
Classificazione dei Tipi di Tempo e alluvioni in Toscana, nel contesto dei Cambiamenti Climatici

Maurizio Iannuccilli

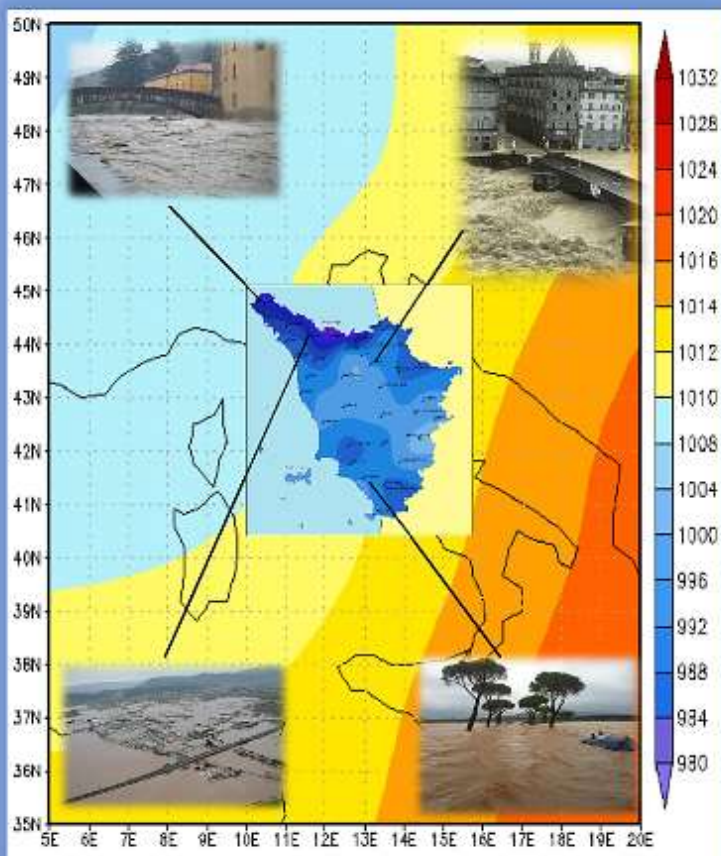


Immagine di copertina composta da:

- nello sfondo: Tipo di Tempo 4 (PCT9)
- mappa della Toscana: spazializzazione delle soglie di precipitazione intensa corrispondenti al novantesimo percentile.
- foto alluvione dell'Arno Novembre 1966 (fonte: MeteoSiena24).
- foto alluvione del Serchio Dicembre 2009 (fonte: Autorità di Bacino del Fiume Serchio).
- foto alluvione del Magra Ottobre 2011 (fonte: Maurizio Ratti - Società Meteorologica Italiana).
- foto alluvione dell'Albegna Novembre 2012 (foto: MeteoWeb).



REGIONE TOSCANA
Consiglio Regionale

Rotary
Distretto 2071



ACCADEMIA DEI GEORGOFILII



CONSORZIO

LaMMA

Ricerca finanziata dal Distretto Rotary 2071 a.r. 2014-15, svolta sotto la guida del Dott. Gianni Messeri, Ricercatore del CNR – IBIMET e Previsore meteo del Consorzio LaMMA, e sotto la supervisione del Presidente dell'Accademia dei Georgofili Giampiero Maracchi, Professore Emerito di Climatologia dell'Università di Firenze.

Il Presente volume è stato stampato nel Novembre 2016 presso la Tipografia del Consiglio Regionale della Toscana in occasione del 50° anniversario dell'alluvione dell'Arno del 1966

Classificazione dei Tipi di Tempo e alluvioni in Toscana, nel contesto dei Cambiamenti Climatici

Autore: Maurizio Iannuccilli

Hanno collaborato: Giorgio Bartolini, Giulio Betti, Roberto Vallorani
e Gianni Messeri

Consorzio LaMMA (Laboratorio di Monitoraggio e
Modellistica Ambientale per lo sviluppo sostenibile)
Via Madonna del Piano, n°10
50019 Sesto Fiorentino (Firenze), Italia

A Gaia e Silvia

INDICE

PRESENTAZIONE

(Arrigo Rispoli – Governatore Distretto Rotary 2071 a.r. 2014-15) ... 1

PREFAZIONE

(Giampiero Maracchi - Presidente Accademia dei Georgofili) 2

PREMESSA

(Eugenio Giani - Presidente del Consiglio Regionale della Toscana) .. 4

INTRODUZIONE

(Gianni Messeri – Responsabile Scientifico)..... 5

PARTE I

1. IL CLIMA E I SUOI CAMBIAMENTI 7

1.1 Il sistema climatico..... 7

1.2 I segnali più importanti del cambiamento climatico 14

2. CENNI DI CLIMATOLOGIA DELLA TOSCANA 27

2.1 Cambiamenti negli ultimi decenni 38

2.2 Gli effetti del cambiamento in atto sul territorio toscano:
le alluvioni 53

PARTE II

3. CLASSIFICAZIONI DEI TIPI DI TEMPO 75

3.1 La classificazione dei tipi di tempo sviluppata dal Consorzio
LaMMA..... 80

3.2 Climatologia dei tipi di tempo in Toscana.....	117
3.2.1 <i>Analisi delle frequenze</i>	117
3.2.2 <i>Caratterizzazione delle precipitazioni intense</i>	126
3.3 Alcune delle grandi alluvioni accadute in Toscana e i tipi di tempo che le hanno caratterizzate	133
3.3.1 <i>Alluvione dell'Arno 3-4 Novembre 1966</i>	133
3.3.2 <i>Alluvione del Serchio 24-25 Dicembre 2009</i>	139
3.3.3 <i>Alluvione del Magra 25-26 Ottobre 2011</i>	142
3.3.4 <i>Alluvione dell'Albegna 11-12 Novembre 2012</i>	145
3.4 Tipi di Tempo e analisi dei trend del rischio di precipitazioni intense	150
3.5 Analisi delle relazioni tra i tipi di tempo e gli eventi di precipitazione intensa associati ai principali episodi alluvionali/forti allagamenti in Toscana.....	159
CONCLUSIONI	166
BIBLIOGRAFIA	169
RINGRAZIAMENTI	176

PRESENTAZIONE

E' comune osservazione che di anno in anno, di stagione in stagione, il clima stia rapidamente cambiando. I governi di molti paesi, sulla scorta dei pareri di molti scienziati, stanno ormai da molti anni cercando di contenere l'inquinamento atmosferico, fattore ritenuto responsabile di tale cambiamento, purtroppo con risultati ancora non soddisfacenti per la non osservanza o la non partecipazione agli accordi presi nelle passate conferenze internazionali a partire dalla metà degli anni '80. Solo alla fine dello scorso anno, 195 Paesi, riuniti a Parigi in occasione della XXI Conferenza sui cambiamenti climatici, hanno deciso di contenere l'inquinamento atmosferico portando la temperatura a livelli preindustriali. Nel frattempo è necessario potersi difendere al meglio dagli eventi meteorologici disastrosi come le cosiddette bombe d'acqua che hanno effetti devastanti su molti territori, soprattutto se geologicamente sconvolti dall'opera dell'uomo per abbandono, per eccessivo sfruttamento o semplicemente per insipienza.

Il Distretto Rotary 7071, che coincide con la regione Toscana, sempre attento ai bisogni del territorio, ha voluto che fosse fatto uno studio per individuare quali "tipi di tempo climatico" fossero associati con eventi meteorologici disastrosi. A questo scopo, dopo attenta selezione, il Distretto ha individuato nella persona del dott. Maurizio Iannuccilli, il ricercatore a cui affidare tale compito. Il risultato della ricerca è stato molto soddisfacente e darà luogo a nuovi e interessanti spunti di indagine. Mi auguro che la ricerca, finanziata dal Distretto e condotta in collaborazione con il LaMMA e l'Accademia dei Georgofili, dati gli ottimi risultati, possa trovare anche nuovi sponsor per il suo prosieguo.

Arrigo Rispoli

Governatore Distretto Rotary 2071

Anno 2014-2015

PREFAZIONE

L'effetto dell'uomo sul pianeta nel suo insieme è sempre più evidente, anche al di fuori dei circoli scientifici che da decenni avvertono della incoerenza delle attività umane con le leggi della natura che regolano la presenza della biosfera sul pianeta. L'aumento della popolazione, l'uso sempre più massiccio di energia di origine fossile, l'impiego di molecole chimiche sempre più invadenti, sono tutti elementi che pongono una serie di interrogativi rispetto alla sostenibilità di questo sviluppo ancora per lungo tempo.

Dagli inizi degli anni 90, grazie alle tecnologie oggi a disposizione, satelliti e modelli, è sempre più evidente la modifica delle condizioni che determinano il funzionamento della macchina del clima. Una macchina che funziona a livello globale ma con effetti poi visibili anche a livello locale in termini di tempo atmosferico. La misura più evidente consiste nel riscaldamento dei mari che rappresentano un fattore determinante nei processi della circolazione generale dell'atmosfera e degli oceani. La circolazione atmosferica infatti si può sintetizzare nei processi di trasferimento del calore dalle zone tropicali, dove a livello annuo vi è un surplus di energia a quelle temperate e polari dove invece vi è un deficit di energia. Tale trasferimento avviene attraverso tre celle meridiane, di Hadley nella zona tropicale, di Ferrel nella zona temperata, polare nella zona polare collegate fra di loro. A questa circolazione si sovrappone quella dovuta alla rotazione terrestre di tipo zonale, nel senso cioè dei paralleli in cui la circolazione delle masse d'aria avviene da est verso ovest, con la creazione di due grandi correnti alla intersezione della troposfera con la stratosfera: la corrente a getto subpolare e quella subtropicale, che costituiscono una guida per le perturbazioni delle zone temperate.

Negli ultimi anni i dati mettono in evidenza come le posizioni di queste celle tendono a spostarsi. Ad esempio, durante l'estate il

braccio discendente della cella di Hadley tende a spostarsi dal nord Africa al Mediterraneo centrale dando luogo alle ondate di calore, cioè un numero di giorni consecutivi con temperature superiori a 34°C, fenomeno molto ridotto o quasi assente nel passato.

D'altra parte durante i mesi autunno-invernali il braccio superiore della cella di Ferrel sembra spostarsi verso nord con la conseguenza di un indice Nao sempre più positivo ed il passaggio delle perturbazioni sopra la Scandinavia e siccità autunnale nel Mediterraneo e nell'Europa centrale.

Il quadro climatico delineato ha conseguenze su fenomeni del tempo atmosferico a livello locale con una diminuzione delle piogge autunno-invernali nella maggior parte degli anni, con l'aumento delle ondate di calore nei mesi estivi, con l'arrivo precoce della primavera e soprattutto con l'arrivo dall'atlantico di masse d'aria caratterizzate da una maggiore quantità di energia che rende più estremi i fenomeni, in particolare le piogge la cui intensità aumenta di circa tre volte in occasione di perturbazioni violente.

Il presente lavoro sulla classificazione e la predicibilità dei tipi di tempo, grazie al contributo ed alla sensibilità del Rotary Distretto 2071, all'impegno dell'autore e del LaMMA, è un contributo originale alla messa a punto di strumenti operativi che ci permettano di fare fronte in tempo agli effetti dei cambiamenti climatici.

Giampiero Maracchi

Presidente Accademia dei Georgofili

Professore Emerito di Climatologia, Università di Firenze

PREMESSA

Gli effetti dell'attività antropica sui cambiamenti climatici sono una certezza. Anche se si cerca ancora ripetutamente di sconfessare questa realtà, è sempre più scientificamente accertato che tra le attività dell'uomo e il suo ambiente non esiste separazione: sono le due facce di una stessa medaglia. Distinte ma assolutamente interconnesse. Tutto ciò che è possibile fare per studiare – e perciò migliorare – il nostro pianeta è sempre più importante alla luce degli eventi calamitosi che costellano la nostra quotidianità.

E' solo di pochi giorni, il ricordo dei 50 anni dall'alluvione del 1966, passata alla storia come l'alluvione di Firenze, ma che coinvolse anche grande parte del territorio regionale. Purtroppo, però, non è stata l'ultima e la nostra Regione ha visto altre gravi alluvioni in epoche molto più recenti che hanno lasciato ferite profonde.

Importantissimo, quindi, questo studio su *Classificazione dei Tipi di Tempo e alluvioni in Toscana, nel contesto dei cambiamenti climatici*, una ricerca che ci offre degli spunti di riflessione e di indagine che possono aprire nuovi spazi di intervento. Considero questo lavoro come uno dei più importanti tra quelli presentati durante queste recenti rievocazioni, proprio perché guarda in un'ottica di previsione e prevenzione. Interessantissimo quindi il collegamento tra gli argomenti trattati dal volume e l'approccio delle previsioni a lungo termine; previsioni che offrirebbero utili indicazioni su eventi estremi che potrebbero abbattersi sulla nostra Regione.

Il mio ringraziamento va perciò al Distretto Rotary 2071, che ha finanziato la ricerca, e alla collaborazione offerta dal LaMMA e dall'Accademia dei Georgofili; un plauso sincero al giovane autore con l'augurio di poter proseguire nelle sue ricerche di grandissima utilità per il benessere della nostra comunità.

Eugenio Giani

Presidente del Consiglio Regionale della Toscana

INTRODUZIONE

In occasione del 50° anniversario della disastrosa alluvione del 4 novembre 1966 a Firenze si ripropone il problema della vulnerabilità del nostro territorio agli eventi alluvionali, soprattutto nel contesto dei cambiamenti climatici che stanno progressivamente estremizzando il clima del nostro pianeta e, in particolare, del bacino del Mediterraneo.

Le proiezioni climatiche dell'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) infatti indicano le regioni che si affacciano sul Mediterraneo tra quelle che maggiormente risentiranno nei prossimi anni dell'intensificarsi dei fenomeni precipitativi. Questa previsione rende quanto mai attuale lo studio dei grandi eventi alluvionali del passato per verificare quali siano state le circolazioni atmosferiche che li hanno favoriti.

Un valido e duttile strumento utile a tale scopo è rappresentato dalle Classificazioni dei Tipi di Tempo, oggetto tra l'altro del progetto europeo 733 del COST (Harmonisation and applications of weather type Classification for European Regions). Tali classificazioni sono utilizzate per riassumere la variabilità della circolazione atmosferica in pochi "tipi di tempo" che possono essere facilmente descritti in tutte le loro caratteristiche termo-pluviometriche. Questo strumento è stato utilizzato dal Consorzio LaMMA con l'intento di fare un'analisi climatica sulla nostra regione, analizzando anche eventuali trend di frequenza delle varie circolazioni legati ai recenti cambiamenti climatici.

In particolare in questo lavoro si vuole mettere in evidenza la predisposizione di alcuni tipi di circolazione atmosferica a determinare eventi alluvionali in Toscana, utilizzando i trend per verificare anche se questi tipi di circolazione sono in fase di aumento o diminuzione.

Sono molti i temi affrontati, temi che sicuramente potranno rappresentare spunti per successive attività di ricerca. Tra questi merita sicuramente una menzione speciale un possibile nuovo

approccio per le previsioni stagionali in modo che queste non siano limitate a descrivere semplicemente delle anomalie termo-pluviometriche, ma indichino anche quali circolazioni atmosferiche prevarranno nei vari mesi presi in considerazione, elemento quest'ultimo utile anche per la previsione del rischio di episodi alluvionali.

Gianni Messeri

**Ricercatore del "Consiglio Nazionale delle Ricerche" - Istituto di
Biometeorologia (CNR - IBIMET)**

Previsore meteo e Ricercatore del Consorzio LaMMA

PARTE I

1. IL CLIMA E I SUOI CAMBIAMENTI

1.1 Il sistema climatico.

Il clima è stato tradizionalmente studiato da geografi e naturalisti, in quanto alla base della diversificazione dei luoghi e delle caratteristiche socio-culturali dei loro abitanti. Solo dopo la seconda guerra mondiale lo studio scientifico delle dinamiche climatiche a livello globale viene ufficialmente riconosciuta come scienza. Nasce così la climatologia che si occupa dello studio del clima e delle sue dinamiche su differenti scale spaziali e temporali, attraverso l'elaborazione statistica di lunghe serie di dati, per individuare i comportamenti e le deviazioni dai valori medi che rappresentano la variabilità climatica.

La circolazione generale dell'atmosfera è un sistema complesso, fatto di scambi e interazioni tra atmosfera (aria), idrosfera (oceani), criosfera (ghiacciai), biosfera (flora, fauna, organismi viventi), litosfera (suolo, sedimenti, rocce), antroposfera (uomo, territorio). Tale sistema tende a ridistribuire l'energia termica proveniente dal sole alle diverse latitudini del pianeta. Il trasporto dell'energia in surplus dalle basse latitudini, generato dal maggiore angolo di incidenza dei raggi solari al suolo (Fig. 1.1), verso le zone deficitarie delle medie e alte latitudini, dove i raggi solari attraversano uno spessore

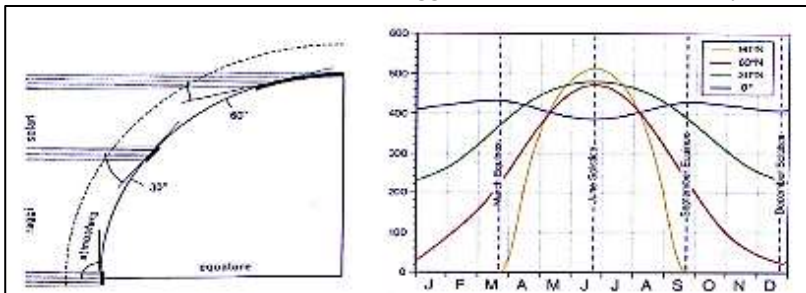


Fig 1.1 - L'irregolare ripartizione dell'energia solare sulla superficie terrestre. L'immagine di sinistra mostra, le variazioni con la latitudine nell'angolo di incidenza al suolo dei raggi solari e nello spessore di atmosfera attraversato; il grafico a destra riporta la distribuzione dell'energia nel corso dell'anno alle latitudini indicate (i valori sono espressi in W/m^2). (Fonte: S. Pinna, 2014).

atmosferico progressivamente crescente che ridimensiona il quantitativo di energia incidente, mette in moto i processi della circolazione generale dell'atmosfera (Fig. 1.2) e delle correnti oceaniche (Fig. 1.7). Tali circolazioni agiscono come un'enorme macchina termica che ridistribuisce il calore dalla fascia intertropicale (dove l'energia che giunge dal sole nell'intero ciclo annuo è eccedentaria rispetto a quella riflessa ed emessa dalla terra) verso la zona corrispondente alle medie ed alte latitudini dove il bilancio tra l'energia ricevuta e quella emessa, e riflessa, è deficitario durante l'anno.

L'interazione tra i processi di redistribuzione dell'energia e la rotazione terrestre dà luogo alle grandi correnti atmosferiche (Fig. 1.2):

- gli Alisei nella zona tropicale,
- la Circolazione da Ovest (Westerlies), nella fascia temperata
- la Circolazione da Est nella zona polare (Polar Easterlies).

Il trasferimento di energia dalle zone equatoriali a quelle temperate e polari avviene attraverso la formazione di grandi celle atmosferiche verticali che danno luogo ad una distribuzione abbastanza regolare durante l'anno dei grandi centri di alta pressione e bassa pressione e che prendono il nome di celle di:

- Hadley nella zona inter-tropicale,
- Ferrel nelle zone temperate,
- Polare nelle zone polari.

Lo schema di tale circolazione, a grandi linee, consiste nell'ascesa dell'aria calda ed umida nella fascia equatoriale con condensazione dell'umidità in quota, formazione di profondi sistemi nuvolosi convettivi e conseguenti precipitazioni (zona di bassa pressione

permanente, che determina l'ITCZ, area in rosso, chiamata anche zona delle calme equatoriali - Doldrums - dove tuttavia in determinati periodi dell'anno possono nascere gli uragani).

