.net.it



# Campo medio della precipitazione estiva sui bacini idrografici delle Marche del periodo 1950-1989

Raccolta ed analisi dati pluviometrici  
Dati dal 1950 Anno  
Dati dal 1989 Anno  
Elaborazione dati ed allestimento cartografia  
Nella S.11  
www.feltr.it



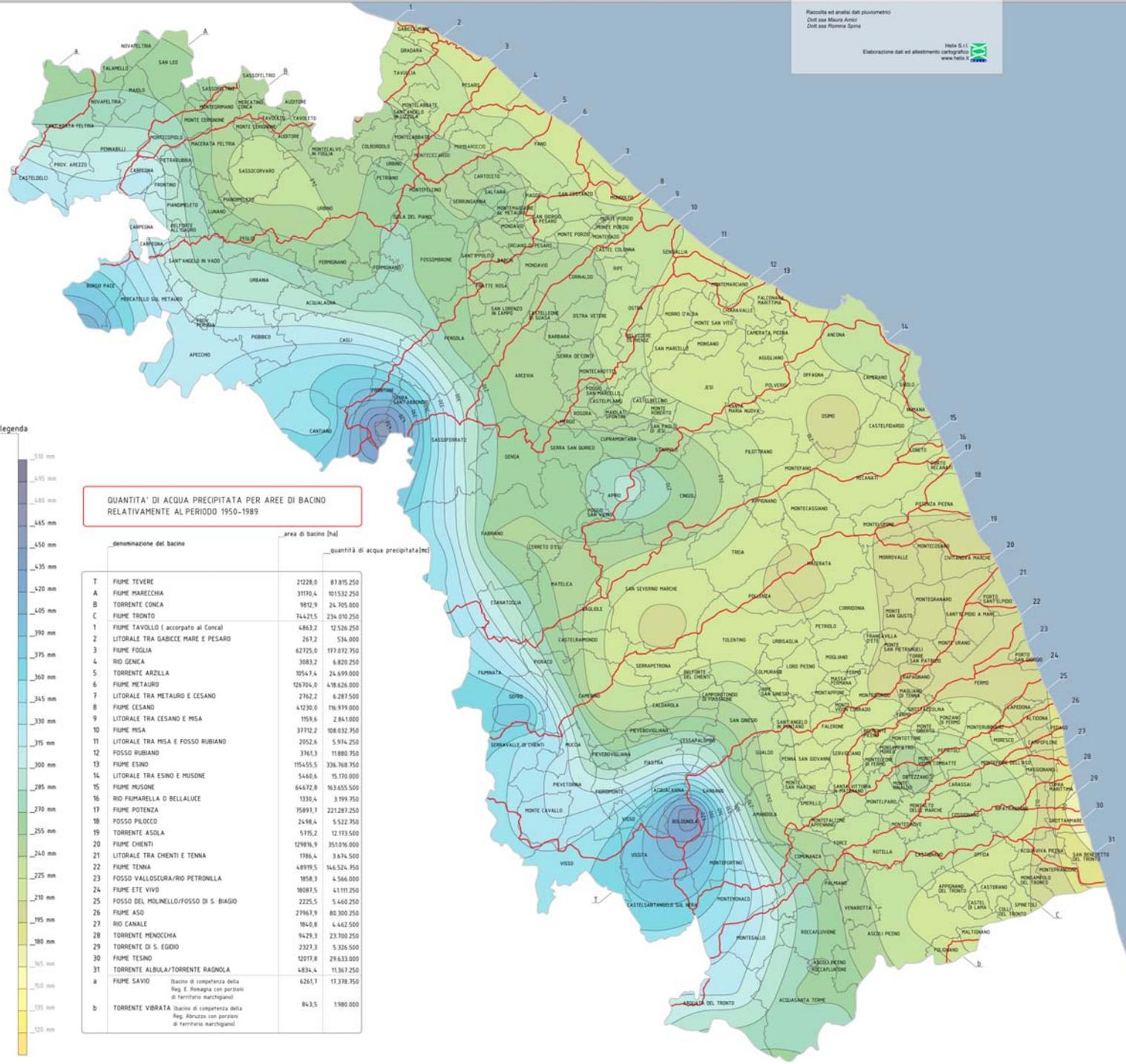
QUANTITA' DI ACQUA PRECIPITATA PER AREE DI BACINO  
RELATIVAMENTE AL PERIODO 1950-1989

denominazione del bacino	area di bacino (ha)	quantità di acqua precipitata(m)
T FIUME TEVERE	21228,0	56.641.950
A FIUME MARECCHIA	31170,4	69.949.000
B TORRENTE CONCA	9812,9	17.687.250
C FIUME TRONTO	74.215,0	156.370.000
1 FIUME TAVOLLO (accorpato al Conca)	4.863,2	8.623.750
2 LITORALE TRA GABICCE MARE E PESARO	267,2	366.500
3 FIUME FOGGIA	62725,0	119.857.500
4 RIO GENICA	3083,2	4.110.750
5 TORRENTE ARZELLA	10547,4	17.426.500
6 FIUME METAURO	126104,0	259.564.500
7 LITORALE TRA METAURO E CESANO	2782,2	4.446.500
8 FIUME CESANO	41230,0	80.432.500
9 LITORALE TRA CESANO E MSA	1059,6	2.063.250
10 FIUME MSA	37102,2	79.323.750
11 LITORALE TRA MSA E FOSSO RUBIANO	2052,6	4.116.750
12 FOSSO RUBIANO	3764,3	8.125.250
13 FIUME ESINO	154.555,5	233.472.000
14 LITORALE TRA ESINO E MUSONE	5440,8	10.510.000
15 FIUME MUSONE	64.472,8	108.670.750
16 RIO FUMARELLA O BELLALUZE	130,4	2.183.250
17 FIUME POTENZA	75877,7	153.506.500
18 FOSSO PILOCCO	2498,4	3.911.000
19 TORRENTE ASOLA	5195,2	8.282.000
20 FIUME CHIENTI	129816,9	251.141.750
21 LITORALE TRA CHIENTI E TENNA	1786,4	2.516.250
22 FIUME TENNA	48919,5	99.209.500
23 FOSSO VALLOSICURA/RIO PETRONELLA	1858,3	3.342.000
24 FIUME ETE VIVO	18087,5	30.630.000
25 FOSSO DEL MOLINELLO/FOSSO DI S. BIAGIO	2225,5	3.639.750
26 FIUME ASD	27967,9	52.992.500
27 RIO CANALE	1840,8	3.069.000
28 TORRENTE MENCOCHEA	9429,3	17.265.250
29 TORRENTE DI S. EGIDIO	2327,3	3.631.750
30 FIUME TESNO	12017,8	22.554.250
31 TORRENTE ALBULA/TORRENTE RAINOLA	4834,4	8.022.500
a FIUME SAVIO <small>Bacino di competenza della Reg. Abruzzo con porzioni di territorio marchigiani</small>	62917	12.030.750
b TORRENTE VIBRATA <small>Bacino di competenza della Reg. Abruzzo con porzioni di territorio marchigiani</small>	8435	14.118.250