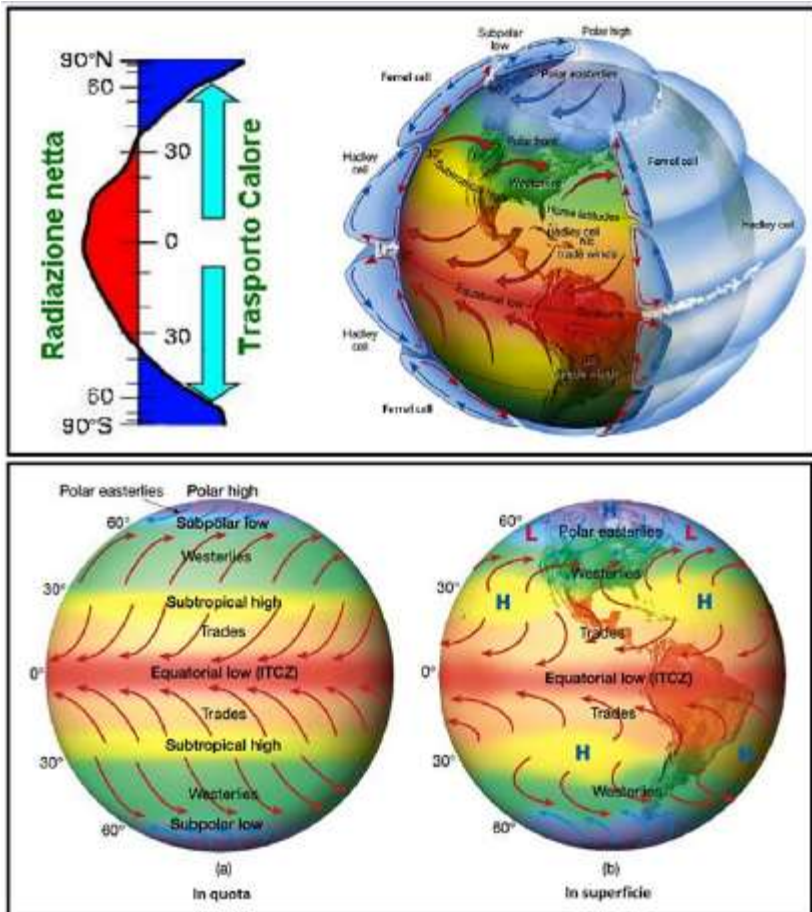


Fig. 1.2 - Le modalità di riequilibrio termico sulla terra: la circolazione atmosferica, caratterizzata da 3 microcelle per emisfero (delle latitudini basse - Hadley, delle medie - Ferrel, e delle alte - Polare) che si scambiano masse d'aria a temperatura e livelli di umidità diversi (Fonte: <https://sites.google.com/site/isegetidellaterra/l-atmosfera/il-clima/4-la-circolazione-atmosferica>; Treccani)

L'aria, privata dell'umidità dalle precipitazioni, tende successivamente a scendere sui tropici creando un'alta pressione (area in giallo) ed innescando una circolazione da nord-est (sud-est nell'emisfero sud) verso l'equatore (Alisei) ed una circolazione da sud-ovest verso le zone temperate (Circolazione da Ovest o correnti occidentali). Dalle alte pressioni polari circostanti i due poli, invece si originano le correnti fredde orientali polari (Circolazione da Est) dirette verso le basse pressioni che si trovano intorno a 60° di latitudine (area azzurra) dove, in corrispondenza del fronte polare freddo, convergono anche le masse d'aria più calde delle correnti occidentali. Questa zona di convergenza tra le due masse d'aria è soggetta a fenomeni di ciclogenesi e di nascita delle perturbazioni che possono interessare anche la penisola italiana (cerchiati in rosso nella figura 1.3). Questo spiega il motivo per cui il clima della fascia temperata, presenta più degli altri, maggiori condizioni di variabilità del tempo.

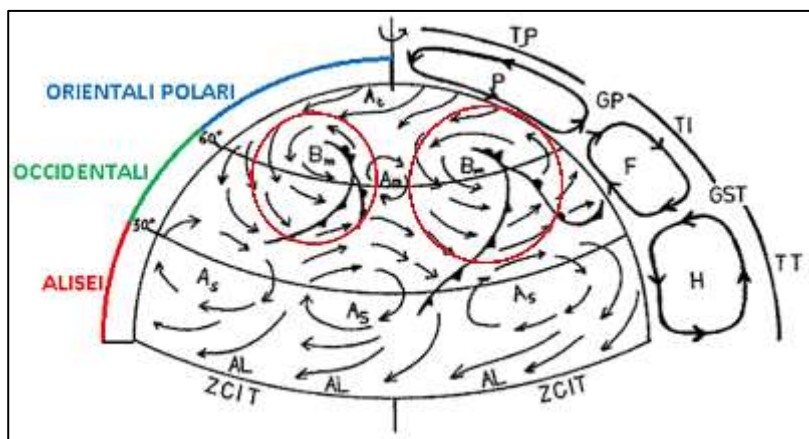


Fig. 1.3 - Perturbazioni meteorologiche (cerchiate in rosso) che si generano nella zona di convergenza tra le correnti polari e quelle occidentali (Fonte: <http://www.meteorologia.it>)

In aggiunta alle celle meridiane, nella zona tropicale si formano delle celle di aria che si alzano e si muovono da est verso ovest (secondo i paralleli) dette celle di Walker, particolarmente intense nel Pacifico

occidentale ma presenti anche nell'oceano Indiano e in quello Atlantico (Fig. 1.4).

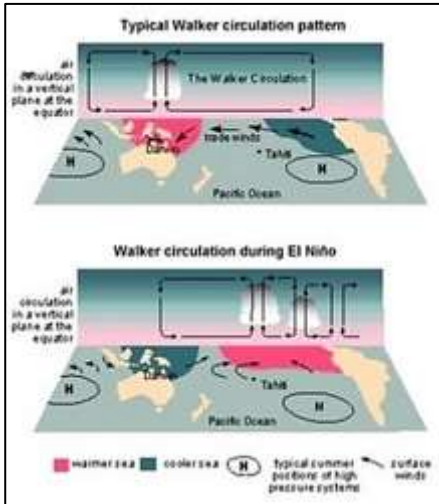


Fig 1.4 - La circolazione di Walker in condizioni normali (sopra) e in presenza del Niño. (Fonte: www.bom.gov.au)

Oltre a queste correnti si ricordano anche i Jet Stream o correnti a getto che contribuiscono anch'esse alla macchina del clima (Fig 1.5). I Jet Stream sono flussi d'aria presenti sia nell'emisfero australe che in quello boreale che generalmente fluiscono da ovest verso est (a causa della forza di Coriolis generata dalla rotazione terrestre) intorno al globo ad una velocità anche superiore a 200 km/h e che si formano nell'atmosfera terrestre ad una quota di circa 10-12 km

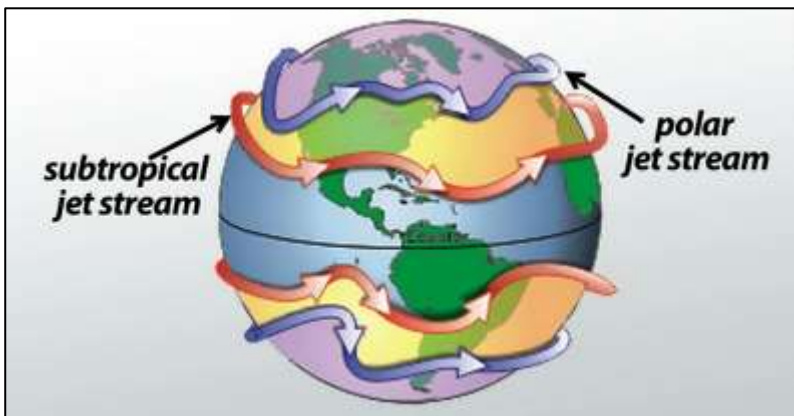


Fig 1.5 - Correnti a getto (Fonte: MeteoWeb)

dalla superficie, appena sotto la tropopausa (strato dell'atmosfera che separa la troposfera, dove hanno sede i fenomeni meteorologici, dalla stratosfera, il cui spessore tende ad aumentare verso l'equatore). La tropopausa infatti è quella regione caratterizzata dal massimo contrasto termico che, tra le regioni polari e le medie latitudini, genera una forte corrente, detta a getto, che corre in corrispondenza del fronte polare. Esistono due correnti a getto alle latitudini polari, una per ogni emisfero (intorno ai 60° di latitudine), e due minori correnti subtropicali più vicine all'equatore.

La circolazione della parte più bassa della troposfera è sicuramente molto più complessa rispetto a quanto si verifica alle quote superiori a causa di molti fattori tra i quali citiamo l'interazione con la superficie. Un importante fattore è rappresentato anche dall'azione del Sole che durante l'anno si sposta tra il Tropico del Cancro e il Tropico del Capricorno ai solstizi, modificando in tal modo la posizione e l'intensità dei grandi centri di pressione sulle aree continentali e su quelle oceaniche, elemento da cui dipende il clima proprio nelle diverse stagioni (Fig. 1.6).

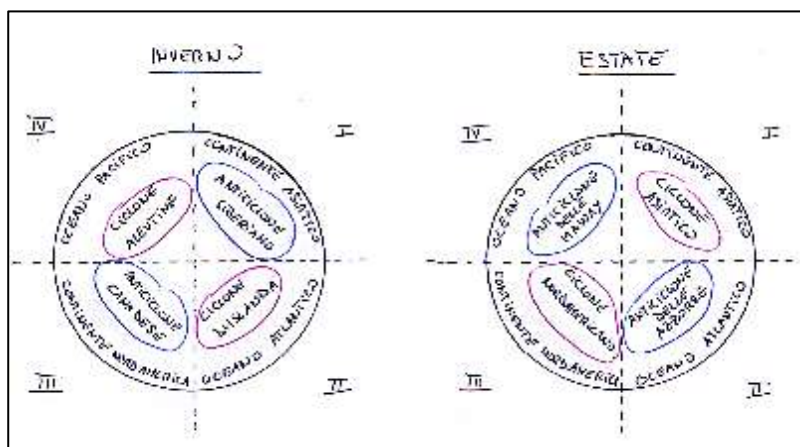


Fig. 1.6 - Circolazione cellulare: in inverno sulle masse continentali si generano centri di alta pressione anticiclonica in quanto si raffreddano più velocemente rispetto a quelle oceaniche, mentre sopra le masse oceaniche si generano centri di bassa pressione ciclonica con condizioni di tempo nuvoloso e perturbato; d'estate le condizioni sono esattamente l'opposto.

Alla circolazione generale dell'atmosfera si aggiunge la circolazione oceanica (Fig. 1.7) responsabile come la prima del trasferimento di calore dalle basse alle alte latitudini: relativamente agli oceani si parla di circolazione termoalina, dovuta sia a gradienti di temperatura, e di conseguenza di pressione, sia alle variazioni di salinità legate al ciclo dell'acqua (evaporazione, precipitazione, scioglimento o formazione dei ghiacci). A tali meccanismi si aggiunge il fenomeno detto "upwelling", vale a dire la risalita di acqua da una profondità di 100-200 m, con conseguente raffreddamento dell'acqua di superficie. Le caratteristiche termiche delle correnti marine sono in parte responsabili del clima delle aree limitrofe ai continenti, come nel caso della Corrente del Golfo che passa tiepida in superficie vicino alle Isole Britanniche per inabissarsi prima della Groenlandia e tornare indietro lungo le coste degli Stati Uniti come corrente fredda. I fenomeni della grande circolazione generale determinano il quadro climatico del pianeta rappresentato da diversi "tipi di clima". La diversa distribuzione dei continenti, degli oceani e la presenza di barriere orografiche danno luogo a condizioni climatiche diverse anche a parità di latitudine.

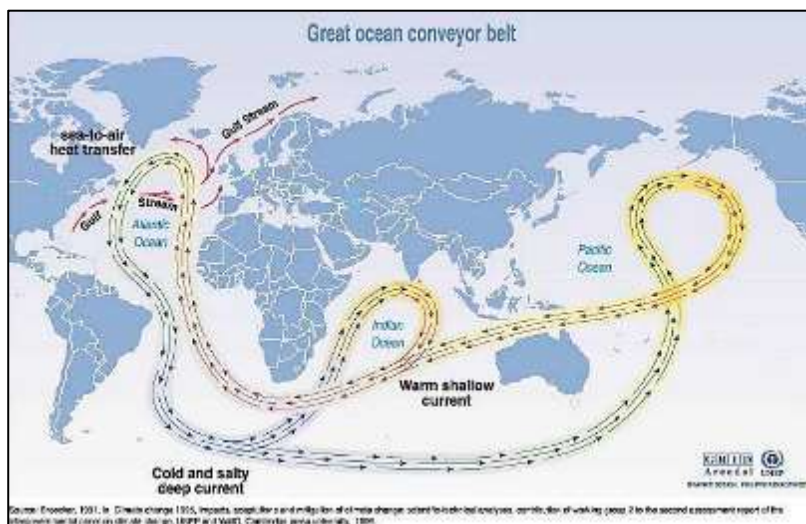


Fig. 1.7 - Le grandi correnti oceaniche (Fonte: IPCC, 1995)

1.2 I segnali più importanti del cambiamento in atto

L'organizzazione più autorevole che raccoglie e riassume gli studi pubblicati in ogni parte del mondo relativamente all'argomento dei cambiamenti climatici è l'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), cioè il gruppo intergovernativo sul cambiamento climatico, che è stata costituita nel 1998 dall'ONU, e dall'Organizzazione Mondiale della Meteorologia (WMO) per garantire una visione scientifica e trasparente sullo stato dell'arte riguardo ai cambiamenti climatici. Per cambiamenti climatici si intende il cambiamento nel valore medio dei principali parametri meteorologici: radiazione solare, temperatura, umidità dell'aria, precipitazioni, vento e pressione (IPCC, 2007).

Il sistema climatico è un sistema in equilibrio dinamico, cioè tende continuamente a raggiungere la configurazione ottimale (in termini di bilancio energetico) in rapporto alle perturbazioni che subisce da molteplici forzanti sia esogene (le variazioni di energia del Sole, i fattori astronomici, i raggi Gamma ancora poco conosciuti, ecc.) che endogene (l'attività vulcanica, le grandi spinte tettoniche, i processi della biosfera, l'azione dell'uomo e le conseguenti modifiche ambientali, ecc.).

- Evoluzione dell'effetto serra

Quando sentiamo parlare di cambiamento climatico, si tende spesso a dare la colpa all'effetto serra. In realtà senza di questo non si sarebbe sviluppata la vita sul nostro pianeta, nella maniera che conosciamo (Fig. 1.8). L'effetto serra è un fenomeno naturale che consiste nella cattura da parte dei gas serra presenti in atmosfera della maggior parte della radiazione infrarossa emessa dalla Terra: i principali gas responsabili dell'effetto serra (definiti anche gas climalteranti) sono il vapore acqueo (H_2O), l'anidride carbonica (CO_2), l'ossido nitroso (N_2O), il metano (CH_4) e altri componenti minori.

Grazie alla presenza naturale di questi gas la temperatura media del nostro pianeta si aggira attorno a 15°C contro i circa -18°C che avremo nel caso di un'atmosfera priva di gas serra.

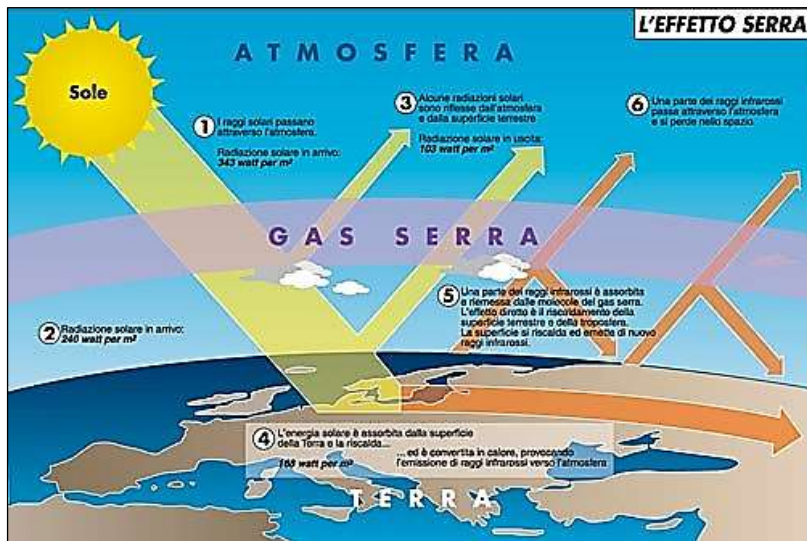


Fig. 1.8 - Il bilancio di energia globale tra la Terra e l'atmosfera: il Forcing radiativo della superficie. (Fonte: http://dioni.altervista.org/La_verita_clima.html)

L'aumento della concentrazione dei gas climalteranti provoca un incremento dell'effetto serra e di conseguenza un aumento del calore trattenuto dall'atmosfera. Questo meccanismo viene quantificato in climatologia attraverso il concetto di forzante radiativa (*Radiative Forcing*). La forzante radiativa è espressa in Watt per m²; valori positivi determinano un riscaldamento in prossimità della superficie terrestre, valori negativi al contrario producono un raffreddamento. I dati pubblicati nel novembre del 2015 dall'Organizzazione Mondiale della Meteorologia (WMO), nel rapporto *Greenhouse Gas Bulletin*, hanno evidenziato come la forzante radiativa dei gas sia aumentata tra il 1990 e il 2014 di ben il 36%. La CO₂ sarebbe responsabile di circa l'83% dell'aumento verificatosi negli ultimi decenni (Fig. 1.9) - (Giuliaci, 2016).

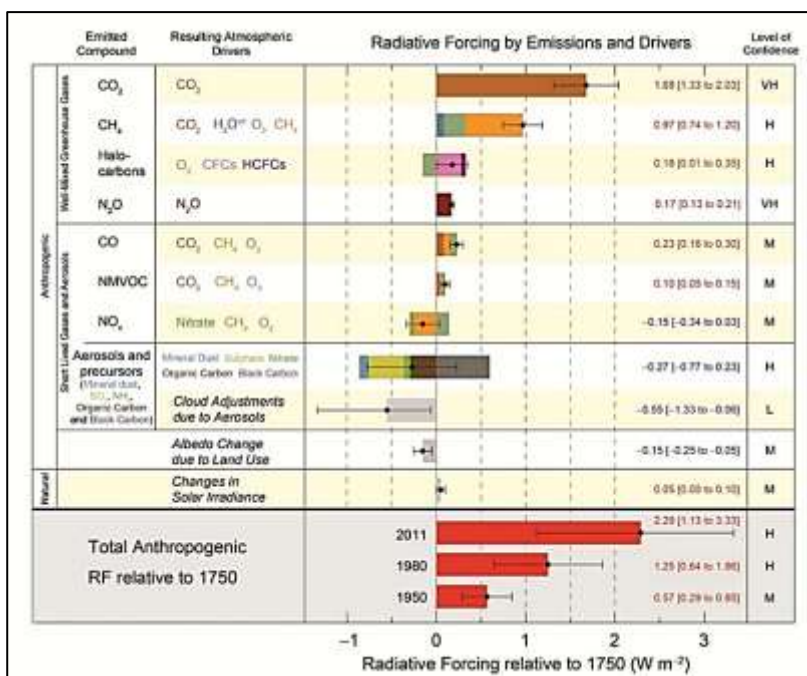
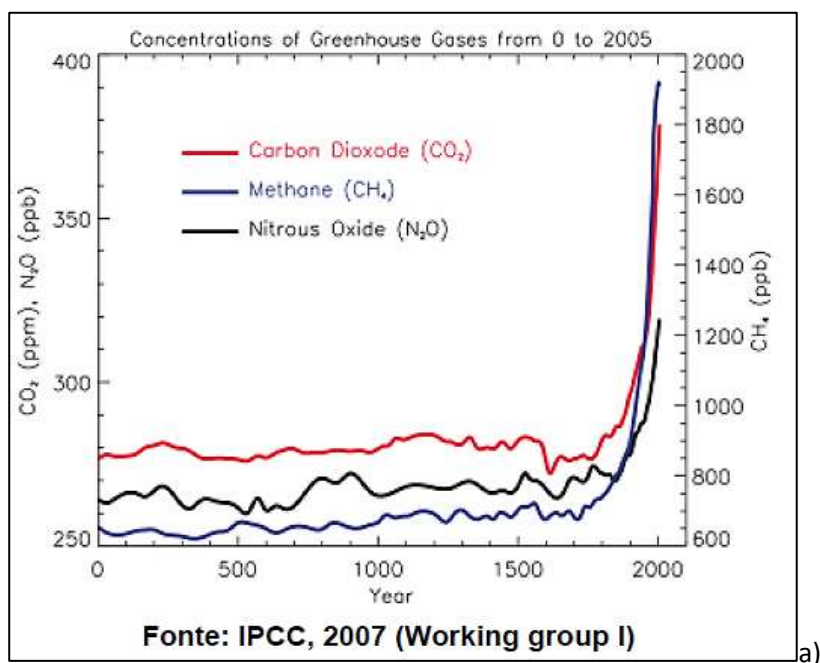


Fig. 1.9 - Stime della forzante radiativa nel 2011 rispetto al 1750 ed incertezze raggruppate per i fattori, tipologie di cambiamento più significative. Ogni stima è accompagnata da un livello di confidenza (Ultima colonna a destra): VH= molto alta, H= alta, M= media, L= bassa. Dal grafico si evince che la CO₂ risulta il principale fattore che determina i cambiamenti climatici. (Fonte: www.ipcc.ch)

La modifica della composizione dell'atmosfera e la sua conseguente azione sul bilancio energetico modificano l'equilibrio radiativo. I risultati presentati dalla comunità scientifica internazionale nell'ultimo report dell'IPPC mostrano che nel 2011 la forzante radiativa è stimata intorno a 3 W/m².