# Campo medio della precipitazione autunnale sui bacini idrografici delle Marche del periodo 1950-1989

Raccolta ed analisi dati pluviometrici  
 Out. sez. Marche Anni  
 Out. sez. Roma Sp. 1950-1989

Nella G. 1  
 Elaborazione dati ed allestimento cartografico  
 www.icec.univpm.it



QUANTITA' DI ACQUA PRECIPITATA PER AREE DI BACINO RELATIVAMENTE AL PERIODO 1950-1989

denominazione del bacino	area di bacino [ha]	quantità di acqua precipitata [mm]
T FIUME TEVERE	21228,0	87.815.250
A FIUME MARECCHIA	31110,4	101532.250
B TORRENTE CONCA	9812,9	24.705.000
C FIUME TRONTO	74.215,5	234.010.250
1 FIUME TAVOLLO (accorpato al Conca)	4863,2	12.526.250
2 LITORALE TRA GABICCE MARE E PESARO	267,2	534.000
3 FIUME FOGGIA	62725,0	177.072.750
4 RIO GENICA	3083,2	6.820.250
5 TORRENTE ARZELLA	10547,4	24.499.000
6 FIUME METAURO	125704,0	418.426.000
7 LITORALE TRA METAURO E CESANO	27862,2	6.287.500
8 FIUME CESANO	47230,0	116.979.000
9 LITORALE TRA CESANO E MSA	1759,6	2.841.000
10 FIUME MSA	37712,2	108.032.750
11 LITORALE TRA MISA E FOSSO RUBIANO	2052,6	5.974.250
12 FOSSO RUBIANO	3761,3	11.880.750
13 FIUME ESINO	154.555,5	336.768.750
14 LITORALE TRA ESINO E MUSONE	5446,6	15.170.000
15 FIUME MUSONE	64372,8	163.655.500
16 RIO FIUMARELLA D BELLALUZE	1330,4	3.199.750
17 FIUME POTENZA	15897,3	221.287.250
18 FOSSO PILOCCO	24.984,0	5.522.750
19 TORRENTE ASOLA	5115,2	12.173.500
20 FIUME CHIENTI	129816,9	351.076.000
21 LITORALE TRA CHIENTI E TENNA	1786,4	3.674.500
22 FIUME TENNA	48919,5	146.524.750
23 FOSSO VALLOSCURA/RIO PETRONILLA	1858,3	4.566.000
24 FIUME ETE VIVO	18087,5	41.111.250
25 FOSSO DEL MOLINELLO/FOSSO DI S. BIAGIO	2225,5	5.460.250
26 FIUME ASD	27867,9	80.300.250
27 RIO CANALE	1840,8	4.462.500
28 TORRENTE MENCOCHEA	9429,3	23.700.250
29 TORRENTE DI S. EGIO	2327,3	5.326.500
30 FIUME TESINO	12017,8	29.633.000
31 TORRENTE ALBULA/TORRENTE RAINOLA	4834,4	11.367.250
a FIUME SAVIO	6261,7	17.378.750
b TORRENTE VIBRATA	843,5	1.980.000

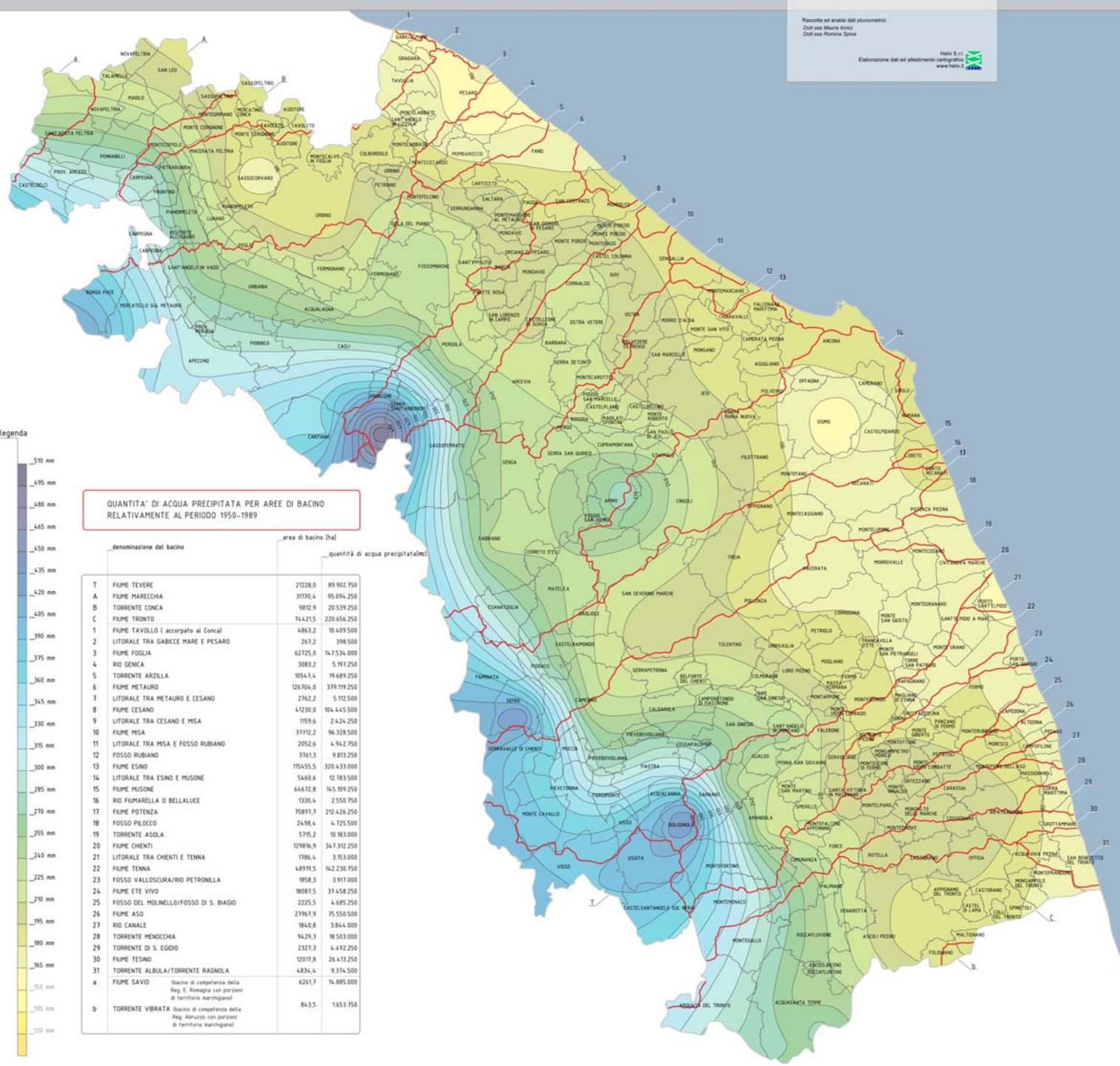


# Campo medio della precipitazione invernale sui bacini idrografici delle Marche del periodo 1950-1989

**Centro di Ecologia e Climatologia**  
 UNIVERSITÀ GEOLOGICA SAPIENZA - ROMA 3

Raccolta ed analisi dei pluviometri  
 Out: via Mare Anzio  
 Out: via Roma Spina