A livello globale i cambiamenti climatici in atto si contraddistinguono non tanto per il clima che sta cambiando (il clima ha sempre subito variazioni e sempre continuerà a subirne), quanto soprattutto per la rapidità con cui sta mutando. Un processo che non ha precedenti nella storia del pianeta e che è legato, al rapido aumento della concentrazione dei principali gas serra in atmosfera (CO₂, N₂O, CH₄),

connesso allo sviluppo delle attività antropiche. Il processo si è innescato, infatti, con l'avvio della Rivoluzione Industriale iniziata nel 1780. A partire da tale data, l'uso sempre più massiccio di fonti energetiche come i combustibili fossili quali il carbone, il petrolio e il gas naturale, sta modificando il clima in termini di bilancio energetico. L'ultimo dato disponibile proveniente dall'osservatorio Mauna Loa, alle Hawaii, rileva ad esempio che nel marzo 2015 la concentrazione dell'anidride carbonica nell'emisfero nord ha ormai superato la soglia di 400 ppm dopo un incremento di tipo esponenziale iniziato due secoli e mezzo fa (Fig. 1.10) - (Corigliano, 2016).



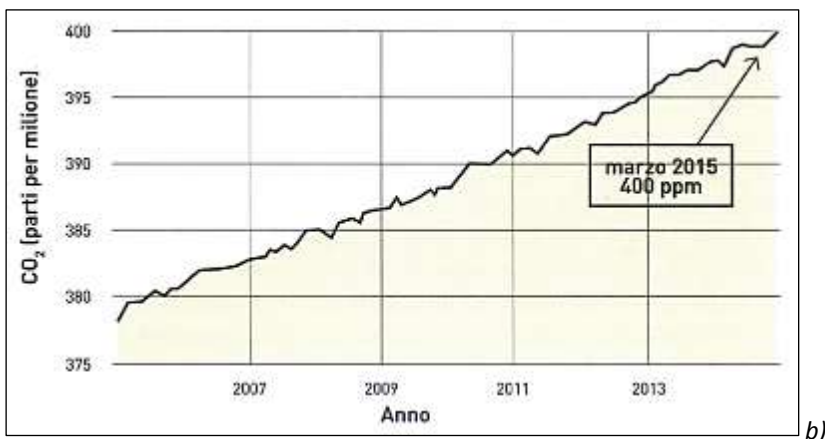
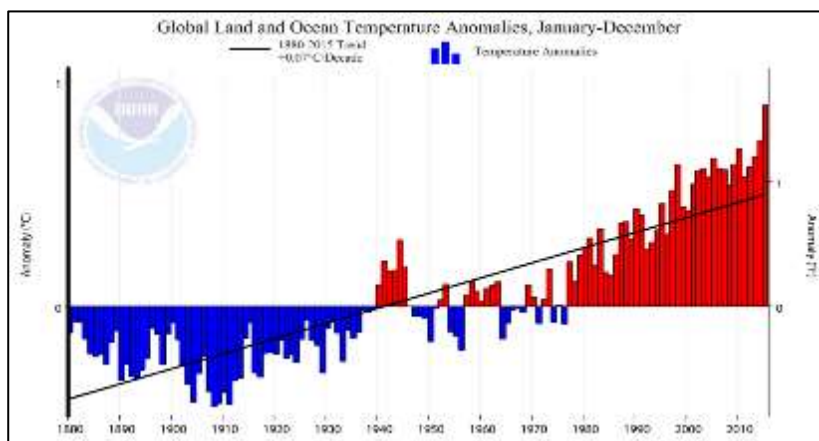


Fig 1.10 - Andamento della concentrazione della CO₂ dall'inizio delle misurazioni (a: fonte: IPCC) e negli ultimi cinque anni (b: fonte Corigliano, 2015): si noti l'andamento esponenziale della crescita avuta nel secolo scorso e il raggiungimento del livello record di 400 ppm nel marzo del 2015 come valore medio mensile

- Temperatura e riscaldamento globale

Il segnale più importante che emerge dalle osservazioni relative ai dati osservati al suolo, è la crescita delle temperature. Proprio per questo motivo per molto tempo si è utilizzato il termine riscaldamento globale (*Global Warming*) come sinonimo del cambiamento del clima. Negli ultimi anni si preferisce invece parlare di cambiamento climatico in quanto il riscaldamento, pur essendo estremamente diffuso sul pianeta, rappresenta solo uno degli aspetti della variazione del clima. Nella figura 1.11 sono mostrati i dati di temperatura media globale terrestre ed oceanica riferita al periodo 1880-2015: a livello globale si osserva che il riscaldamento medio nel periodo che va dal 1880 a oggi è di 0,07°C/decade. Un'analisi più dettagliata conferma anche che gli ultimi tre decenni sono stati i più caldi dal 1880. Il surriscaldamento globale ha infatti subito una brusca accelerazione proprio negli ultimi decenni, come dimostrato dal fatto che i 15 anni più caldi di sempre a partire dal 1880 sono tutti collocati

dopo il 1995: in particolare il 2015 e 2014 rappresentano gli anni più caldi in assoluto (Fig. 1.11). Il 2015 ha raggiunto il valore record di $+0,9^{\circ}\text{C}$ rispetto alla temperatura media del XX secolo (1910-2000), e il 2016 si sta rivelando l'anno più caldo, per lo meno per il periodo compreso tra Gennaio e Settembre. La recente variazione del clima, sembra confermare l'ipotesi che l'attuale ciclo di riscaldamento abbia origine antropica come asserito nell'ultimo report dell'IPCC.



YEAR	ANOMALY
2015	0,90°C
2014	0,74°C
2010	0,70°C
2013	0,67°C
2005	0,66°C
1998	0,63°C
2009	0,63°C
2012	0,62°C
2003	0,61°C
2006	0,61°C

Fig. 1.11 – In alto: dati di temperatura media globale terrestre ed oceanica riferita al periodo 1880-2015: si osserva che nel 2015 il riscaldamento medio (Global Warming), è stato pari a $+0,9^{\circ}\text{C}$ rispetto alla media di riferimento 1910-2000. Un'analisi più dettagliata conferma che gli ultimi tre decenni sono stati i più caldi dal 1880. A lato: i 10 anni più caldi dal 1880 al 2015. Fonte NOAA.

È da segnalare comunque che, nonostante il surriscaldamento interessi la quasi totalità del pianeta, l'incremento di temperatura non è stato uniforme dal punto di vista spaziale; infatti questo è stato più intenso nell'emisfero settentrionale (Fig. 1.12).

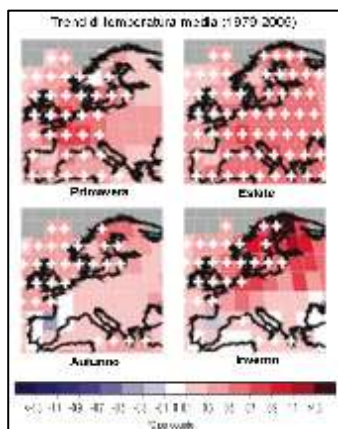
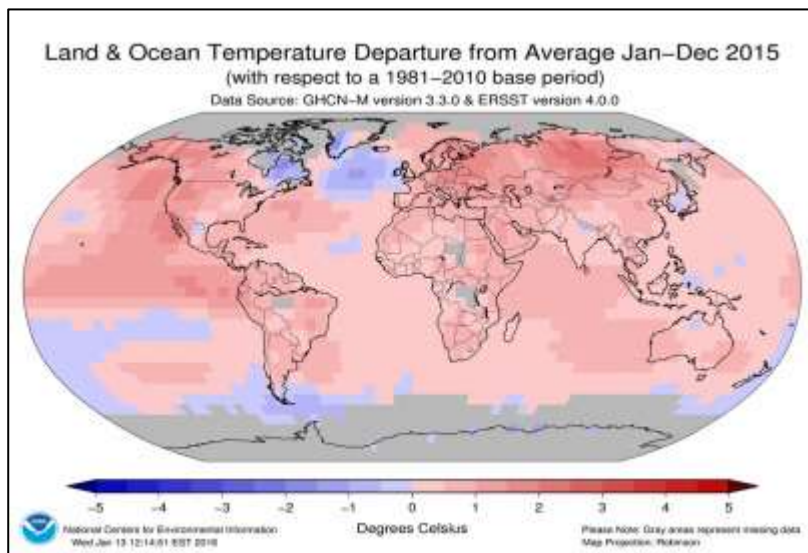


Fig. 1.12 - In alto: valori record di anomalia di temperatura del 2015 rispetto alla media del periodo 1981-2010 (Fonte NOAA). A sinistra: trend di temperatura in Europa nelle diverse stagioni relativamente al periodo 1979-2005 (Fonte IPCC): nel Mediterraneo si osserva un maggiore riscaldamento in primavera ed in estate; nel nord-Europa invece si osserva un maggiore riscaldamento nel periodo invernale (Fonte NOAA).

- **Precipitazioni**

I cambiamenti di temperatura influenzano anche i regimi precipitativi. La quantità maggiore di calore contenuto nell'atmosfera fornisce un surplus di energia che può contribuire all'estremizzazione dei fenomeni precipitativi. Essendo l'atmosfera divenuta mediamente più calda rispetto al passato, di pari passo è aumentata la quantità di vapore acqueo che l'atmosfera può contenere e che può riversare al suolo sotto forma di precipitazione. Data l'elevata variabilità spaziale e temporale delle precipitazioni, non c'è un trend univoco nell'arco dell'ultimo secolo, come si rileva per le temperature. A livello globale le precipitazioni hanno subito una generale diminuzione nella fascia tropicale e un aumento alle latitudini superiori (soprattutto nell'emisfero settentrionale) ma non ovunque, tanto che per esempio nel bacino del Mediterraneo la piovosità è in lieve diminuzione (Fig. 1.13). Inoltre è stato osservato anche un aumento dei fenomeni precipitativi intensi e degli episodi siccitosi. In particolare con il passare dei decenni in Italia piove meno e quando le piogge arrivano tendono a concentrarsi in periodi più brevi risultando quindi spesso più intense (Fig. 1.14).

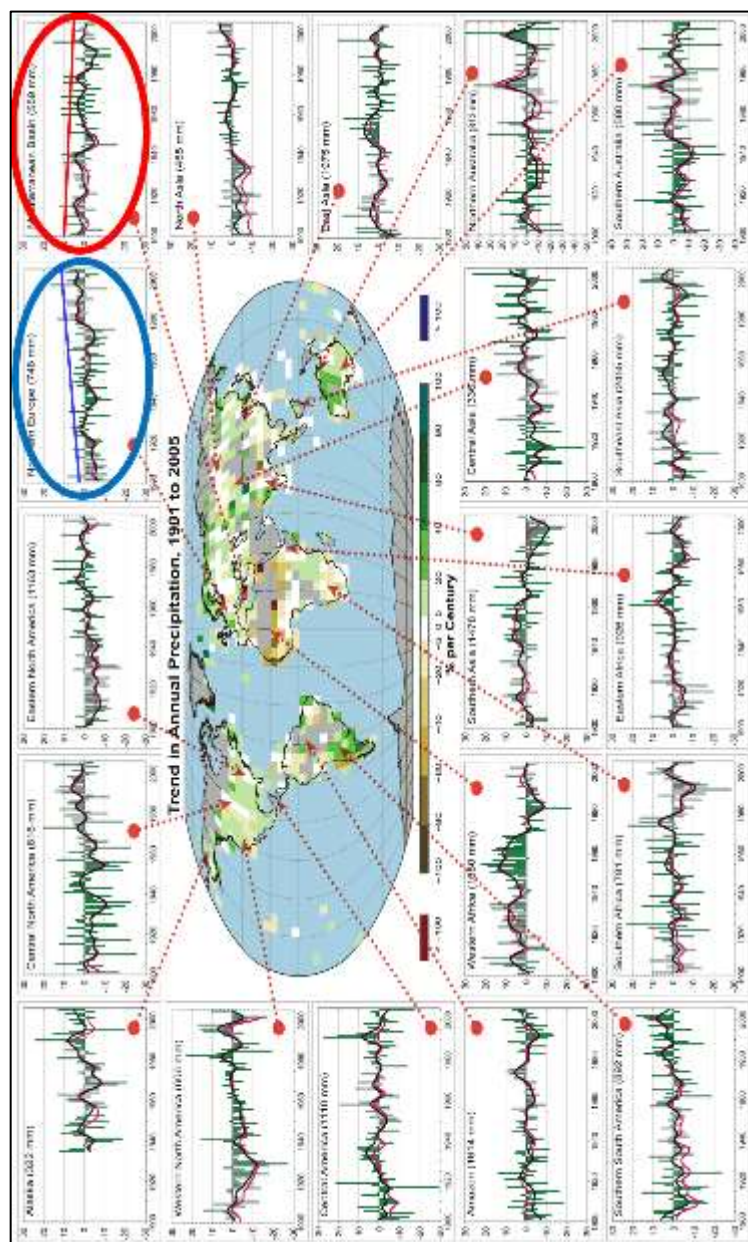


Fig. 1.13 - Variazione dei cumulati annui nel mondo: in particolare si osserva un aumento delle precipitazioni annue nel nord Europa e una diminuzione nel bacino del Mediterraneo (Fonte: National Climatic Data Center)

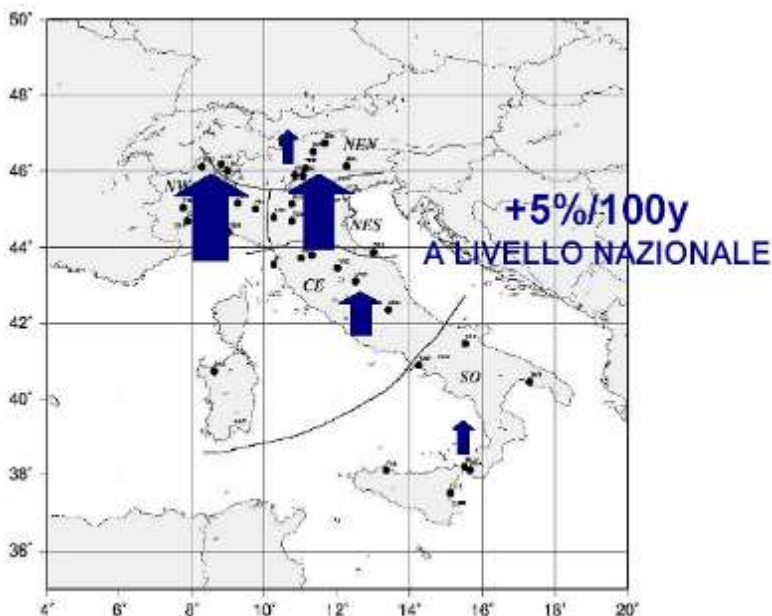


Fig. 1.14 - Aumento dei fenomeni precipitativi intensi (very wet days). Fonte: Brunetti, 2006.

- Eventi estremi e le modifiche climatiche nel mediterraneo

Le caratteristiche termiche e igrometriche dell'atmosfera sono fondamentali nel determinare la circolazione generale, ovvero gli spostamenti delle masse d'aria a scala planetaria. Negli ultimi decenni, verifiche empiriche sembrano indicare che le modifiche registrate nella temperatura superficiale del mare (SST) e nella temperatura dell'aria sono alla base di importanti variazioni in questi movimenti di masse d'aria a scala continentale. Più in generale, analizzando le maggiori anomalie verificatesi sul pianeta a partire dagli anni '90, emerge che molti degli eventi estremi rilevati con crescente frequenza trovano spiegazione plausibile nelle modifiche nella circolazione generale. Cambiamenti di posizione della cella di Hadley si riflettono sulla distribuzione dei centri di alta e bassa pressione, con effetti rilevanti sul Nord Atlantico e sui valori dell'indice NAO (North Atlantic Oscillation), calcolato come

differenza di pressione fra il Mar d'Islanda e le Azzorre. Valori positivi di questo indice causano un indebolimento delle correnti umide occidentali che provengono dall'Atlantico e che si dirigono verso il Mediterraneo occidentale. In questa situazione le perturbazioni atlantiche si spostano verso nord provocando precipitazioni prolungate ed intense sull'Europa settentrionale e periodi siccitosi nelle zone meridionali europee. Viceversa, valori negativi dell'indice sono associati a tempo umido sul sud Europa e secco al nord. Le fluttuazioni interannuali dell'indice NAO, quindi, sembrano essere alla base delle variazioni di piovosità sul continente europeo (Fig. 1.15).

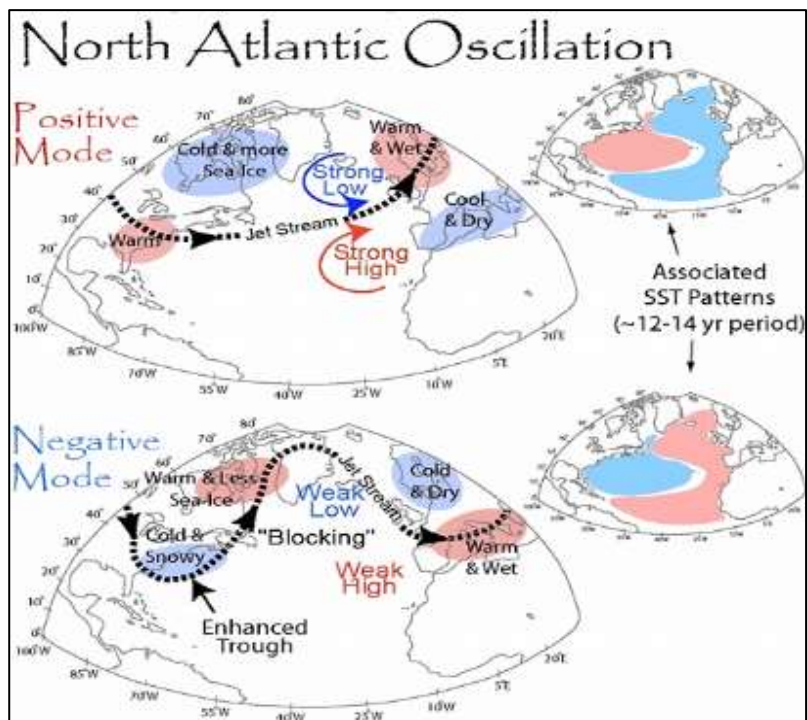


Fig. 1.15 - Variazioni dell'indice NAO (North Atlantic Oscillation) e le sue connessioni con la circolazione generale dell'atmosfera. (Fonte: http://climafluttuante.blogspot.it/2010_03_01_archive.html)

Le modifiche della circolazione generale che hanno portato ad un aumento dell'afflusso sul Mediterraneo di masse d'aria molto calde e ad uno spostamento verso nord delle perturbazioni atlantiche, sembrano aver contribuito, negli ultimi 25 anni, all'aumento della temperatura estiva del mare Mediterraneo (Fig. 1.16).

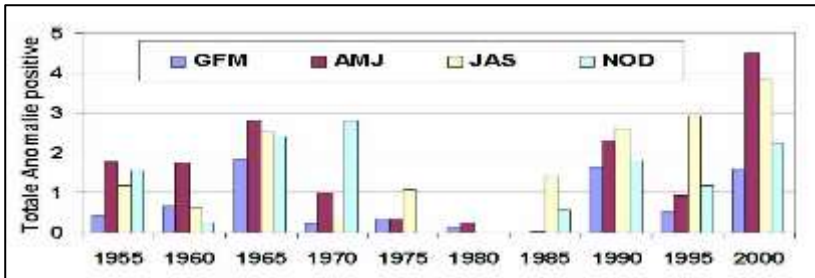


Fig. 1.16 - Numero di occorrenze stagionali delle anomalie termiche positive della superficie del Mar Mediterraneo.

Il quadro climatico dell'Italia, quindi vede diminuire le piogge annue, con un decremento pari al 5% per secolo (Brunetti M. et al. 2006) da imputare per lo più ad una riduzione degli apporti primaverili ed invernali e un conseguente ridotto rifornimento delle falde. Rispetto a qualche anno fa nel periodo autunnale, quando affluiscono masse d'aria molto umide, trovando temperature superficiali del mare più elevate, è più probabile che i fenomeni connessi a queste perturbazioni siano più intensi. Quindi oltre ai valori annuali delle piogge è cambiata anche la loro distribuzione stagionale e l'intensità, con un aumento dei periodi siccitosi e degli eventi intensi (Fig. 1.17).

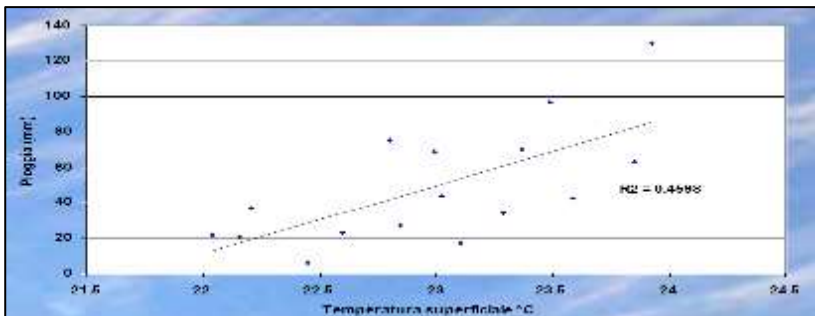


Fig. 1.17 - Precipitazioni intense e temperatura del mare (1979-2000). Fonte: GPCP e NCEP-NOOA

Gli impatti sul territorio di fenomeni precipitativi particolarmente intensi sono spesso devastanti, tenuto conto anche dell'orografia del territorio nazionale particolarmente accidentata e da sempre sottoposta a fenomeni di dissesto idrogeologico. Nel complesso l'aumento dei fenomeni estremi di natura alluvionale, caratterizzato da eventi di precipitazione intensi, ma circoscritti ad aree di dimensioni limitate, è triplicato rispetto al passato sia in Europa che in Italia. (Fig. 1.18).

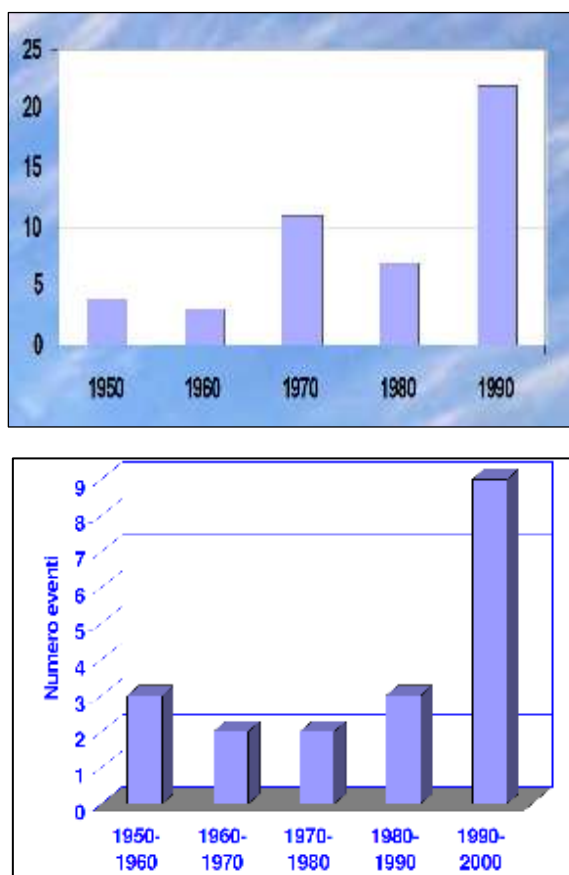


Fig. 1.18 - Impatti sul territorio: aumento del numero degli eventi alluvionali in Europa (in alto - fonte: Munich R.), e in Italia (in basso - fonte: ANSA) dal 1950 al 2000.

2. CENNI DI CLIMATOLOGIA DELLA TOSCANA

Secondo la classificazione di W. Koppen, la penisola italiana rientra completamente nell'area del *clima temperato caldo mesotermico* (temperatura media del mese più freddo da 18° a -3° C) che si divide in *clima temperato fresco* nella regione padano veneta, alto adriatica e peninsulare interna, con estati tiepide, inverni freschi e piogge abbondanti tutto l'anno, e in *clima mediterraneo* nella regione litoranea ligure - tirrenica, medio adriatica e ionica, con estati calde e secche, inverni tiepidi e piogge concentrate in inverno (Koppen, 1990). In realtà, a causa di numerosi fattori (come la vicinanza o meno dal mare, la continentalità, l'orografia e la latitudine), accanto al tipico *clima temperato caldo mesotermico*, vi sono aree con situazioni

di *clima microtermico* e di *altitudine* (regione alpina e alto appenninica). Viene qui proposta una suddivisione climatica basata sullo schema Koppen-Geiger, riportando come riferimento la codificazione letterale utilizzata da Koppen (Fig. 2.1).

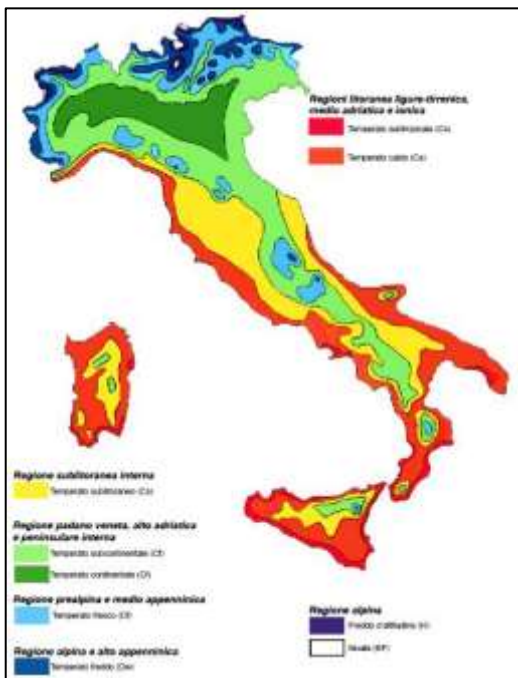


Fig. 2.1 - Suddivisione climatica dell'Italia basata sullo schema di W. Koppen-Geiger (Fonte: Koppen, 1990)

Le figure sinottiche che concorrono a determinare il clima di quest'area, sono dati da:

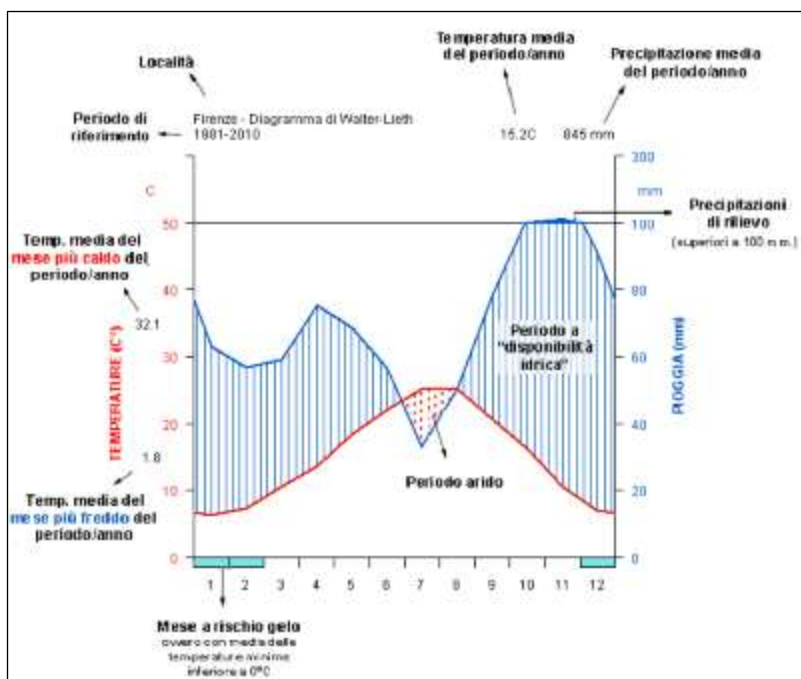
- l'anticiclone della Siberia: vasta area di alta pressione che si forma, principalmente d'inverno, sulle pianure dell'altopiano russo;
- l'anticiclone delle Azzorre: vasta area di alta pressione che si forma soprattutto in estate sull'oceano Atlantico ad ovest dell'Europa;
- l'anticiclone Africano: area di alta pressione che si forma sulle zone desertiche del nord Africa;
- le depressioni mediterranee: zone di bassa pressione che si formano sul Mediterraneo

La posizione e la forza di queste figure sinottiche determinano anche la variabilità climatica della Toscana, frutto della diversa influenza che la circolazione generale ha sul clima locale grazie all'interazione con il territorio. La regione Toscana, infatti, presenta una notevole variabilità climatica essendo un territorio eterogeneo ed annoverando molteplici strutture orografiche: monti (25,4%), colline (66,5%) e pianure (8,4%) che si avvicendano continuamente, rendendo il territorio molto vario. Aspetti e forme dissimili tra loro sono spesso molto vicine: le Alpi Apuane, che raggiungono quasi i 2000 m, scendono molto ripidamente sulla vicina fascia costiera della Versilia; le vallate della Garfagnana, del Mugello e del Casentino vicine alle vette più alte dell'Appennino; il gruppo montuoso dell'Amiata che sovrasta il territorio della Maremma. Solo in Toscana centrale e meridionale il paesaggio di collina è più uniforme. Il territorio può essere considerato diviso in una zona settentrionale e una meridionale dove temperature e precipitazioni si comportano in modo diverso. L'unità climatica della Regione è influenzata dal Mar Tirreno e dalla sua azione mitigatrice, dall'esposizione complessiva ad occidente, e dalla protezione ad oriente offerta dalla barriera appenninica che contrasta validamente le correnti da Est e Nord-est

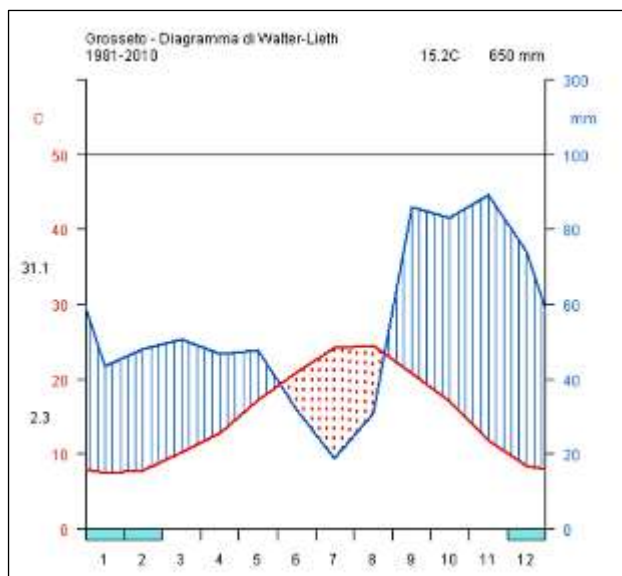
non molto frequenti ma rigide d'inverno. Le correnti predominanti sono quelle da ovest e soprattutto nord-ovest, ed il regime dei venti è influenzato dal succedersi delle depressioni di origine mediterranea e da quelle orografiche nel corso del semestre invernale: queste ultime, da ottobre ad aprile, richiamano correnti umide meridionali sulla Toscana. Ugualmente frequenti, specie nella parte settentrionale, sono le depressioni mediterranee autunnali, anch'esse apportatrici di abbondanti precipitazioni. Sulla Toscana centro-meridionale le correnti occidentali risultano meno intense per la presenza della Corsica che, con il suo rilievo disposto in senso meridiano, costituito da cime fra i 2000 e i 2700 m e con altopiani di una certa estensione, costituisce un rilevante ostacolo. Le maggiori precipitazioni si hanno in concomitanza di venti di Libeccio (SO), piuttosto che di Scirocco (SE), per la presenza dell'Appennino in posizione ortogonale al flusso. Spesso, invece, nei periodi di Scirocco, si hanno intense precipitazioni solo sulla parte più occidentale dell'Appennino Tosco-Emiliano. In inverno i periodi di tempo stabile risultano connessi alla presenza dell'Anticiclone Siberiano (correnti da est-nordest che apportano temperature rigide) o con l'Anticiclone delle Azzorre e, quindi, con periodi di pressione livellata, che provoca nebbie nelle vallate e fenomeni di marcata inversione termica. In estate lunghi periodi di tempo stabile si hanno con l'Anticiclone delle Azzorre che, nel caso in cui sia supportato dall'Anticiclone Africano fa "lievitare" le temperature (come accaduto nell'estate 2003 quando l'Anticiclone Africano è rimasto nel Mediterraneo per oltre 3 mesi). I "temporali di calore" e di instabilità dell'aria sono piuttosto frequenti nelle zone interne e sulla parte più settentrionale della Toscana. In autunno sono frequenti le depressioni di tipo orografico che si formano sul Golfo ligure (sottovento al rilievo) e quelle mediterranee, ma ciò soltanto a partire da metà ottobre; abbiamo inoltre una elevata frequenza di temporali sulla zona costiera per la presenza di un mare ancora molto caldo. Ad una prima analisi le diversità climatiche della Toscana possono essere riassunte come segue:

- clima temperato sulle colline interne;
- clima marittimo lungo la fascia costiera;
- clima continentale nelle zone montane interne;

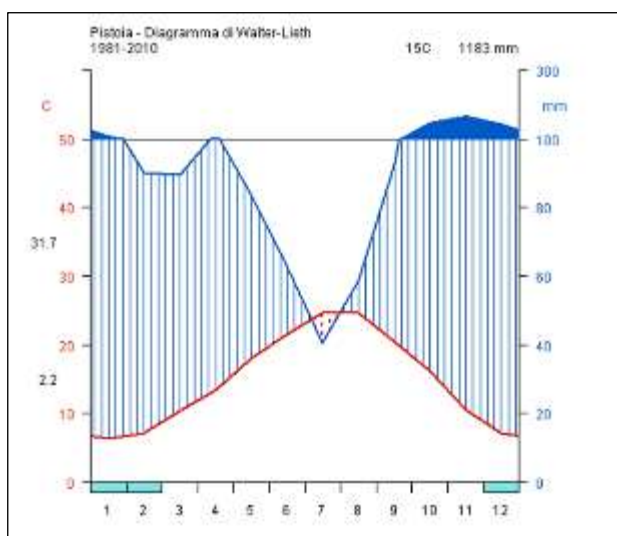
In seguito si presentano i diagrammi di Walter-Lieth (Fig. 2.2 a,b,c), riferiti al periodo 1981-2010, di tre città rappresentative della varietà climatica della nostra regione (Firenze, Pistoia e Grosseto):



a)



b)



c)

Fig. 2.2 - Diagrammi di Walter-Lieth di Firenze (a), Grosseto (b), e Pistoia (c) riferite alle medie del periodo 1981-2010. (Fonte: Consorzio Lamma <http://www.lamma.rete.toscana.it>)

Prendendo in considerazione i tre parametri principali (precipitazione, temperatura massima e temperatura minima) e la ripartizione di queste nelle quattro stagioni è possibile definire meglio la climatologia della Toscana.

- Precipitazioni

Data la complessità e l'eterogeneità del territorio toscano è possibile identificare alcune zone con caratteristiche pluviometriche diverse:

- Lunigiana, Alpi Apuane, Garfagnana, Appennino Tosco Emiliano e Casentino, dove si registrano i valori più alti;
- Pianura grossetana, costa maremmana, Isola d'Elba, isole meridionali, che sono invece le meno piovose, seguite da Crete senesi e Val di Chiana;
- Colline metallifere e Amiata, che separano la fascia costiera dalle valli interne;
- Valli interne, dove abbiamo valori di pioggia più bassi in quanto circondate da rilievi più o meno elevati, che limitano l'afflusso di aria umida dai settori orientali.

Nonostante a livello annuale, la Toscana si presenti come una regione umida, ci sono zone nei mesi primaverili e soprattutto in estate, a carattere sub-umido secco e semi-arido, nelle quali il deficit idrico può essere più o meno intenso. In primavera e in estate, infatti, l'aridità si estende dalle zone costiere alle valli interne, fino alle pendici appenniniche, creando talvolta problemi di vegetazione alle colture agricole. La mappa relativa al cumolato annuo mostrata in figura 2.3, indica un netto divario tra le zone più piovose della Toscana e quelle più aride (tra i 600 e i 650 mm del grossetano).

Si noti comunque che nella mappa di figura 2.3 non appare adeguatamente descritta la pluviometria delle Apuane per mancanza di un numero congruo di stazioni; in questa zona piove tra i 2500 e i 3000 mm/anno.

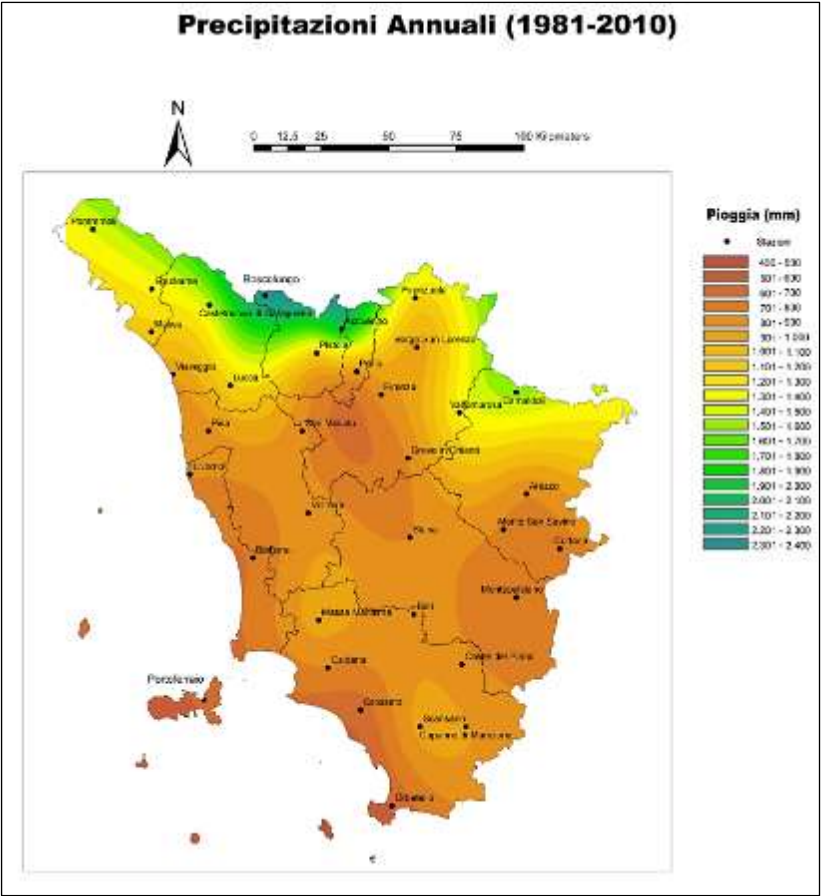


Fig. 2.3 - Precipitazioni medie annue 1981-2010 (dati da 35 stazioni CFR)

La distribuzione delle precipitazioni nei diversi mesi dell’anno (Fig. 2.4) segue un clima tipicamente mediterraneo, con una concentrazione

degli eventi in inverno e in autunno, stagione più piovosa, ed una riduzione in primavera e, soprattutto, in estate. Mettendo a confronto il regime delle precipitazioni con quello delle intensità medie (ottenuto dal rapporto tra le precipitazioni totali e i giorni piovosi) emerge che l'intensità media giornaliera si mantiene quasi costante da gennaio a luglio per poi innalzarsi nettamente da agosto a ottobre, mese nel quale raggiunge i valori massimi.



Fig. 2.4 – Regime delle precipitazioni e quello delle intensità medie (linea spezzata relativa all'asse di destra); dati di 35 stazioni CFR, dal 1981 al 2010.

Durante la stagione “fredda”, le zone che presentano i valori minimi, sono quelle interne della Val di Chiana e delle Crete Senesi (170-175 mm in inverno e 240-250 mm in autunno); al contrario nel semestre “caldo” minori apporti si hanno lungo la costa grossetana e sulle isole (100-105 mm in primavera e 90-95 mm in estate).

- Temperature minime

La distribuzione della temperatura è molto legata a fattori morfologici e geografici del territorio come la quota, la latitudine, la longitudine e la distanza dal mare. Si individuano macro aree nelle

quali la distribuzione è abbastanza omogenea e che peraltro presentano caratteristiche geografiche simili:

- Le zone montane dove le temperature raggiungono i valori più bassi;
- Le zone collinari o submontane dove si registrano valori più miti;
- La fascia che dalla pianura raggiunge la costa caratterizzata da temperature progressivamente più alte.

La mappa delle temperature minime medie annue (Fig. 2.5) evidenzia temperature comprese tra 4° C in corrispondenza delle zone montane (Amiata e Appennino Tosco-Emiliano) e 10° C che si raggiungono nelle zone costiere centro-meridionali (grossetano, Val di Cecina e Val di Cornia).

- Temperature massime

La distribuzione delle temperature massime individua, tra le più calde e le più fredde, le stesse aree evidenziate per le temperature minime, fatta eccezione per le isole di calore in corrispondenza delle aree molto urbanizzate. Si nota una maggiore influenza, rispetto alle temperature minime, della latitudine soprattutto nella fascia costiera, dove a parità di distanza dal mare e di quota, le zone più a sud risultano circa 1° C più calde di quelle a nord. La carta che descrive la distribuzione annuale delle temperature massime medie annue (Fig. 2.6) mostra un range complessivo di circa 11° C, con valori minimi compresi tra 10 e 13 °C nelle zone montane dell'Appennino Tosco-Emiliano e sull'Amiata, e valori di 20 - 21° C nella pianura grossetana, nelle coste adiacenti, e nell'area urbana intorno a Firenze. Ampia è la fascia di temperature massime tra i 19 e i 20° C, la quale comprende le principali valli fluviali, l'entroterra pianeggiante e la fascia costiera centro settentrionale.