Nella S. S. Elaborazione dati ed allestimento cartografico  
 www.hydro.it



QUANTITA' DI ACQUA PRECIPITATA PER AREE DI BACINO RELATIVAMENTE AL PERIODO 1950-1989

denominazione del bacino	area di bacino (ha)	quantità di acqua precipitata (litri)
T Fiume Tevere	21228,0	89.902.250
A Fiume Marecchia	31170,4	95.094.250
B Torrente Conca	9812,9	20.539.250
C Fiume Tronto	74.421,5	220.656.250
1 Fiume Tavollo (accorpato ai Conci)	4863,2	10.409.500
2 Litorale tra Gabicce Mare e Pesaro	267,2	398.500
3 Fiume Foglia	62725,0	16.536.000
4 Rio Genica	3083,2	5.197.250
5 Torrente Arzella	10547,4	19.689.250
6 Fiume Metauro	126704,0	399.119.250
7 Litorale tra Metauro e Cesano	2762,2	5.112.500
8 Fiume Cesano	45330,0	104.445.500
9 Litorale tra Cesano e MSA	1159,6	2.424.250
10 Fiume Misa	3712,2	96.328.500
11 Litorale tra Misa e Fosso Rubiano	2052,6	4.442.250
12 Fosso Rubiano	3761,3	9.813.500
13 Fiume Esino	115.555,5	320.433.000
14 Litorale tra Esino e Misone	5440,6	12.783.500
15 Fiume Misone	64.172,8	145.109.250
16 Rio Furmarella o Bellaluce	1330,4	4.125.500
17 Fiume Potenza	75897,7	212.426.250
18 Fosso Pilocco	2498,4	4.125.500
19 Torrente Asola	5715,2	10.183.000
20 Fiume Chienti	129816,9	347.312.250
21 Litorale tra Chienti e Tenna	1786,4	3.933.000
22 Fiume Tenna	48919,5	142.230.250
23 Fosso Valloscura/Rio Petronilla	1858,3	3.917.000
24 Fiume Ete Vivo	18087,5	39.458.250
25 Fosso del Molinello/Fosso di S. Biagio	2225,5	4.485.250
26 Fiume Asò	27967,9	75.550.500
27 Rio Canale	1840,8	3.844.000
28 Torrente Menocchia	9429,3	18.503.000
29 Torrente di S. Egidio	2327,3	4.492.250
30 Fiume Tesino	12019,8	26.413.250
31 Torrente Albula/Torrente Ragnola	4834,4	9.374.500
a Fiume Savio (bacino di competenza della Reg. L. Romagna con porzioni di territorio marchigiano)	6261,7	14.885.000
b Torrente Vibrata (bacino di competenza della Reg. Abruzzo con porzioni di territorio marchigiano)	843,5	1.653.250

# Carta della precipitazione media annuale sulle Marche del periodo 1950-2000

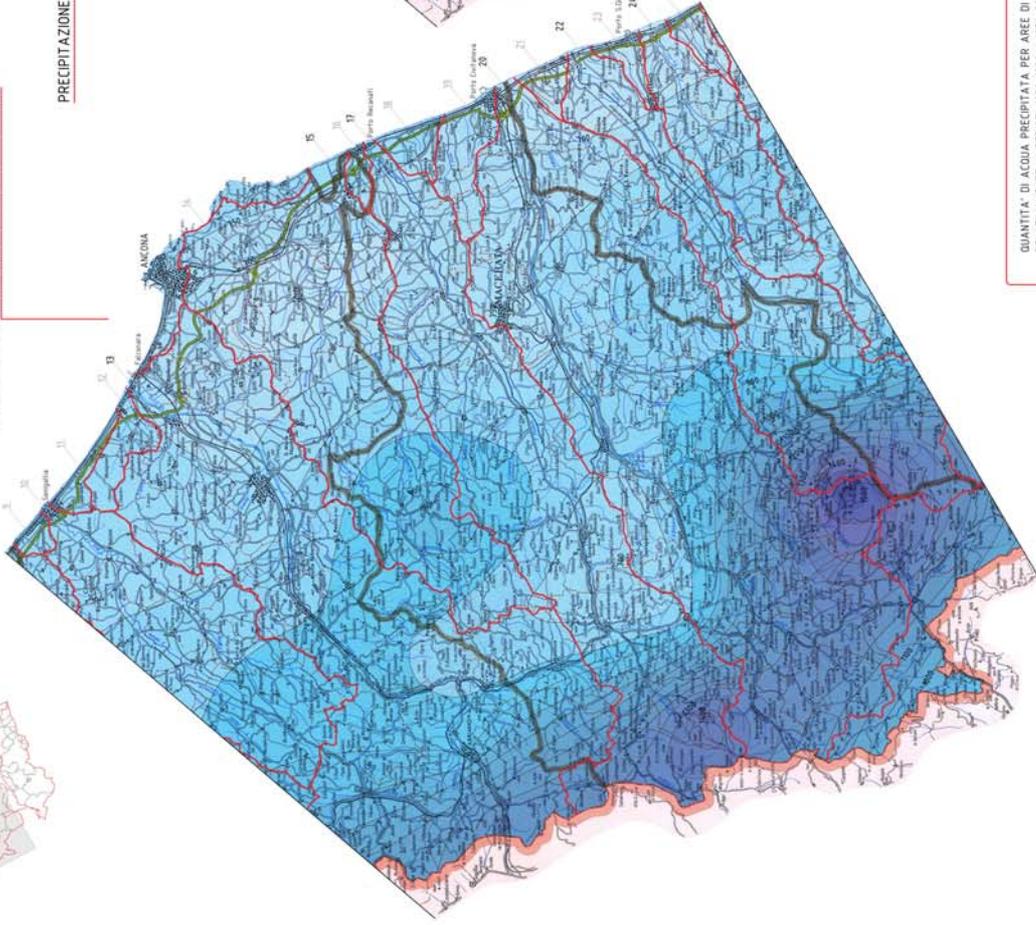


Associazione per lo studio dell'ambiente  
 Centro di Ecologia e Climatologia  
 Via del Ponte, 10  
 61021 Pescepiole (MC)

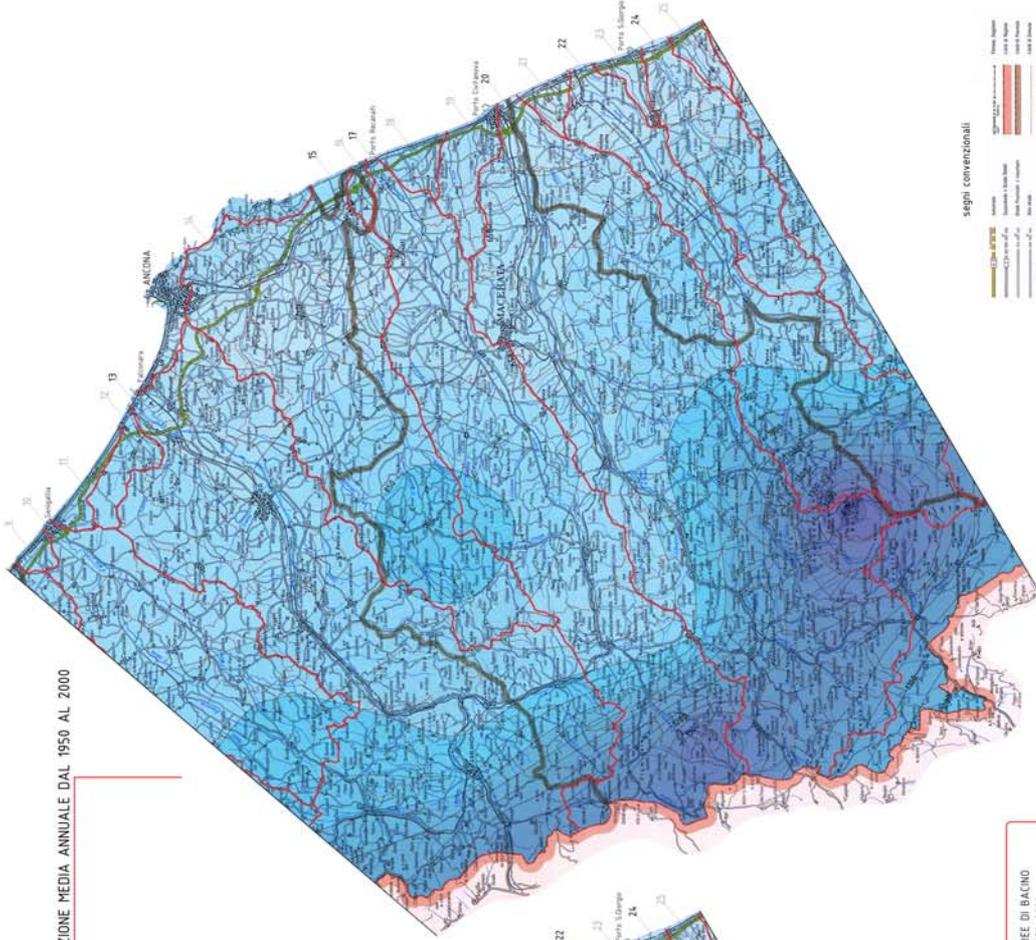
Indirizzo: Via del Ponte, 10  
 61021 Pescepiole (MC)  
 Telefono: 0733/240001  
 Fax: 0733/240002  
 E-mail: info@ceclima.it  
 www.ceclima.it



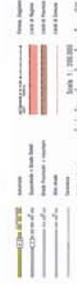
PRECIPITAZIONE MEDIA ANNUALE DAL 1950 AL 1989



PRECIPITAZIONE MEDIA ANNUALE DAL 1950 AL 2000



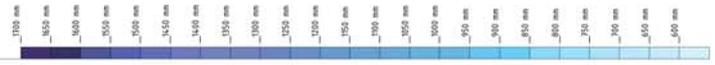
segni convenzionali



QUANTITÀ DI ACQUA PRECIPITATA PER AREE DI BACINO  
 RELATIVAMENTE AI PERIODI 1950-1989 / 1950-2000

denominazione del bacino	area di bacino [ha]	quantità di acqua precipitata dal 1950 al 1989 [mc]	quantità di acqua precipitata dal 1950 al 2000 [mc]
13 BACINO del TENO	105455,5	1053047500	1048979500
15 BACINO del MUONE	64472,8	579179500	570805000
17 BACINO del POTEGGA	75973,7	864435000	793280000
20 BACINO del CHERITI	12818,9	134602500	1277412500
22 BACINO del TENNA	48718,5	59372500	59842500
24 BACINO del TTE VIVO	98973,5	93394000	94872500

legenda



# Carta della precipitazione media primaverile sulle Marche del periodo 1950-2000



REGIONE MARCHE



Centro di Ecologia e Climatologia  
UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI ANCONA - FACOLTA' DI SCIENZE FISICHE E MATEMATICHE

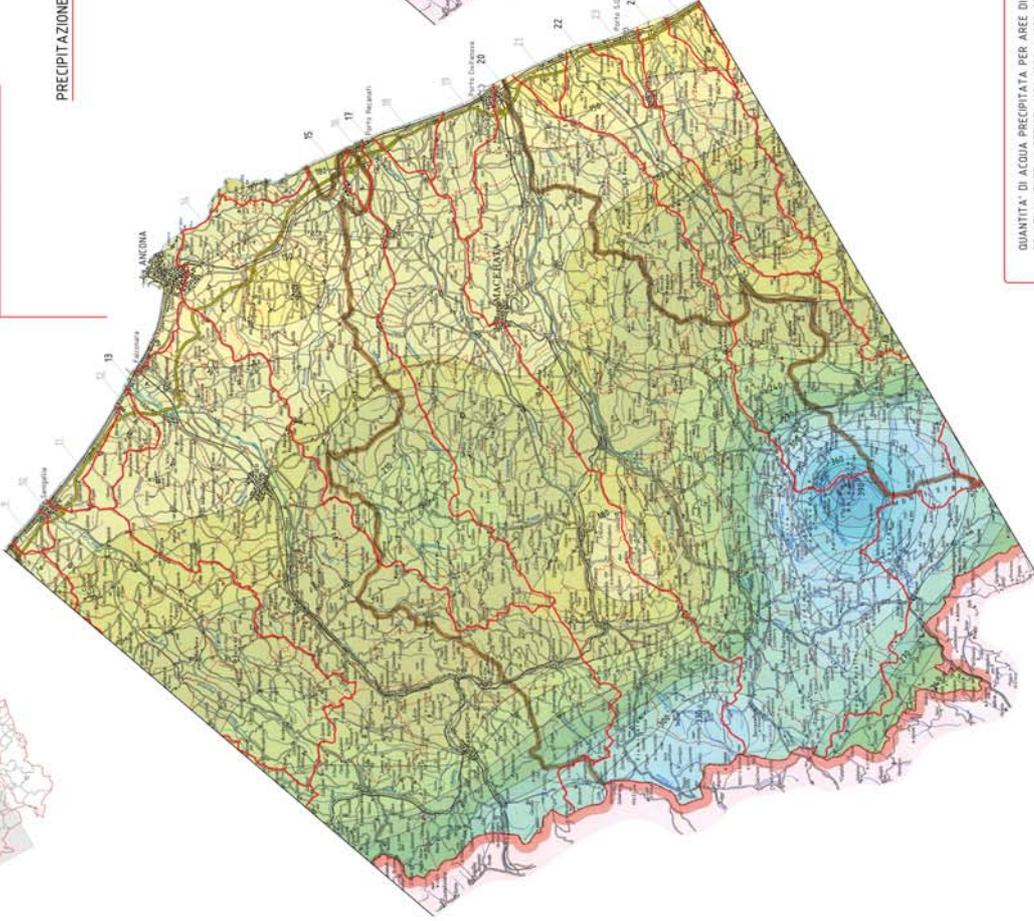
Progetto e studio del Polverificio:  
Dott. Luca Biondini, Spoleto