Temperatura Minima (1961-1990)

SISTEMA DI PROIEZIONE: UTM-32N
 ELIPSOIDE DI RIFERIMENTO: WGS84
 COORDINATE ESTREME: Xmin 540124; Xmax 707024; Ymin 4670770; Ymax 4933770
 UNITA' DI MISURA: metri
 RISOLUZIONE: 500m

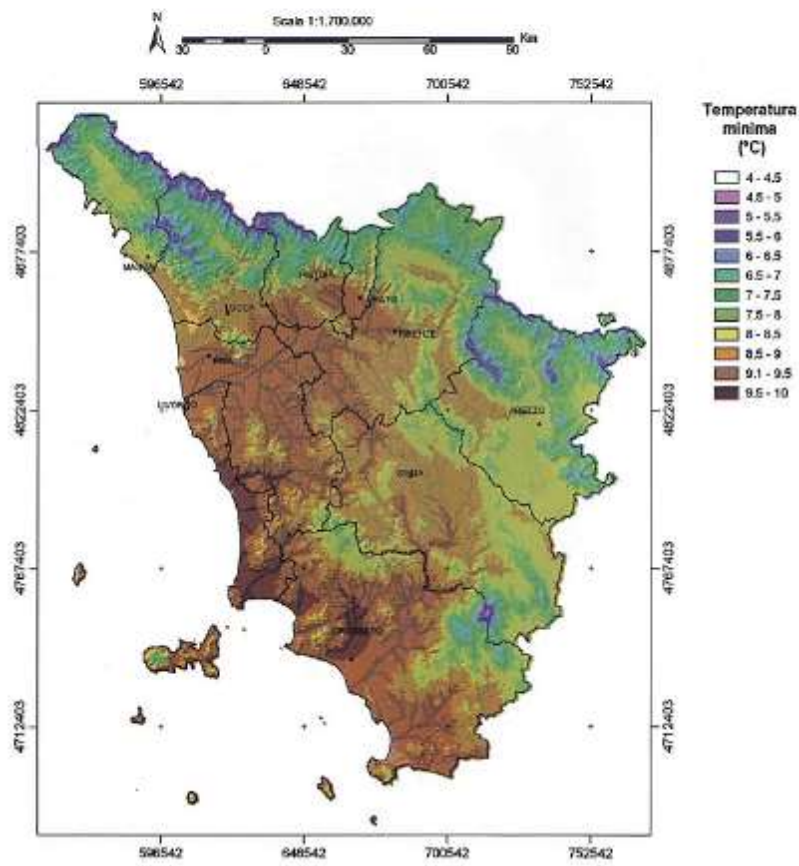


Fig. 2.5 - Temperatura minima (1961-1990). Fonte Consorzio LaMMA

Temperatura Massima (1961-1990)

SISTEMA DI PROIEZIONE: UTM-32n
 ELLIPSOIDE DI RIFERIMENTO: WGS84
 COORDINATE ESTREME: Xmin 548124; Xmax 787624; Ymin 4670770; Ymax 4933770
 UNITA' DI MISURA: metri
 RISOLUZIONE: 500m

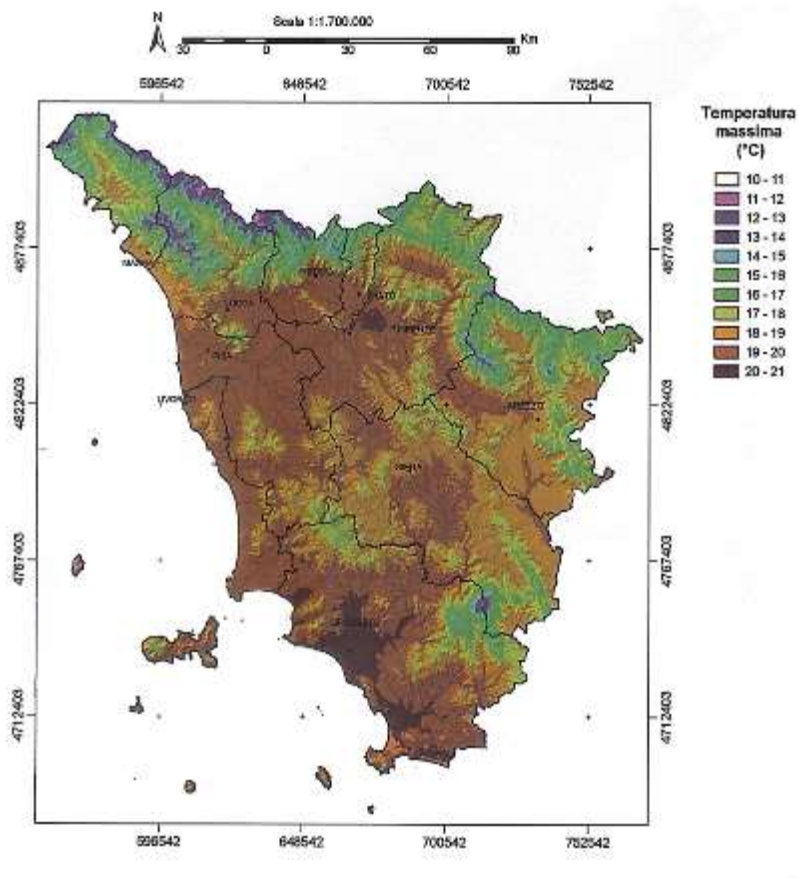


Fig. 2.6 - Temperatura minima (1961-1990). Fonte Consorzio LaMMA

2.1 Cambiamenti negli ultimi decenni

Anche la Toscana non è esente dal cambiamento climatico, con importanti ripercussioni sui sistemi fisici, chimici, biologici e su alcuni aspetti socio-economici legati alla salute, all'agricoltura, alle foreste, al turismo e alla distribuzione delle risorse. Dall'analisi dei dati di temperatura e precipitazione degli ultimi 5-6 decenni, relativi al territorio regionale toscano, si evince un trend che è in linea con quanto osservato a livello nazionale e nel bacino del Mediterraneo. Qui di seguito vediamo in sintesi alcune delle principali tendenze emerse da alcune ricerche riguardanti la Toscana dalla metà degli anni cinquanta ad oggi:

- le temperature aumentano soprattutto in primavera ed in estate (anche in autunno sembrano farlo, soprattutto dal 2000 in poi, ma questa tendenza è da confermare in futuro);
- il numero delle ondate di calore e dei giorni di calore in estate aumenta;
- il numero delle ondate di freddo e dei giorni di freddo in inverno è invece stabile;
- le precipitazioni cumulate e i giorni piovosi mostrano una lieve diminuzione (non significativa) a livello annuale, in primavera ed in inverno;
- negli ultimi 25 anni le precipitazioni annue non mostrano tendenze particolari, ma si alternano sempre più spesso anni o periodi con forte carenza idrica ad anni o periodi con forte disponibilità idrica;
- il numero di eventi con pioggia giornaliera molto intensa mostra un aumento negli ultimi 25 anni (soprattutto negli ultimi 6-7 anni, ma ciò è da confermare in futuro); allo stesso tempo aumenta la proporzione di pioggia annua dovuta a questi eventi;
- aumenta l'irregolarità nella distribuzione temporale delle piogge sia nella stagione secca che in quella piovosa; ciò può favorire un aumento degli eventi alluvionali.

- Temperatura

La temperatura fa registrare in maniera evidente segnali di cambiamento climatico. Si riportano qui di seguito alcuni grafici (Fig. 2.7) che mostrano l'andamento della temperatura minima, massima e media giornaliera a livello annuale per il periodo 1990-2014; l'analisi è stata eseguita mediando i valori delle stazioni meteorologiche di Firenze, Arezzo, Grosseto e Pisa che possono essere considerate rappresentative dell'intera regione. Si riportano nei grafici anche le linee di tendenza nel tempo e il valore medio "normale" climatologico relativo al periodo di riferimento 1971-2000.

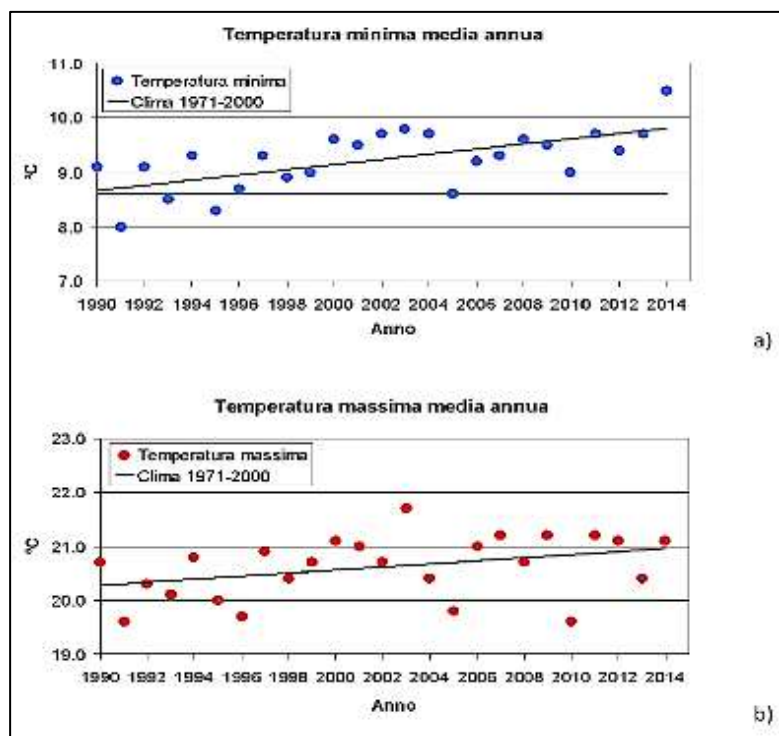


Fig. 2.7 - Temperatura minima (a) e massima (b) media annua dal 1990 al 2014 (dati mediati di Firenze, Arezzo, Grosseto e Pisa, di METEOAM). La linea nera indica la tendenza nel tempo, mentre la linea verde indica la temperatura "normale" di riferimento (relativa al periodo 1971-2000). Fonte: Consorzio LaMMA.

Dai grafici emerge, nel periodo preso in esame (1990-2014), una tendenza verso l'aumento della temperatura. Si noti come negli ultimi 25 anni (Fig. 2.7) la maggior parte delle osservazioni si trovi sopra la linea verde, ovvero al di sopra della media climatica (1971-2000). L'anno 2014 a pari merito con il 2003 è l'anno più caldo della serie mentre il 2015, il più caldo attualmente registrato a livello globale, viene subito dopo nella serie degli anni più caldi. Come mostra la mappa (Fig. 2.8), a livello annuale, l'anomalia media è pari a $+0,5^{\circ}\text{C}$, con picchi superiori al grado centigrado in provincia di Massa e Lucca e delle diminuzioni sui rilievi maggiori centro-meridionali e quelli del Pratomagno. Occorre specificare che quest'ultimo dato si riferisce al periodo 1991-2008 e che un ulteriore incremento termico si è verificato successivamente come è facile intuire dal fatto che il 2014 e il 2015 sono tra gli anni più caldi in assoluto.

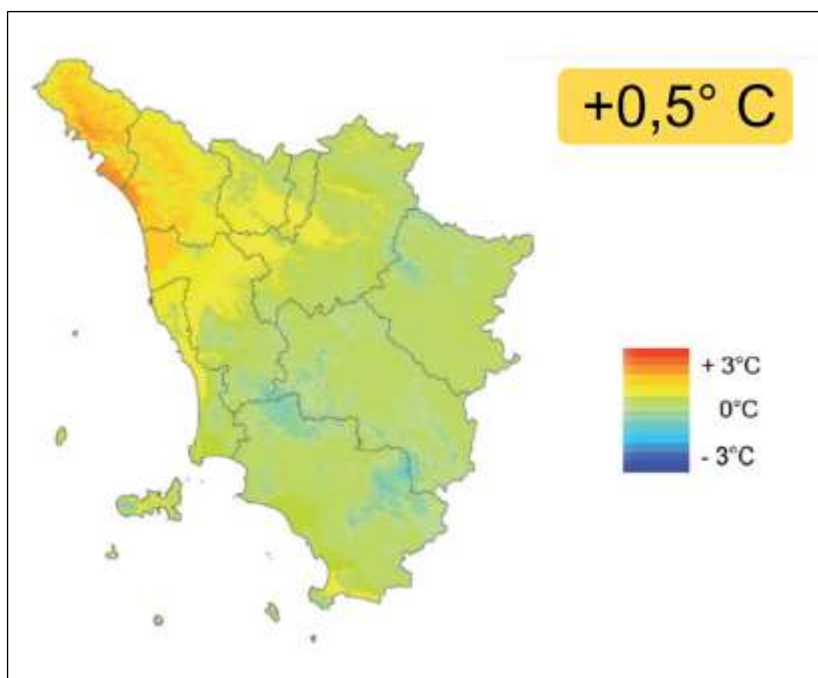


Fig. 2.8 - Mappa delle variazioni di temperatura media annua ($^{\circ}\text{C}$) del periodo 1991-2008, rispetto al trentennio di riferimento 1961- 1990. (Fonte: Consorzio LaMMA)

Considerando le singole stagioni si vede che la tendenza all'aumento delle temperature è evidente in primavera ($+0.6^{\circ}\text{C}$), in estate ($+0.9^{\circ}\text{C}$) e, in maniera più lieve, in inverno ($+0.3^{\circ}\text{C}$). In Autunno, invece, non si notano variazioni significative (Fig. 2.9).

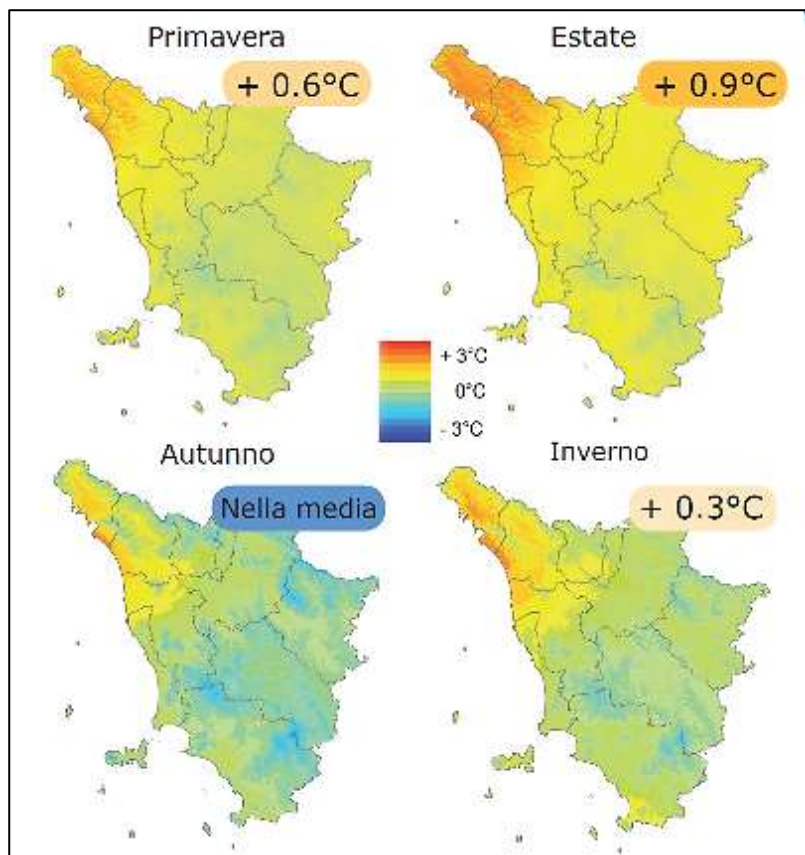


Fig. 2.9 – Mappe delle variazioni di temperatura media ($^{\circ}\text{C}$) primaverile, estiva, autunnale e invernale del periodo 1991-2008 rispetto al trentennio di riferimento 1961-1990. (Fonte: Consorzio LaMMA)

- Estremi di temperatura

Il grafico seguente (Fig. 2.10) mostra, in alto, il numero di giorni di calore estivi (intendendo per “giorno di calore” un giorno con temperatura media giornaliera superiore di almeno una deviazione standard, calcolata sul periodo 1971-2000), e in basso il numero di ondate di calore (inteso come un evento, di durata pari ad almeno 7 “giorni di calore” consecutivi) in estate dal 1990 al 2015 (media tra le stazioni di Arezzo, Firenze, Grosseto e Pisa) e il confronto tra il numero medio di “ondate di calore” nei periodi 1990-2015 e 1971-2000.

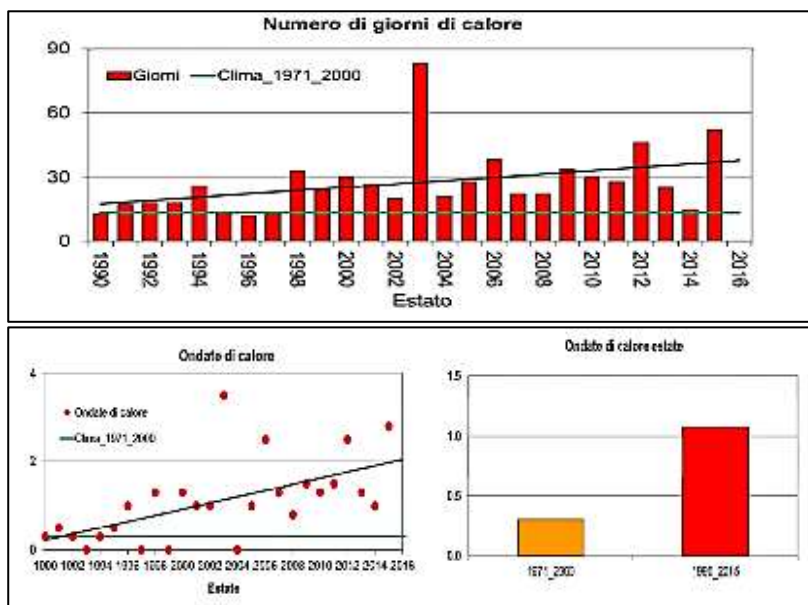


Fig. 2.10 - Andamento nel tempo del numero dei giorni di calore (in alto) e il numero di ondate di calore (in basso a sinistra) con il relativo confronto tra il numero medio di “ondate di calore” nei periodi 1990-2015 e 1971-2000 (in basso a destra). È indicata la linea di tendenza nel tempo (linea nera) e il numero di giorni “normale” di riferimento (linea verde) relativo al periodo 1971-2000. Fonte Consorzio LaMMA

Dai grafici emerge la tendenza verso l’aumento dei giorni di calore; si noti anche come negli ultimi 26 anni la maggior parte delle osservazioni si trovi sopra la linea verde, cioè sopra la media climatica.

Stesse considerazioni valgono per il numero medio di ondate di calore che, se confrontate con la media climatologica, risulta più che raddoppiato. Allo stesso modo i successivi grafici di figura 2.11 mostrano, in alto, il numero di “giorni di freddo” invernali (intesi come giorni con temperatura media giornaliera inferiore di almeno una deviazione standard alla temperatura media giornaliera climatologica, calcolata sempre sul periodo 1971-2000), e in basso il numero di “ondate di freddo” (inteso come un evento, di durata pari ad almeno 7 “giorni di freddo” consecutivi; media tra le stazioni di Arezzo, Firenze, Grosseto e Pisa) ed il confronto fra il numero medio di “ondate di freddi”, nei due periodi diversi 1990-2015 e 1971-2000.

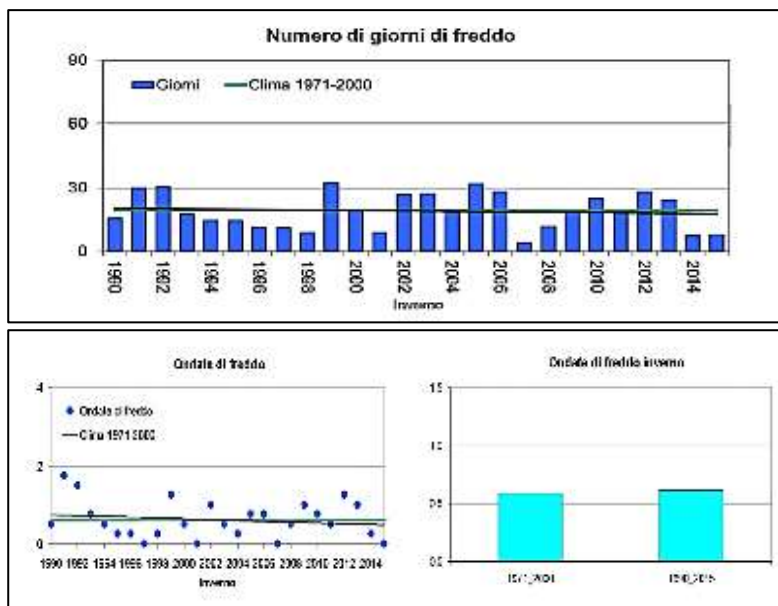


Fig. 2.11 - Andamento nel tempo del numero dei giorni di freddo (in alto) e il numero di ondate di freddo (in basso a sinistra) con il relativo confronto tra il numero medio di “ondate di freddo” nei periodi 1990-2015 e 1971-2000 (in basso a destra). È indicata la linea di tendenza nel tempo (linea nera) e il numero di giorni “normale” di riferimento (linea verde) relativo al periodo 1971-2000. Fonte Consorzio LaMMA.