1998-2000  
www.eca.univ-an.it

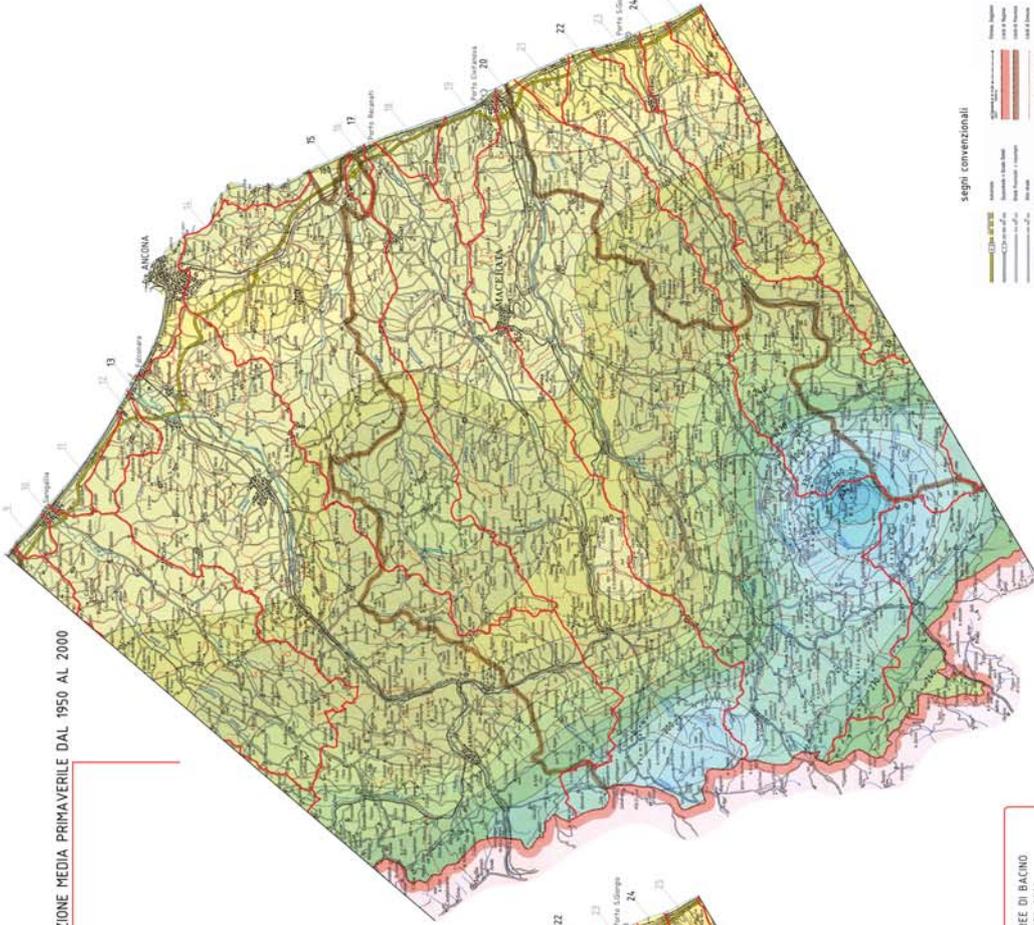
Elaborazione dati ed aggiornamento cartografia:  
www.eca.univ-an.it



PRECIPITAZIONE MEDIA PRIMAVERILE DAL 1950 AL 1989



PRECIPITAZIONE MEDIA PRIMAVERILE DAL 1950 AL 2000



segni convenzionali



QUANTITA' DI ACQUA PRECIPITATA PER AREE DI BACINO  
RELATIVAMENTE AI PERIODI 1950-1989 / 1950-2000

denominazione del bacino	area di bacino [ha]	quantità di acqua precipitata dal 1950 al 1989 [mc]	quantità di acqua precipitata dal 1950 al 2000 [mc]
13 BACINO del LENO	176555,5	25450500	24795750
15 BACINO del MUONE	64472,8	10171750	10425500
17 BACINO del POTEGGA	75971,7	9780000	9730000
20 BACINO del CHERTI	10981,8	3052400	2914000
22 BACINO del TENNA	48718,5	6371700	10144000
24 BACINO del TTE VIVO	98875,5	3719000	3902000

# Carta della precipitazione media estiva sulle Marche del periodo 1950-2000



Centro di Ecologia e Climatologia  
 Istituto Nazionale di Ricerca in Climatologia e Geodinamica Ambientale  
 Università del Salento



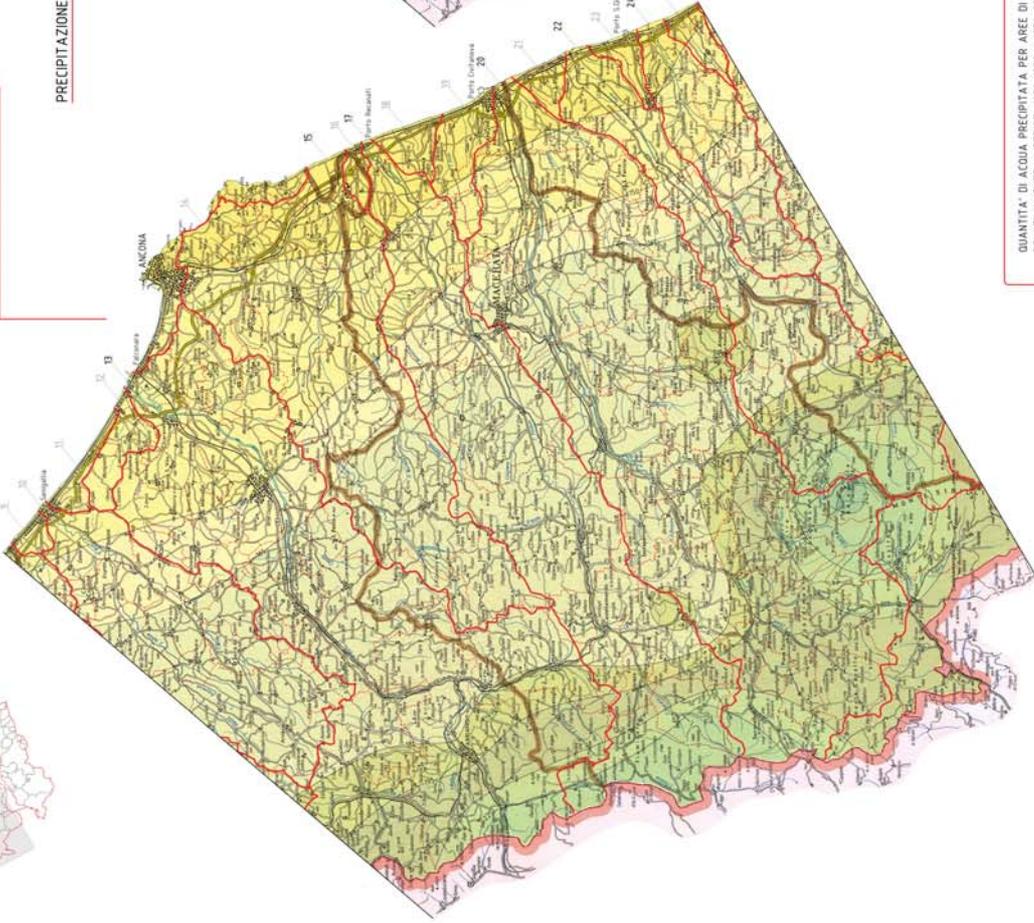
REGIONE MARCHE

Provincia di Ancona dal 1950 al 2000  
 Provincia di Pesaro dal 1950 al 2000  
 Provincia di Senigallia dal 1950 al 2000

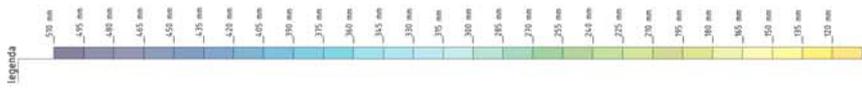
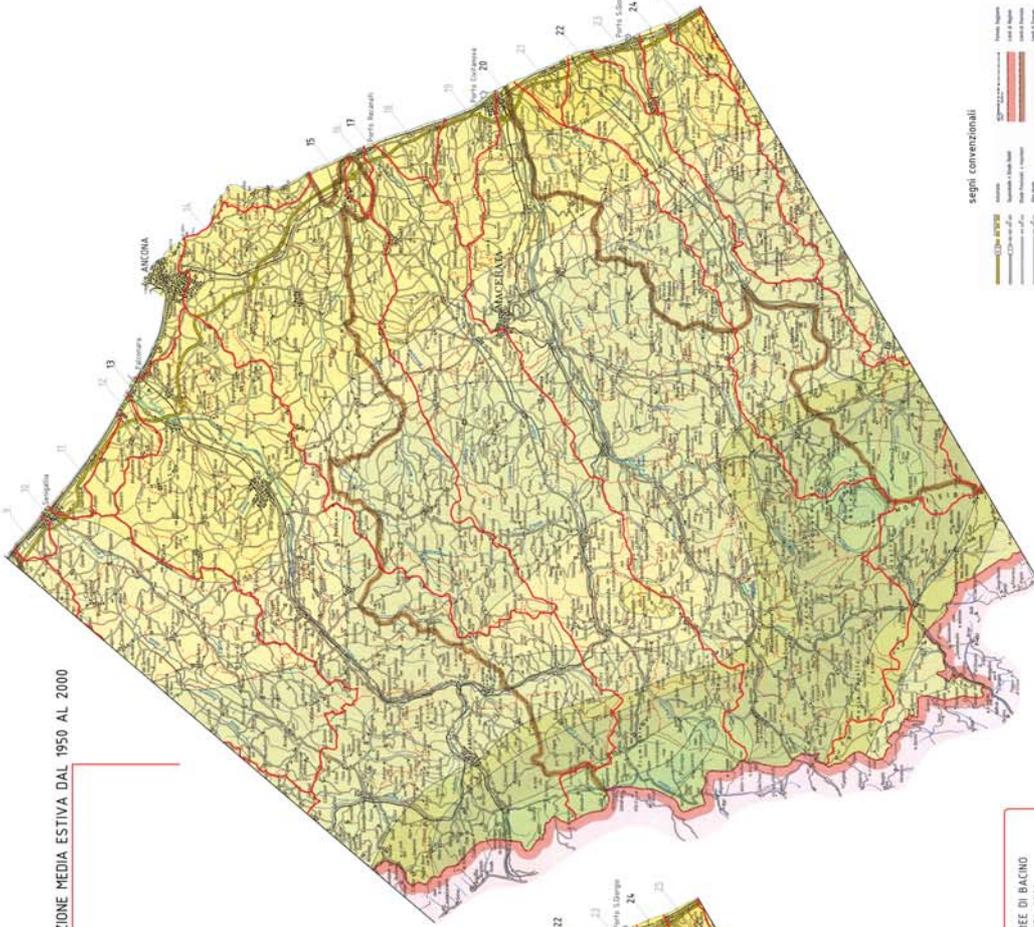
Scala 1:100.000  
 Elaborazione del sistema informativo geografico  
 www.eca.univrsalento.it



PRECIPITAZIONE MEDIA ESTIVA DAL 1950 AL 1989



PRECIPITAZIONE MEDIA ESTIVA DAL 1950 AL 2000



segni convenzionali

- Linea di confine amministrativo
- Linea di confine regionale
- Linea di confine provinciale
- Linea di confine comunale
- Linea di confine di comune
- Linea di confine di frazione
- Linea di confine di località
- Linea di confine di villaggio
- Linea di confine di borgo
- Linea di confine di casale
- Linea di confine di capoluogo
- Linea di confine di sede comunale
- Linea di confine di sede provinciale
- Linea di confine di sede regionale
- Linea di confine di sede nazionale
- Linea di confine di sede internazionale

QUANTITÀ DI ACQUA PRECIPITATA PER AREE DI BACINO  
 RELATIVAMENTE AI PERIODI 1950-1989 / 1950-2000

denominazione del bacino	area di bacino (ha)	quantità di acqua precipitata dal 1950 al 1989 (mc)	quantità di acqua precipitata dal 1950 al 2000 (mc)
13 BACINO del LENO	15155,5	20612500	20237500
15 BACINO del MUONE	64472,8	10387500	10632500
17 BACINO del POTEGGA	75973,7	9592000	11142500
20 BACINO del CHERTI	12818,8	25430000	23555000
22 BACINO del TENNA	48718,5	16457500	89975000
24 BACINO del TTE VIVO	88873,5	32887500	32870000