In questo caso si nota come la tendenza sia stazionaria in entrambi i casi. Ciò vuol dire che in Toscana gli episodi di freddo intenso

invernale non sembrano aver subito variazioni significative negli ultimi anni rispetto al passato.

- **Precipitazioni**

Negli ultimi anni (dal 1955 al 2013), la Toscana ha registrato un trend in diminuzione delle precipitazioni annue (anche se non significativo) e dei giorni piovosi (Fig. 2.12 e Fig. 2.13)

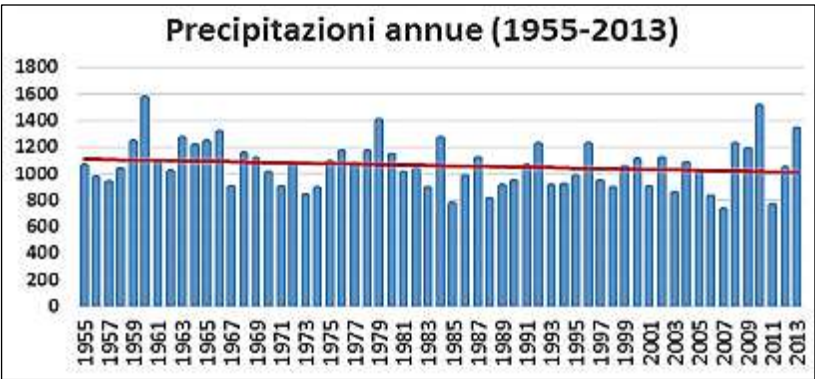


Fig. 2.12 – Pioggia cumulata annua (valori medi di 35 stazioni CFR, dal 1955 al 2013)

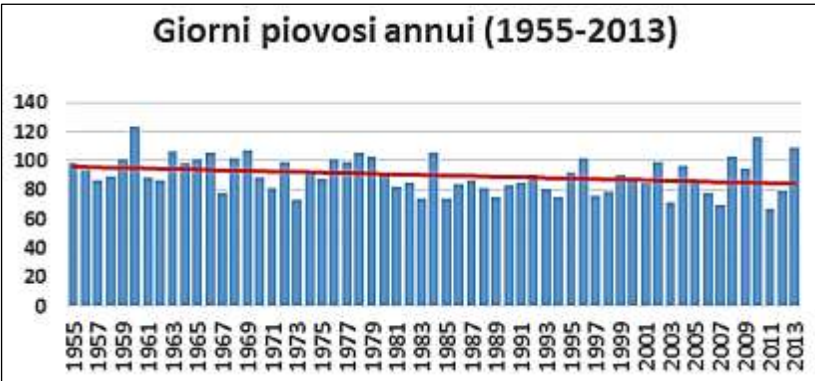


Fig. 2.13 – Giorni piovosi annui (valori medi di 35 stazioni CFR, dal 1955 al 2013)

La mappa di figura 2.14 mostra le anomalie di pioggia annua del periodo 1991-2008 rispetto al periodo di riferimento '61-'90 (media regionale -12%). Le maggiori anomalie negative si riscontrano nel nord-ovest, nella zona dell'Amiata, in prossimità delle Colline Metallifere e nel Casentino-Pratomagno.

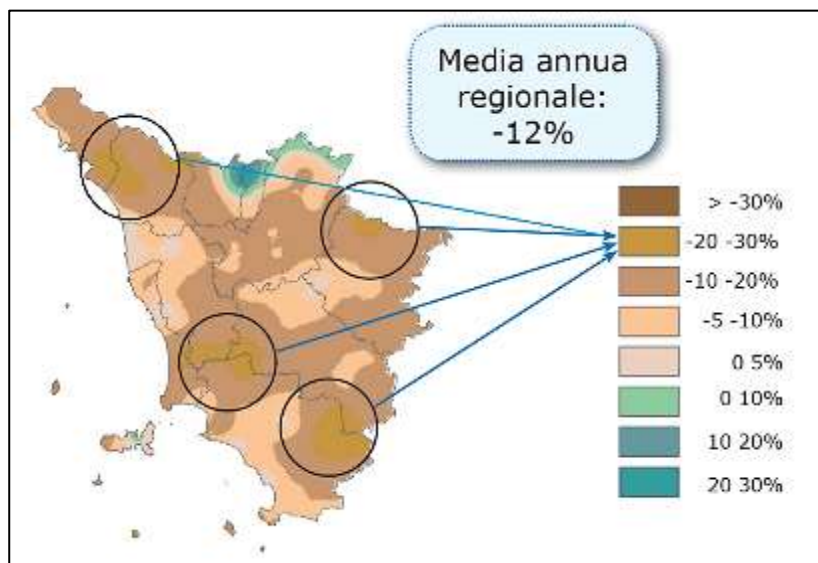


Fig. 2.14 – Mappa delle anomalie di pioggia annua (mm) del periodo 1991-2008 rispetto al trentennio di riferimento 1961-1990. (Fonte: LaMMA, 2010)

La diminuzione della pioggia è più evidente in inverno (-25%), in estate (-20%) e in primavera (-17%), mentre l'autunno è l'unica stagione in controtendenza che registra un incremento medio regionale di +7%. Analizzando il dato di precipitazione annuale sul periodo 1990-2014 (Fig. 2.15), non si evidenziano particolari tendenze ma emerge comunque, come negli ultimi anni sia aumentata la variabilità con l'alternanza di forti surplus e forti deficit (Fig. 2.16). Questa tendenza è ben evidenziata dal grafico di figura 2.17 dove si osserva un aumento della variabilità (espressa in termini di deviazione standard mobile su base quinquennale delle anomalie di pioggia) del cumulo di pioggia annuale nel tempo. Ciò significa

che recentemente si alternano, più di prima, anni con forte carenza idrica ad anni con forte disponibilità idrica. Sembra quindi che i cambiamenti climatici abbiano portato, e stiano portando, ad una estremizzazione del clima con le precipitazioni annue più abbondanti della serie (2010 e 2014) e quelle meno abbondanti (2007 e 2011) concentrate negli ultimi 7-8 anni; ciò pone problemi anche di gestione della risorsa idrica. Questo sembra essere il dato più significativo relativamente ai cambiamenti del regime pluviometrico in Toscana.

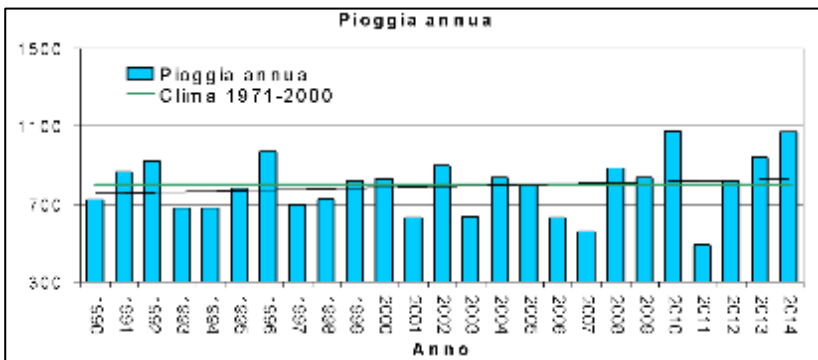


Fig. 2.15 - Pioggia cumulata annua del periodo 1990-2014. È indicata la linea di tendenza nel tempo (linea nera) e la pioggia “normale” di riferimento (linea verde) relativa al periodo 1971-2000. Fonte: Consorzio LaMMA.

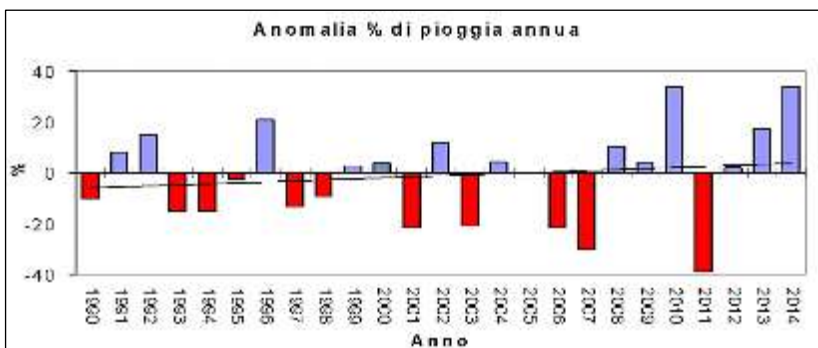


Fig. 2.16 - anomalia (%) di pioggia annuale. Gli istogrammi blu rappresentano surplus pluviometrici, mentre gli istogrammi bianchi rappresentano anni con deficit pluviometrico. Fonte: Consorzio LaMMA.

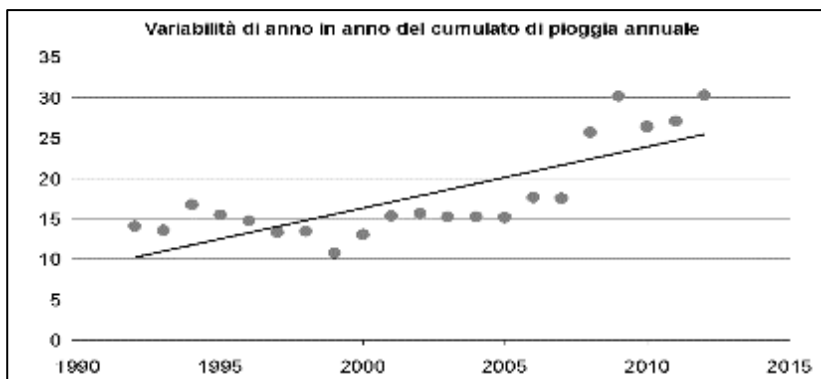


Fig. 2.17 - Deviazione standard su base quinquennale delle anomalie di pioggia annuale. È indicata la linea di tendenza nel tempo (linea nera). Fonte: Consorzio LaMMA.

- Precipitazioni intense

Quello delle precipitazioni è un fenomeno che presenta eterogeneità spaziale e temporale; il cumulado relativo ad un certo periodo può essere il frutto di molti, ma anche di pochi giorni piovosi. In quest'ultimo caso è anche possibile che le precipitazioni siano limitate a poche ore e, in taluni casi, solo a qualche decina di minuti. Uno stesso quantitativo di pioggia può così realizzarsi in tempi assai diversi con conseguenze importanti per il territorio, soprattutto dal punto di vista idrogeologico. È molto utile quindi conoscere il parametro *intensità*, cioè il rapporto tra il cumulado di pioggia e la durata degli episodi che l'hanno prodotta. In tema di gestione territoriale, se gli effetti di precipitazioni normali sono da ritenersi quasi sempre positivi per la ricostituzione delle riserve idriche, le "piogge intense" sono da considerarsi invece un fattore di rischio ambientale, per tre motivi:

- sono pericolose quando interessano le aree urbane, in quanto mettono in crisi i sistemi fognari, con conseguenti allagamenti di strade e dei piani bassi degli edifici;

- possono originare piene dei corsi d'acqua e innescare movimenti franosi sui versanti;
- possono produrre fenomeni di erosione del suolo per ruscellamento.

Definire cosa si intende per “piogge intense” non è facile. Infatti le caratteristiche pluviometriche variano enormemente da luogo a luogo e gli effetti sull'ambiente di uno stesso episodio possono avere effetti diversi in ragione delle diverse caratteristiche idrologiche, morfologiche e antropiche del territorio. Ad esempio, 50 mm di pioggia possono avere ripercussioni diverse a seconda che cadono in località diverse.

L'analisi delle “piogge intense” descritta nei prossimi capitoli, è stata eseguita definendo come intensa una giornata caratterizzata da precipitazione giornaliera superiore al novantesimo percentile (R90p). Per avere un'idea più chiara di come il concetto di “evento intenso” cambi da luogo a luogo e nei vari periodi dell'anno, ci viene in aiuto la figura 2.18 in cui vediamo rappresentata la distribuzione spaziale delle soglie di pioggia giornaliera, corrispondenti al novantesimo percentile, nelle varie aree della Toscana in ogni stagione. Le aree che mostrano soglie più elevate sono caratterizzate da quantitativi di pioggia annui maggiori e da una maggiore frequenza di eventi “estremi” (Fig. 2.19). [Nel presente volume il termine di “precipitazione estrema” è inteso come sinonimo di “precipitazione intensa”]. Appare interessante osservare che in estate, nelle aree costiere e in alcune aree interne, le soglie risultano essere più alte, rispetto alla stagione invernale e primaverile; ciò è dovuto alla maggiore incidenza degli eventi temporaleschi.

Distribuzione spaziale delle soglie di pioggia intensa che corrispondono al novantesimo percentile (1981-2010)

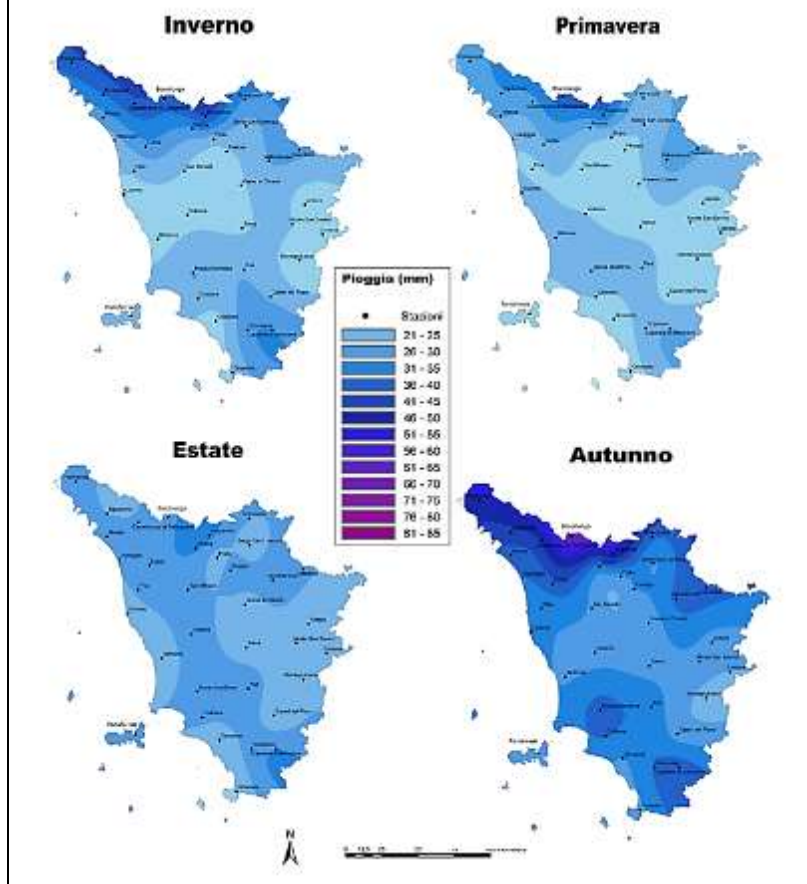


Fig. 2.18 – Spazializzazione delle soglie di pioggia intensa che corrispondono al novantesimo percentile (R90p). Dati di 35 stazioni CFR, dal 1981 al 2010.

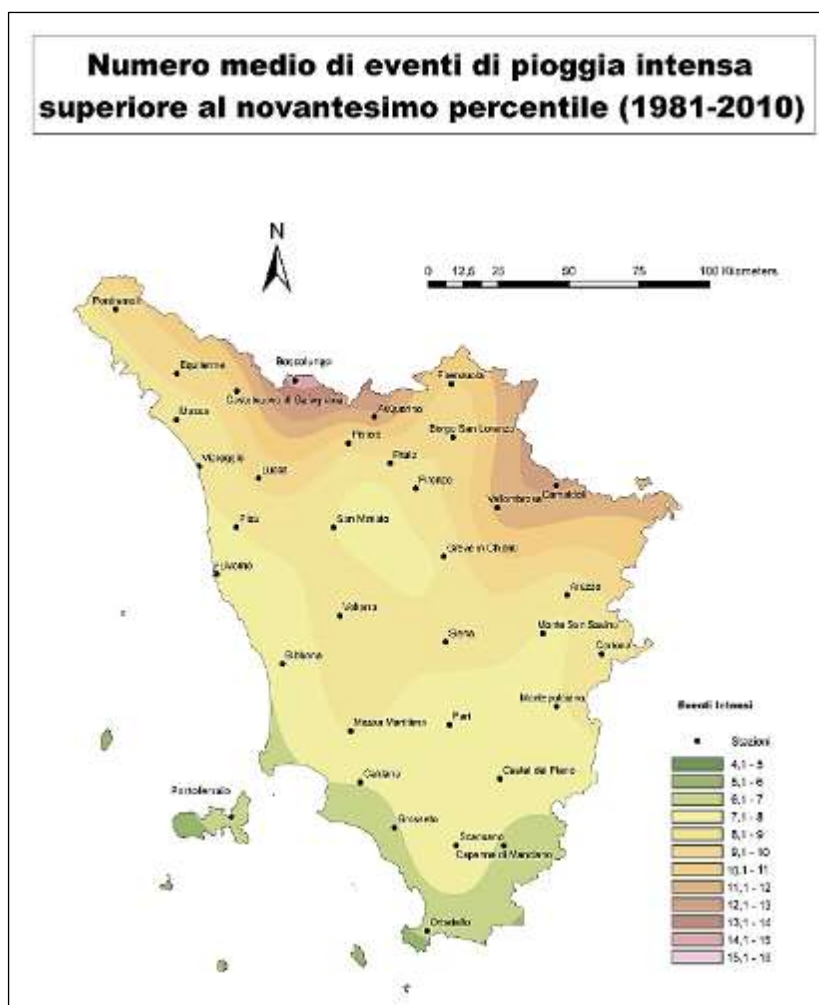


Fig. 2.19 Media annuale di giorni di pioggia intensa superiore alle soglie stagionali di novantesimo percentile. Dati medi di 35 stazioni CFR (1981-2010)

E' evidente quindi che anche i fenomeni di "pioggia intensa" sono riconducibili a fattori geografici e stagionali. La costruzione di un cartogramma a isolinee della ripartizione geografica della media del massimo quantitativo annuale di pioggia giornaliera sul territorio

toscano (Fig. 2.20) ci permette di notare come in tutte le zone montane si registrano valori elevati.

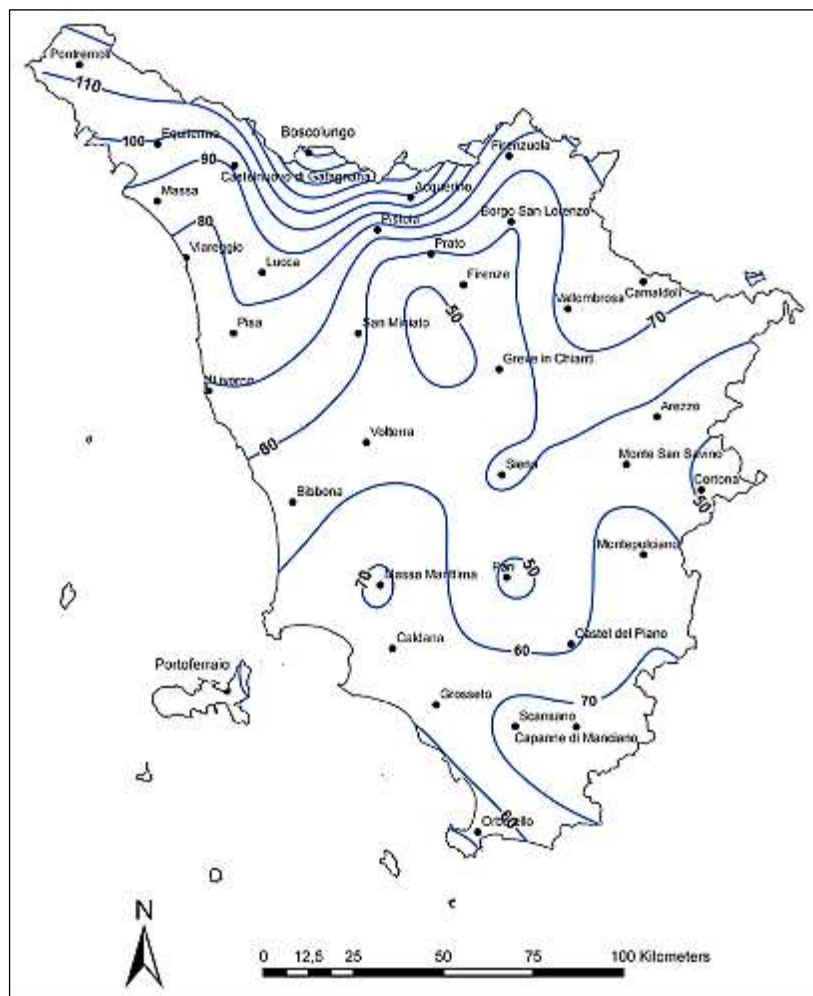


Fig. 2.20 – Isoiete della media (1981-2010) del massimo quantitativo annuo di pioggia giornaliera. Dati di 35 stazioni CFR.

In modo particolare le zone di nord-ovest sono quelle che fanno registrare valori più elevati, mentre le aree interne tendono ad avere eventi più attenuati anche rispetto a quelle costiere.

Nonostante la tendenza delle ultime decadi in Toscana vada verso una diminuzione delle piogge e del numero dei giorni piovosi, nell'ultimo periodo ci sono segnali che indicano una tendenza verso un aumento dei fenomeni precipitativi molto intensi (Fig. 2.21).



Fig. 2.21 - Numero medio di giorni con pioggia giornaliera superiore al novantesimo percentile. Valori medi di 35 stazioni CFR, dal 1990 al 2013.

2.2 Gli effetti del cambiamento in atto sul territorio toscano: le alluvioni

L'aumento di frequenza e dell'intensità degli eventi intensi di precipitazione (sia in aree localizzate che più estese), conseguenza del cambiamento climatico in atto, hanno portato ad un aumento della frequenza degli episodi di dissesto idrogeologico, sia con il verificarsi dei cosiddetti *flash floods*, o alluvioni improvvise, sia con il verificarsi di eventi concentrati in pochi giorni, con considerevole aumento del rischio (Fig. 2.23).

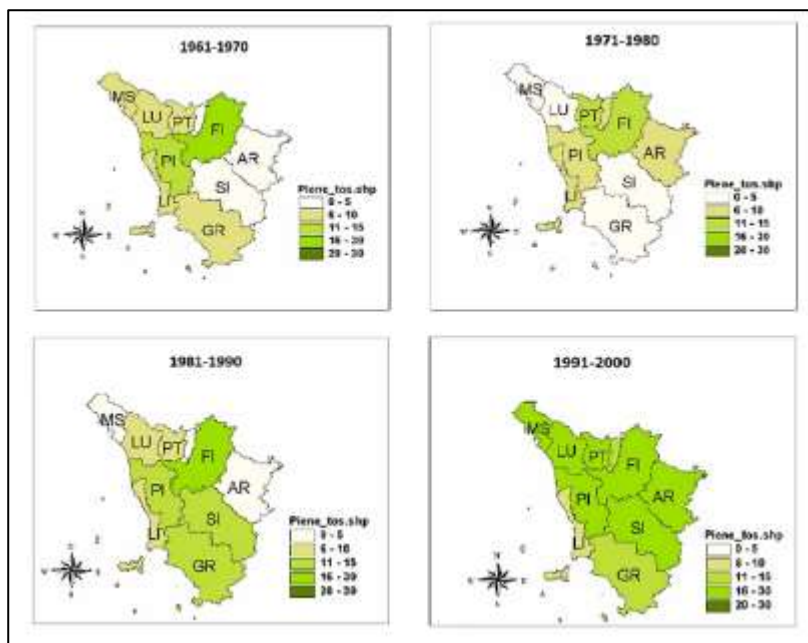


Fig. 2.23 – Impatti sul territorio. Le variazioni di frequenza dei giorni con piene in Toscana per decennio.

L'impatto degli eventi estremi di precipitazione è strettamente legato alle caratteristiche geo-morfologiche del territorio, ma anche alle condizioni di vulnerabilità territoriale, quest'ultima in crescita a causa

dell'uso sempre più incontrollato del suolo (cementificazione, deforestazione, ecc.). L'indagine che segue, non si sofferma su questi aspetti, comunque rilevanti, ma bensì sulle caratteristiche meteorologiche che hanno generato fenomeni alluvionali o forti allagamenti. Nella tabella 2.1 si riporta un elenco, dei principali eventi alluvionali/forti allagamenti osservati in Toscana (con danni a cose e/o persone) dal 1948 al 2015, generati da fenomeni meteorologici intensi. In rosso sono evidenziati gli episodi più significativi. È possibile osservare un netto aumento degli eventi negli ultimi anni (Fig. 2.24).

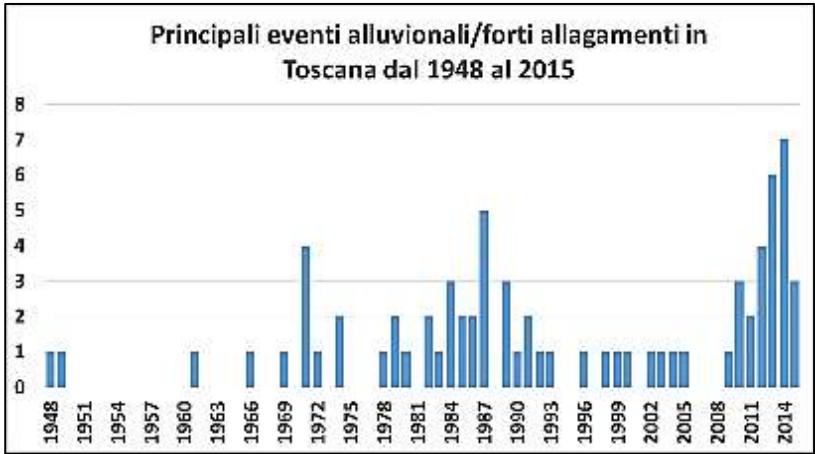


Fig. 2.24 – Eventi alluvionali/forti allagamenti accaduti in Toscana dal 1948 al 2015, elencati in tabella 2.1.

Anno	Giorno/ periodo	Fiume	Zona	Danni/effetti	Evento meteo
1948	26-27 Ottobre	Vari	Provincia di Arezzo	Alluvioni	
1949	Autunno		Provincia di Firenze e Livorno	Alluvioni	
1961	27 Ottobre	Albenga, Marsiliana, Polverosa, Maseo	Marittima Grossetana (Alberone e Doganella)	Alluvioni	
1966	3-4 Novembre	Bacini dell'Arno e dell'Ombrone	Vaste aree della Toscana	Alluvioni	Gala ore 9 del 3 novembre alle ore 9 del 3 novembre: piogge diffuse su tutta la regione: 100 mm sono state superate. In quasi tutto il territorio: 200 mm tutta la zona di spartiacque a sud del Passo dell'Abetone fino a quella dei Mondrioli e un'ampia fascia che unisce l'Appennino alla costa grossetana. All'interno di questa fascia sono presenti tre aree che si distinguono per l'eccezionalità delle piogge cadute: 300 mm intorno alla città di Grosseto e vicino a M. Leon, nella zona del bacino dell' Arno, e nella valle dell'Arno ad ovest di Arezzo dove si sono registrate 400 mm
1969	21-22 Novembre		Provincia di Siena	Subfrangi	
1971	18-19 Gennaio		Provincia di Firenze		
1971	23-25 Gennaio		Provincia di Pistoia	Pioggie ed esondazioni corsi d'acqua	
1971	7 Giugno		Livorno, Collesalveti, Rosignano Marittimo, Cecina	Subfrangi	
1971	13-14 Ottobre		Provincia di Grosseto: Capalbio, Orbetello e Manciano	Subfrangi	
1972	10-11 Settembre		Provincia di Livorno: Bagno di Luco, Borgo a Mozzano Provincia di Massa Carrara: Carrara, Luccombe Nardi, Aulla e Podenzana	Subfrangi	
1974	31 Gennaio 1 Febbraio		Provincia di Grosseto	Subfrangi ed esondazioni	
1974	3-4 Marzo		Provincia di Grosseto	Subfrangi ed esondazioni	
1978	28-30 Gennaio		Provincia di Arezzo	Alluvione	
1979	8-9 Gennaio		Provincia di Pistoia: Pistoia, Agliana, Quarrata, Serravalle Pistoiese, Ponte Buggianese	Alluvioni	
1979	11-12 Gennaio		Provincia di Lucca: Camaiore	Forti piogge e frane	
1980	3-6 Novembre		Provincia di Arezzo: Anghiari, Poppi, Cortona, Castiglion Florentino e San Sepolcro Provincia di Grosseto: Magliano in Toscana	Incendamenti e frane	
1982	Giugno- Luglio		Provincia di Grosseto: Capallano, Manciano, Sorano, Castel del Piano Arcidosso, Suggiano e Pitigliano	Subfrangi e dissesti idrogeologici	
1982	8-15 Novembre	Serchio, Lima, Zanone, Pecora, Bruna, Cembrone, Castelli, Mirandolina, Senna, Larantella, e Tressa	Vaste zone della regione.	Esondamenti e frane	

1983	24-25 Agosto		Provincia di Livorno: Castagneto Carducci, San Vincenzo	Esondazioni. Allagati 50 ha di terrenocoltivati; 2 morti per annegamento	Forti temporali
1984	6 Settembre		Provincia di Livorno: Donoratico, Ponte di Marmo	Nubifragi e allagamenti	
1984	23-24 Settembre		Provincia di Grosseto: Campagnatico, Castiglion della Pescaia, Grosseto Roccastrada e Scansano	Esondazioni e nubifragi	
1984	4-5 Ottobre	Bisenzio, Ombrone	Province di Prato, Firenze e Grosseto e Pistoia	Alluvioni ed esondazioni	
1985	26 Agosto		Varie zone delle regione	Nubifragi e allagamenti	L'Osservatorio Ximeniano di Firenze registra 74 mm in un'ora (record in 150 anni di osservazioni)
1985	30 Ottobre		Isola D'Elba	Forti temporali, ed esondazioni	
1986	1 Marzo		Isola d'Elba	Forti temporali, ed esondazioni	
1986	17-19 Giugno		Varie zone della regione, soprattutto in provincia di Firenze e Arezzo	Violento temporale, frane	
1987	24-25 Agosto		Provincia Di Lucca e Massa Carrara, Garfagnana	Violento nubifragio, dissesti idrogeologici provocano danni alla viabilità	Si registrano 300 mm in 3 ore
1987	10-11 Ottobre	Bruna, Sovata	Varie zone della regione.	Nubifragi, esondazioni, frane. Danni alla viabilità	
1987	29 Ottobre		Provincia di Pisa: Castelnuovo Val Cecina, Pomarance	Alluvioni	
1987	29 Ottobre	Fosso del Chianone, Fosso delle Basse	Provincia di Grosseto: costa grossetana e Maremma	Nubifragi	
1987	21-25 Novembre	Ombrone	Varie zone delle regione	Esondazioni, nubifragi	
1989	2-4 Luglio		Firenze	Allagamenti	110 mm in tre giorni
1989	11 Luglio	Colfaro, Illegio	Provincia di Firenze: Valdelsa, Certaldo Provincia di Pisa: Cerbaia, Palaia	Esondazione e allagamenti	
1989	15 Luglio	Staggia	Provincia di Siena: Poggibonsi	Esondazione	
1990	25 Novembre	Pescaia	Pescaia/Valdinievole	3500 ettari di terreno allagato, oltre mille aziende danneggiate, 200 abitazioni evacuate, danni alle strade	130-140 mm di precipitazione giornaliera, con punte di 80/90 mm in 4 ore
1991	13 Ottobre	Cecina, torrenti fra Bolgheri e Bibbona, Era, Elsa, Vingone; nel pratese torrenti Icio, Marinella e Rio	Bolgheri, Cecina, campagne fra Poggibonsi e Certaldo, alcuni quartieri di Prato	Abitazioni evacuate, terreni allagati, 1 disperso, ponte crollato (Bolgheri)	Pioggie diffuse su tutta la regione sia il giorno 12 che il giorno 13 con notevoli cumulati, diffusamente superiori a 100 mm in due giorni su buona parte del territorio, in particolare sulle zone centro-settentrionali, il giorno 12 punte fino a 140-160 mm su diverse aree della regione
1991	15 Novembre	Bisenzio, Ombrone Pistoiese, Siena, Greve, Ema, Vingone, Elsa, Era	Allagamenti a Campi Bisenzio, nel pistoiese (Quarrata e altre località della piana), nel fiorentino (Grassano, Scandicci, Certaldo e Castelfiorentino, nell'empolese); danni anche in Mugello per la Sieve.	Abitazioni evacuate, terreni allagati, 1 morto.	Pioggie diffuse e persistenti con punte fino a oltre 100 mm giornaliere

1992	9 Giugno	Freddana	Alcune località della piana di Lucca (Fabbriana, Ponte Rosso, Cappelletti e frazione di Mugellano)	Danni a culture ed abitazioni. Colpisce anche la Strada Provinciale nella zona del Guercio: anche qui danni alle abitazioni.	Fenomeno concentrato con punte fino a 240 mm in 12h
1992	30-31 Ottobre	Ombione, Pistoiese, alcuni torrenti del Pratese, Mugello e Terzelle a Firenze	Poggio a Caiano, alcune periferie di Prato, alcuni quartieri di Firenze	Poggio a Caiano è invasa dalle acque uscite dall'argine destro dell'Ombione. Il torrente Vello strappa, allagando i piani terra, scantinati e garage a Galassi e Villafiorita. Alcuni quartieri nord di Firenze allagati da Terzelle e Mugello	Precipitazioni diffuse, persistenti e a tratti intense su tutta la Toscana con punte sulle zone centro-settentrionali e a ridosso dei rilievi. Valori giornalieri diffusamente oltre i 50-100 mm sia il giorno 30 che il 31 con punte fino a oltre 150 mm giornalieri il 31
1993	8 Ottobre	Egola	Ponte a Egola	Allagato Ponte a Egola	
1995	19 Giugno	Sera, Vecchio, Seravizza, Versilia	Cardano, Seravizza, Stazzema	Danni ingentissimi alle abitazioni e alle cose, 19 morti	Supercella temporalesca particolarmente strutturata con impressionanti quantitativi di pioggia registrati al suolo sia a livello giornaliero che al livello orario. 520 mm/24 ore con punte fino a 300 mm in tre ore
1998	30 Settembre	Forti allagamenti urbane	Campore (Versilia), Montemurlo (Prato)	Ingenti danni alle abitazioni e alle attività commerciali	Intensi temporali con cumuli fino a 150 mm
1999	22 Ottobre	Torrente Fescione	Montignoso (Massa), Camaiore	Allagamenti e frane	Intensi temporali con cumuli fino a 100-150 mm
2000	20 Novembre	Serchio	Lucca (Altopascio, esondazioni in Valfraddana). Allagamenti sulla costa nel bacino del lago di Massaciuccoli anche in conseguenza di forti mareggiate	Allagamenti, frane (5 vittime a Vinchiana)	
2002	4 Settembre	Torrenti	Isola d'Elba	Torrenti in piena travasano in mare decine di auto, campeggi spazzati via, Traghetto e barche galleggiano nel largo mare che per diverse centinaia di metri dalla costa si tinge di marrone	Forti temporali; non disponibili dati. Dati di stazioni amatoriali riportano punte massime nelle 3 ore tra le 19 e le 22 di 150-160 mm
2003	23 Settembre	Torrente Carnone	Carrara	Esondazione e allagamenti. Una vittima, travolta dal torrente Carnone. Esonda il torrente Ricortola	Violento temporale su gran parte della provincia di Massa-Carrara e in particolare sulle Apuane dietro Carrara: in 2 ore e mezzo si riportano 200 mm

2004	29 Ottobre	Forti allagamenti urbani	Arezzo		
2005	5-6 novembre	Allagamenti	Provincia di Siena	Allagamenti con danni a cose	
2005	15 novembre	Allagamenti	Provincia di Grosseto	Allagamenti con danni a cose	
2009	24-25 Dicembre	Serchio	Lucca e pianure circostanti	Cose invase anche da un metro e mezzo d'acqua. La zona interessata è quella delimitata dal Serchio, dalla Bretella Lucca-Viareggio, dal Torrente Contesora e dal torrente Cerchia	150 mm in 24 ore con punte di 375mm; in tre giorni sono caduti oltre 600 mm
2010	5 Ottobre	Allagamenti urbani	Prato	Allagamenti. Tre morti in un sottopassaggio allagato	Forti temporali prima dell'alba (100 mm/3-4 ore)
2010	31 Ottobre-3 Novembre	Allagamenti	Massa, Carrara, Fossdinovo	Allagamenti prevalentemente in zone agricole e frane	Precipitazioni intense e persistenti in particolare il 31/10 ("fino a oltre 300 mm/24h sulla provincia di Lucca e Massa Carrara) con intensità assai-rare fino a 80-80 mm per tutta la giornata
2011	24-25 Ottobre	Magra	Aulla e vallata	Esondazione/piena dei fiumi Versa, Magra, Furo e altri corsi d'acqua minori. Due morti ad Aulla. Molte le frazioni isolate nell'alta ligure per frane	Intense precipitazioni legate alla presenza di un TFC (tropical like cyclon) sul Mediterraneo (520mm/8 ore)
2011	7 Novembre	Torrenti	Isola d'Elba, Marina di Campo	Allagamenti. Anziana deceduta	Precipitazione particolarmente intensa intense precipitazioni legate alla presenza di un TFC (tropical like cyclon) sul Mediterraneo, che ha tuttavia interessato un'imitata porzione di territorio sull'Elba: non sono disponibili dati ufficiali, una stazione amatoriale di Marciana riporta 216 mm/2 ore
2012	11-12 Novembre	Numerosi torrenzi in Provincia di Massa-Carrara. Ondate Grosseluto, Albegna, Chierro e torrenti minori	Massa-Carrara. Albegna, Marellina e gran parte della piana a sud di Grosseto	Esondazione di torrenti con allagamenti e frane. Eccesso abissi di Albegna e Marellina allagati. Piena scosci dell'Orbetosa, danni a Grosseto. Tre morti a Marellina per il crollo di un ponte.	In Provincia di Massa-Carrara. Precipitazioni superiori ai 200 mm in due ore. fino a 100 mm nell'entroterra. Sul basso grosseluto cumulati 60mm fino a 110-140 mm eccezionali soprattutto nelle ultime ore della giornata
2012	28 Novembre	Carrara e Parnigola	Carrara e Ottonevo	Danni, a zona già in alluvione; chiesera della Statale Auccella in Massa e Sarzana. Intere zona abitata Albegna da mezzo metro di acqua	45 mm in 15 minuti 101 mm in 45 minuti, 134 mm in 60 minuti, fino ad un complessivo acumulo di 300mm in quasi due ore