# Carta della precipitazione media autunnale sulle Marche del periodo 1950-2000



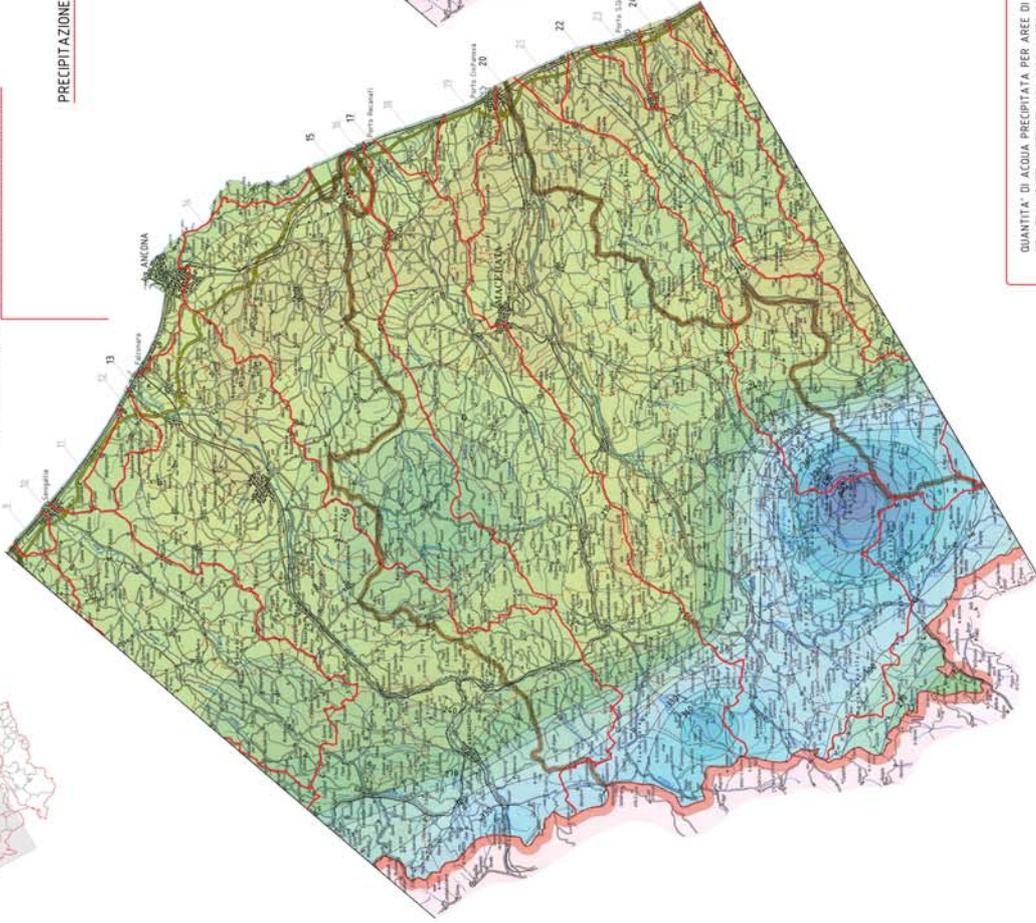
Centro di Ecologia e Climatologia  
 Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Atmosfera  
 Università del Salento

Realizzato ed edito dal governo della Regione Marche  
 Direzione Regionale dell'Ambiente e del Territorio

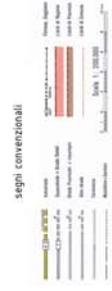
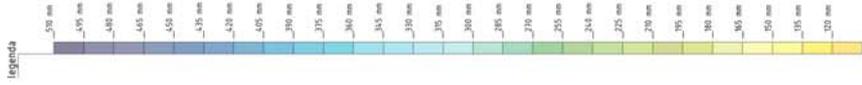
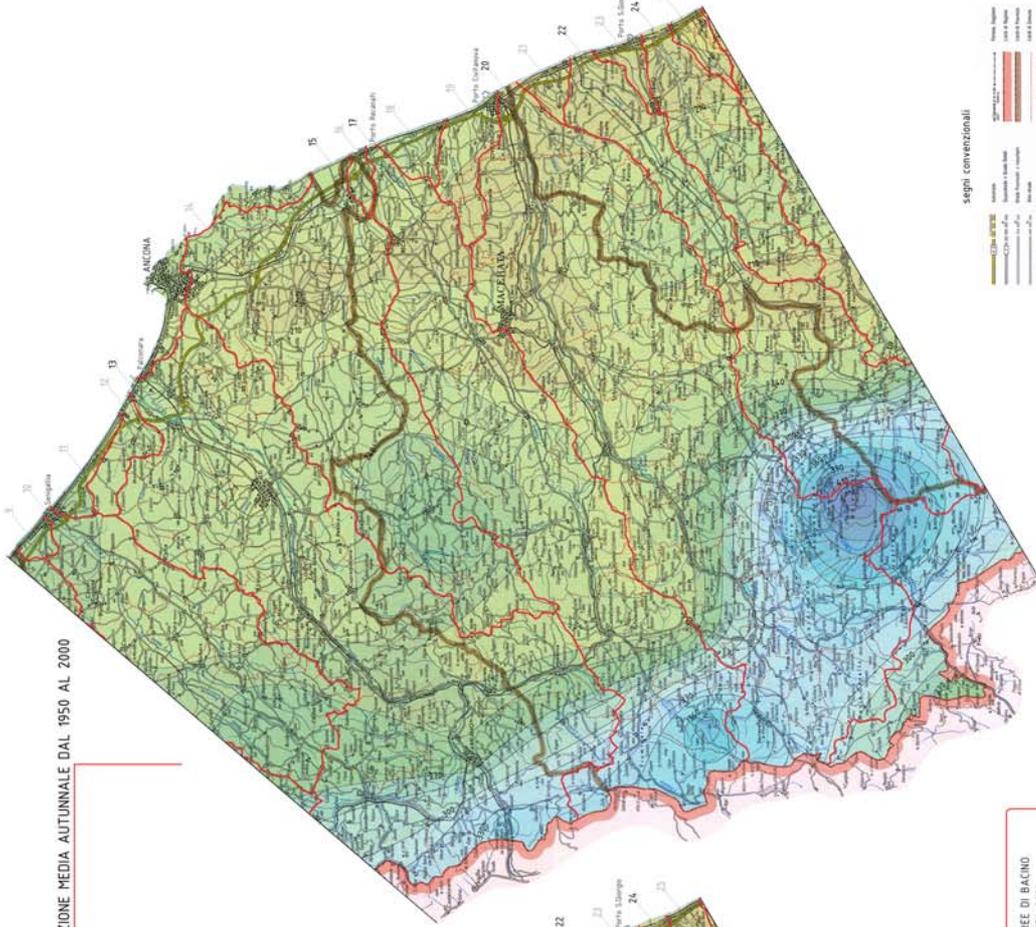


REGIONE MARCHE

PRECIPITAZIONE MEDIA AUTUNNALE DAL 1950 AL 1989



PRECIPITAZIONE MEDIA AUTUNNALE DAL 1950 AL 2000



QUANTITÀ DI ACQUA PRECIPITATA PER AREE DI BACINO  
 RELATIVAMENTE AI PERIODI 1950-1989 / 1950-2000

denominazione del bacino	area di bacino [ha]	quantità di acqua precipitata dal 1950 al 1989 [mm]	quantità di acqua precipitata dal 1950 al 2000 [mm]
13 BACINO DEL TISNO	176155,5	308427500	314893700
15 BACINO DEL FUSONE	64472,8	16172500	17770000
17 BACINO DEL POTERCA	75971,7	230842500	237900000
20 BACINO DEI CHERTI	128181,8	33332500	364415000
22 BACINO DELLA TENNA	48771,5	14370000	15177500
24 BACINO DEL TTE VIVO	88871,5	64641500	1779000

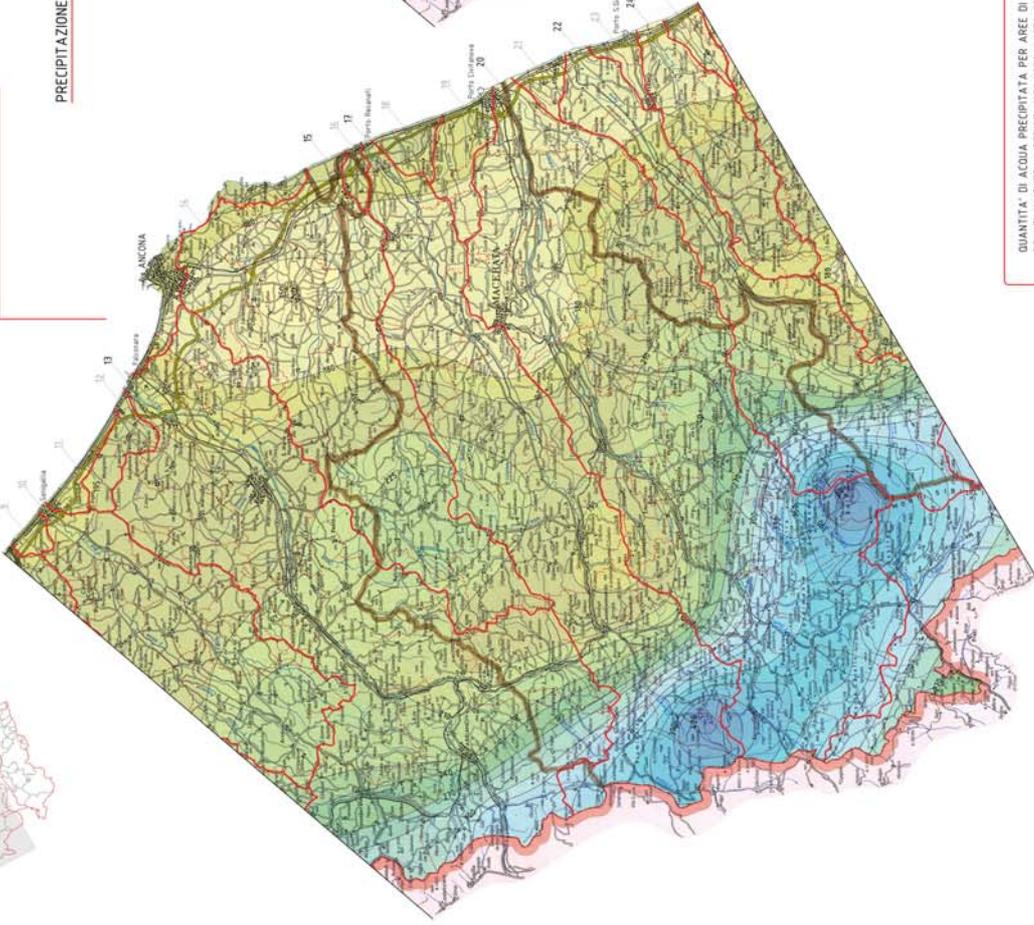
# Carta della precipitazione media invernale sulle Marche del periodo 1950-2000



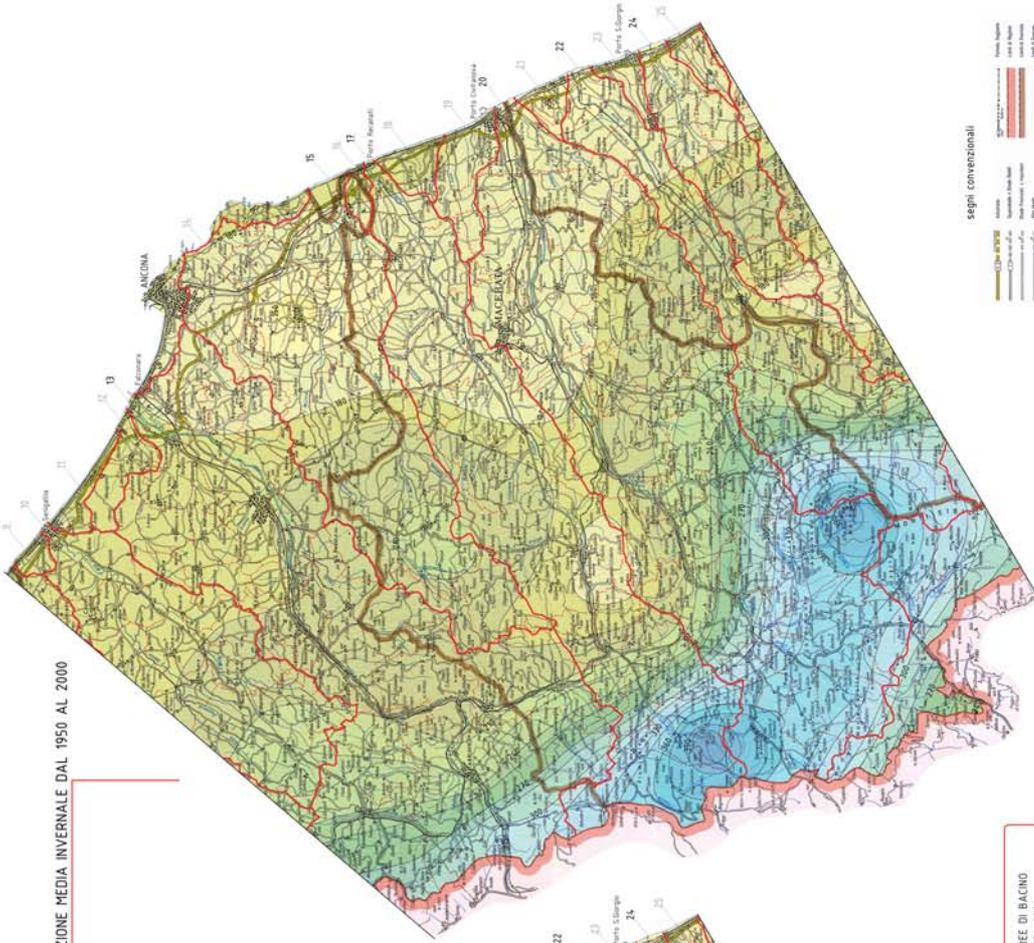
Accordo di lavoro di finanziamento  
 DGR Marche n. 2198/2005  
 Direzione Regionale Ambiente  
 Elaborazione dati ed aggiornamento cartografico  
 www.marke.it



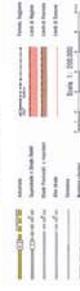
PRECIPITAZIONE MEDIA INVERNALE DAL 1950 AL 1989



PRECIPITAZIONE MEDIA INVERNALE DAL 1950 AL 2000



segni convenzionali



QUANTITÀ DI ACQUA PRECIPITATA PER AREE DI BACINO  
 RELATIVAMENTE AI PERIODI 1950-1989 / 1950-2000

denominazione del bacino	area di bacino (ha)	quantità di acqua precipitata dal 1950 al 1989 (mc)	quantità di acqua precipitata dal 1950 al 2000 (mc)
13 BACINO del LENO	75355,5	262700000	254775750
15 BACINO del MUDONE	84572,8	142792500	158905000
17 BACINO del POTENZA	75997,7	218775000	204375000
20 BACINO del CHERTI	50926,8	329892500	311100000
22 BACINO del TENNA	48797,5	133710000	129400000
24 BACINO del TTE VIVO	99873,5	4725000	3982500