2012	14-15 Dicembre	Ombione, Pistoiese, Bisenzio, Serchio, Magra, Carnara	Province di Pistoia, Prato, Lucca, Massa-Carrara	Più importanti dei fiumi. Trascinamento torrenti. Forti allargamenti e frane	200-300 mm in 30 ore sulle Apennine e l'Appennino toscano-romano
2013	19-20 Gennaio	Serchio, Arno, Ombione, Pistoiese, Bisenzio, Aghogna	Province di Pistoia, Prato, Firenze, Lucca, Massa-Carrara, Grosseto	Più importanti dei fiumi. Trascinamento torrenti. Forti allargamenti e frane	200 mm su Apennine, 100-150 su Appennino settentrionale e Catinaccio, 100 mm Aniene
2013	11-13 Marzo	Era, Elsa, Arno	Province di Lucca, Firenze e Pisa	Più importanti dei fiumi. Trascinamento torrenti. Forti allargamenti e frane	100-150 mm
2013	29-30 Marzo	Ombione, Pistoiese, Bisenzio	Province di Pistoia e Prato, Massa-Carrara, Lucca	Più importanti dei fiumi. Trascinamento torrenti. Forti allargamenti e frane. Famiglie isolate nel massiccio per frane	80-100 mm su un vasto areale sul nord-ovest
2013	29 Settembre	Forme Arbia, Fiore Fiora	Province di Siena e Grosseto	Allargamenti localizzati a Lucca, Prato e Pistoia. Forti raffiche di vento nel sereno e in provincia di Massa Carrara, Pistoia Arbia e trascinamento di un affluente	60-80 mm nei temporali più arabici, 100-120 mm intorno all'Arbia
2013	5 Ottobre	Coma, Pecora, Savina e Ombione, Grosseto	Province di Livorno, Grosseto, Siena	Due morti a Massa Marittima (auto trascinate da torrenti frastuoni). Piene dei fiumi. Forti allargamenti	Tra 60 e 100 mm su un vasto areale, 194 mm a Braccagni (GR) in serata (120mm due ore)
2013	20-21 Ottobre	Serchio, Ombione, Grosseto, Ombione, Pistoiese, Bisenzio, Savina, Arbia	Province di Massa-Carrara, Lucca, Pistoia, Prato, Siena, Grosseto	Più lungo dei fiumi Escandimento torrente Arbia. Numerose frane sull'Appennino Tosco- Romano Allargamenti diffusi nelle province di Firenze, Prato, Pistoia e Arezzo. Escandimento di torrenti minori e medi nelle province di PI, FI, SI, LU, LI, GR e AR	300-350 mm in Garigliano in due ore, 200 mm su Appennino pistoiese, fino a 270 mm sul sereno
2014	17-18 Gennaio	Magra, Serchio, Ombione, Pistoiese	Province di Massa-Carrara, Lucca, Pistoia	Più dei fiumi. Superamento del secondo livello del lago di Montevecchio. Frane e allargamenti in località	200-300 mm sul nord-ovest e l'Appennino pistoiese
2014	31 gennaio	Coma, Era, Ombione, Pistoiese, Coma, Pecora, Fiora, Era, Epola, Ombione, Grosseto, Bisenzio, Arno	Tutte le province	Più importanti dei fiumi. Escandimento fiume Arno a Ponsacco per rottura argine. Allargamenti nelle aree già allagate e vallate segnalati in tutte le province, in particolare modo nell'area di Ponsacco (FI) e di Cecina (LI). Escandimenti di numerosi torrenti. Frane diffuse sulle aree montane e collinari. Crollo mura a Volterra	60-100 mm diffusi
2014	10-11 febbraio	Arno, Era, Elsa, Savina Ombione, Grosseto	Tutte le province	Più importanti dei fiumi. Allargamenti localizzati registrati su buona parte delle province settentrionali e occidentali. Frane e movimenti diffusi nelle aree montane e collinari con locali chiusure di alcune strade statali e regionali	40-50 mm diffusi

2014	21-22 luglio		Provincia di Lucca, Pisa, Carrara	Allagamenti diffusi, frane	120 mm/3 ore Carrara
2014	19-20 settembre	Saena	Province di Pisa e Firenze	Caduta di rami e di inter- alberi; allagamenti diffusi, danni a tetti, vigneti e colture agricole. Esondazione del Santeramo. Deviazione a Stabbia e Lazzaretto	Venti di tempesta, forti grandinate, 29 mm/15 minuti 150-170 mm in 6-7 ore in Alto Magello
2014	14 ottobre	Albegna, tormenti alluviali	Provincia di Grosseto	Due metri trascinati dal torrente Elsa, Piana superiore fiume Albegna Esondazione di torrenti minori	140 mm/3 ore
2014	2 novembre	Carrara e Sassu- emili	Provincia di Massa-Carrara	Alluvione Carrara e Marina di Carrara	165 mm in due ore e 13 minuti alluvioni estesi fino a 70-80 mm/h
2015	1 agosto		Provincia di Firenze- Firenze città	Una vittima per la caduta di un ramo. Ingressi danni a strutture, alterazioni stradali nella zona di Firenze sud	Forse temporale con raffiche molto violente e locali forti grandinate (50 mm in meno di un'ora)
2015	24 agosto	Arbia, Mense	Province di Pisa e Siena	Allagamenti diffusi a Pisa e alla alluvione in Val d'Arbia e Val di Merse	Forti temporali violenti (150-170 mm in 5 ore a Pisa, 200-220 mm in 3 ore sulle Colline Metallifere, 327 mm a Monticiano in 24 ore)
2015	13-14 Ottobre		Varie zone della regione	Allagamenti forti piogge insistenti danni	Si registrarono fino a 150 mm il 13 ottobre e fino a 160 mm il 14 ottobre

Tab. 2.1 - Elenco dei principali eventi alluvionali/forti allagamenti in Toscana dal 1948 al 2015: dal '48 al '90 i dati sono raccolti dal Servizio Geologico Nazionale – Catenacci, 1992; dal '91 al 2015 dati elaborati dal consorzio LaMMA e CFR.

Descriviamo ora le caratteristiche meteorologiche che hanno determinato alcuni degli eventi alluvionali più rappresentativi accaduti in Toscana nel passato, oggetto di approfondimento successivo.

- **3-4 Novembre 1966. Piena alluvionale del fiume Arno**

L'evento del Novembre del 1966 si distingue in modo particolare per l'eccezionalità delle precipitazioni e per l'estensione del territorio interessato dalle piogge. Nei giorni 3 e 4 Novembre moltissima pioggia cadde sul Veneto e sulla Toscana. La situazione barica in Europa era caratterizzata in quel momento da una zona depressionaria centrata sul mediterraneo nord-occidentale e da un robusto anticiclone posizionato sulla Russia; masse d'aria calda e umide provenienti dal Nord-Africa investirono l'Italia. Toscana e Veneto vennero a trovarsi lungo l'asse principale di questo flusso risultando in situazione di sopravento nei confronti rispettivamente dell'Appennino settentrionale e delle Alpi orientali (Fig. 2.25).

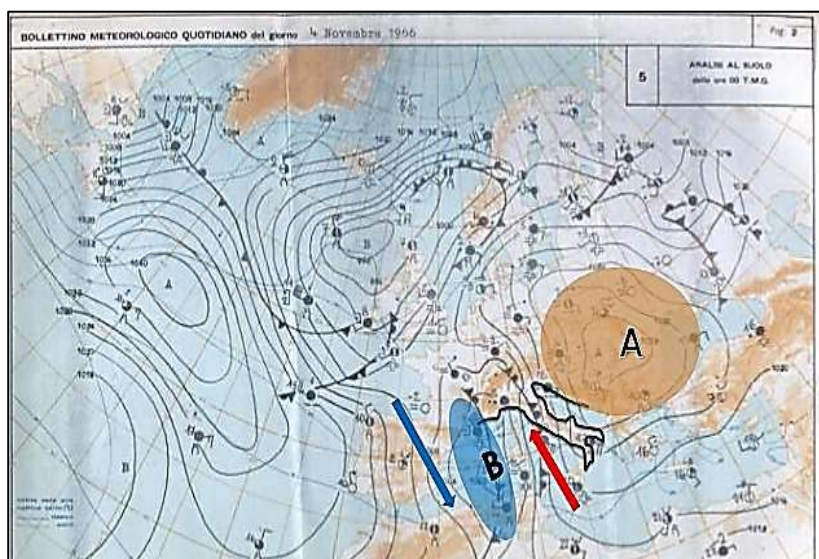


Fig. 2.25 – Bollettino meteorologico del 4 Novembre 1966. Analisi al suolo (Fonte: Museo dell'Osservatorio Ximeniano di Firenze)

Le piogge iniziarono nelle prime ore del 3 Novembre, ma solo nella tarda mattinata cominciarono ad essere abbondanti, gli afflussi si mantennero poi pressoché costanti per un periodo di 25-28 ore, terminando quindi nel pomeriggio del 4 Novembre. Gli apporti del 5 Novembre risultarono infatti quasi ovunque trascurabili. L'esame della carta a isoiete (Fig. 2.26) per le piogge relative all'intervallo compreso tra le ore 9 del giorno 3 e le ore 9 del giorno 5, ci permette di fare alcune importanti considerazioni:

- Le precipitazioni superarono i 100 mm in quasi tutto il territorio;
- Molto estesa fu la superficie interessata da piogge superiori a 200 mm: essa comprende tutta la zona di spartiacque appenninico ad est della provincia di Lucca e un'ampia fascia che va dall'Appennino aretino alla costa grossetana;
- Entro la suddetta fascia furono presenti tre aree distinte nelle quali si registrarono precipitazioni eccezionali: a sud sono visibili (Fig. 2.26) due isoiete di 300 mm che racchiudono una la città di Grosseto (dove si ebbe un massimo di 322 mm in 24 ore) e del vicino Monte Leoni, l'altra il bacino del fiume Merse (un piccolo affluente dell'Ombrone); la terza area individuata, addirittura dall'isoieta del 400 mm, è localizzata a ovest di Arezzo nella valle dell'Ambra;
- Impressionanti le conseguenze: 39 vittime, opere d'arte di inestimabile valore distrutte o seriamente danneggiate, gravi danni al patrimonio edilizio.



Fig. 2.26 - La carta a isoiete per le precipitazioni giornaliere registrate il 4 e 5 novembre 1966 (cioè quelle verificatesi fra le ore 9 del giorno 3 e le ore 9 del giorno 5). Fonte: Annali Idrologici

Lo schema disegnato dal Servizio Idrografico (Fig. 2.27) mostra le zone più colpite: il bacino dell'Arno e quello dell'Ombrone grossetano. Per quanto riguarda l'Arno si verificarono grossi danni lungo tutto il suo corso: esondazioni considerevoli si verificarono già in Casentino, ma ben più disastrosi furono gli allagamenti nell'area urbana di Firenze. Nel passato la città aveva sopportato altre numerose

inondazioni distruttive (soprattutto nei secoli XVI, XVII e XVIII) con un clima spesso caratterizzato da forti piovosità, ciò nonostante quella del 1966 fu senza dubbio la peggiore di tutti i tempi, soprattutto per la vastità delle zone alluvionate. Danni ingenti si ebbero anche nella Maremma toscana provocati sia dai corsi d'acqua minori (Cecina, Cornia, Bruna, Albegna) che dall'Ombrone il cui bacino ricade nell'area dove le precipitazioni furono più intense. Gravi conseguenze si ebbero anche nella città di Grosseto e nelle zone rurali vicine.

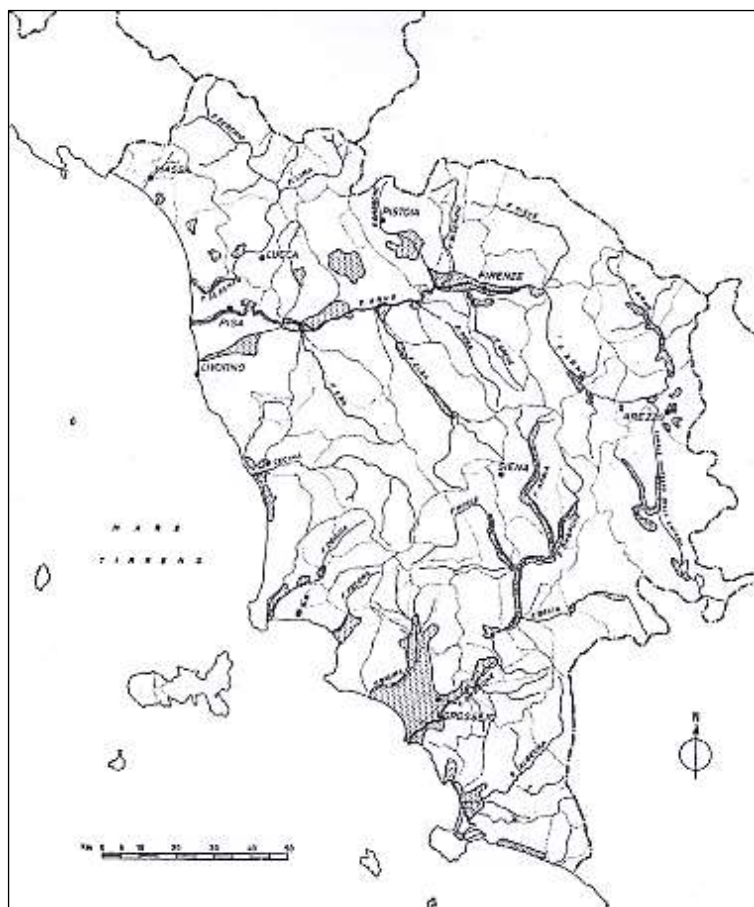


Fig. 2.27 - Le aree inondate in Toscana nel Novembre 1966. Fonte: Annali Idrologici.

- **24-25 Dicembre 2009. Piena alluvionale del fiume Serchio**

L'evento alluvionale del 24-25 Dicembre 2009 è stato preceduto da un periodo di piogge abbondanti che ha avuto inizio già dal 21 Dicembre, a sua volta preceduto da estese nevicate su gran parte del bacino del Serchio nei giorni 18-19 Dicembre. Una ulteriore intensificazione delle precipitazioni si è registrata il 24-25 Dicembre quando sono caduti mediamente sul bacino chiuso a Borgo a Mozzano circa 120 mm di pioggia in 15 ore (Fig. 2.28). Pertanto possiamo distinguere due fasi del peggioramento (il 21-22-23 e l'altra il 24-25 Dicembre) che hanno generato rispettivamente eventi di precipitazione intensa, la seconda decisamente più estrema (Fig. 2.28).

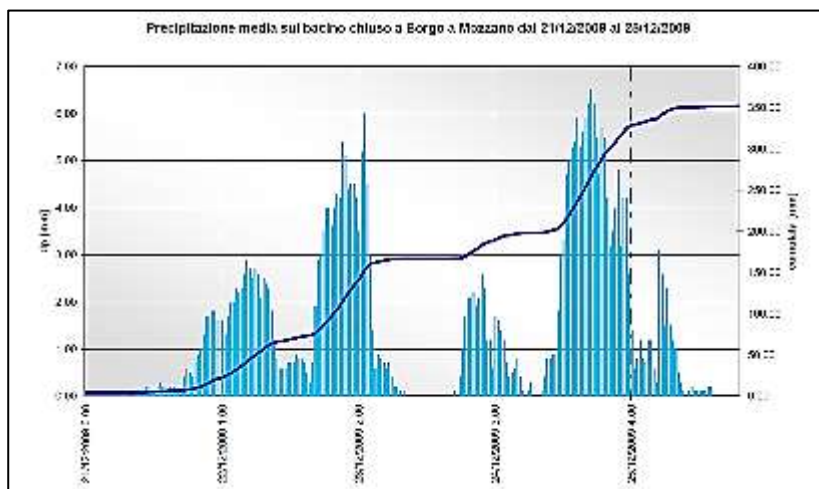
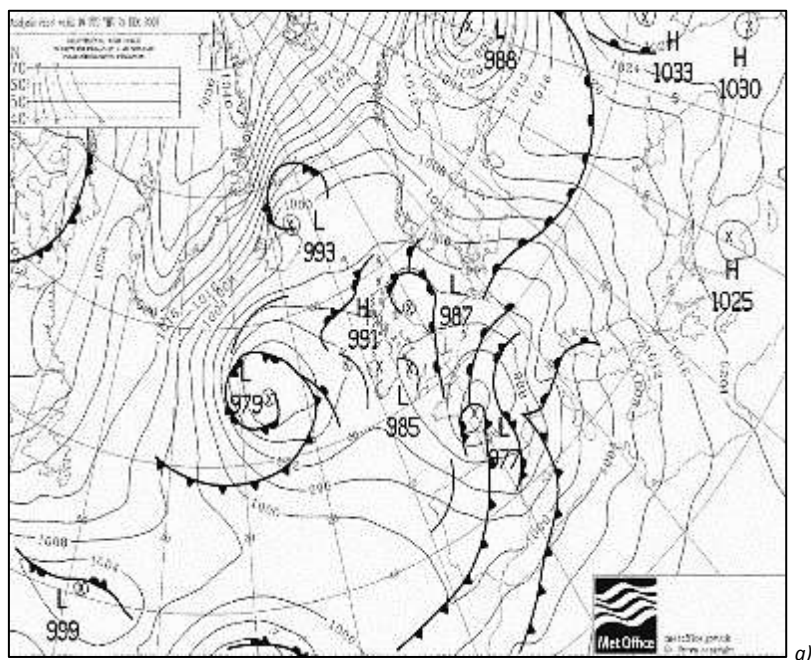


Fig. 2.28 - Andamento della cumulata (mm) di pioggia relativa al periodo 21 -25 Dicembre 2009. Si notano i due eventi pluviometrici distinti in successione che hanno generato le due onde di piena del fiume Serchio, la prima nel giorno 23 Dicembre e la seconda la notte tra il 24 e il 25 Dicembre. L'istogramma rappresenta la quanti à di pioggia (mm) misurata nel intervallo di tempo di campionamento. Fonte CFR.

Dopo che nelle giornate del 22 e 23 Dicembre un flusso di correnti umide meridionali si è intensificato, a causa dell'approfondimento di un minimo secondario sul Golfo del Leone collegato ad una vasta

depressione in quota sulle Isole Britanniche, nella giornata del 24 Dicembre, a seguito di una breve pausa in mattinata, una nuova intensa perturbazione ha interessato la Toscana nord occidentale. La profonda depressione sul Golfo di Bisaglia, ha richiamato un flusso di correnti molto miti di origine mediterranea in seno al quale si è sviluppato un vasto fronte caldo (Fig. 2.29a). Quest'ultimo ha raggiunto la Toscana nel pomeriggio-sera del 24 dicembre portando intense precipitazioni ad incremento orografico; l'arrivo del fronte freddo in nottata ha innescato anche piogge di natura convettiva. La fase risolutiva del peggioramento ha coinciso con il completo passaggio del fronte freddo a seguito del quale la pressione al suolo è tornata velocemente ad aumentare sull'Italia centro settentrionale.



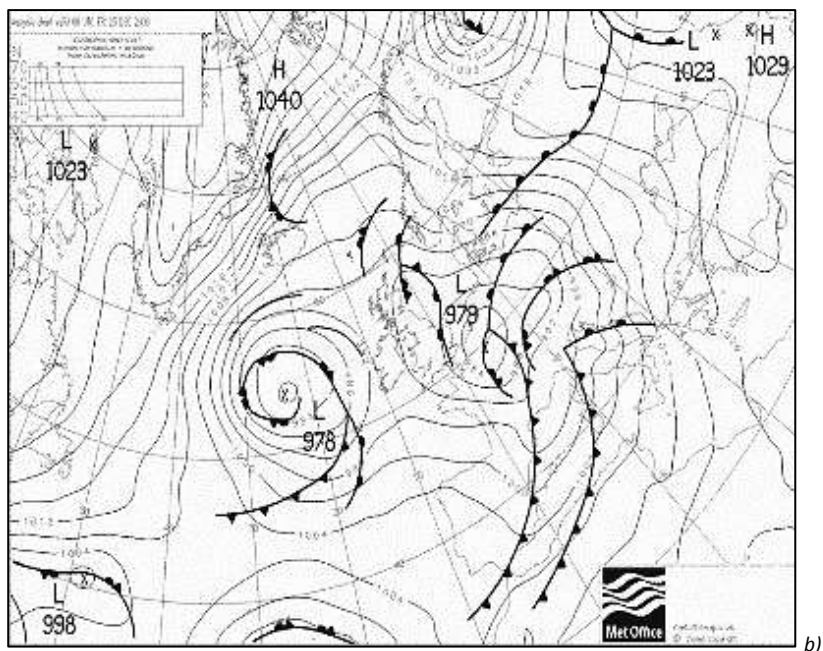


Fig. 2.29 - Carte sinottiche delle ore 18 UTC (a) e delle ore 00 UTC (b) del 24-25 dicembre 2009

Tra il pomeriggio del 24 e la mattina del 25 dicembre si sono registrati cumulati di pioggia fino a 200 mm circa (Fig. 2.29b). Nella mattina del 25 dicembre le precipitazioni hanno assunto anche carattere temporalesco. Durante l'intero peggioramento sui rilievi del nord-ovest si sono toccati cumulati massimi puntuali tra 600 e 700 mm (che si sono aggiunti ai mm derivati dalla fusione della neve accumulata nei giorni precedenti), valori che rappresentano circa il 15-20% della pioggia annuale della zona (Fig. 2.30). Il 25 dicembre 2009 una piena eccezionale ha interessato il fiume Serchio che è esondato non lontano dalla foce: a seguito dell'allagamento 350 famiglie sono state sfollate e 1000 persone sono rimaste isolate.

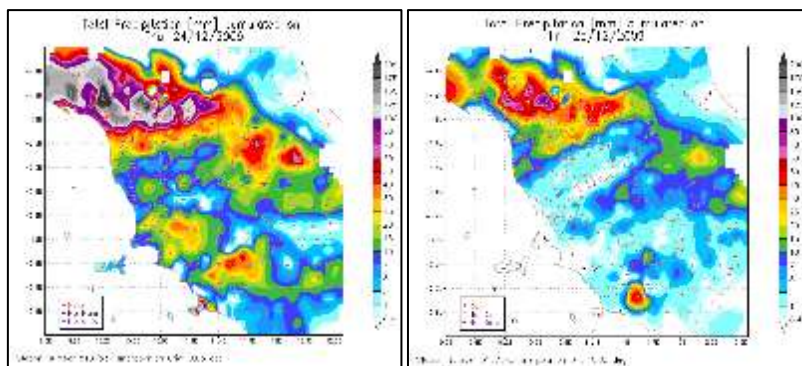
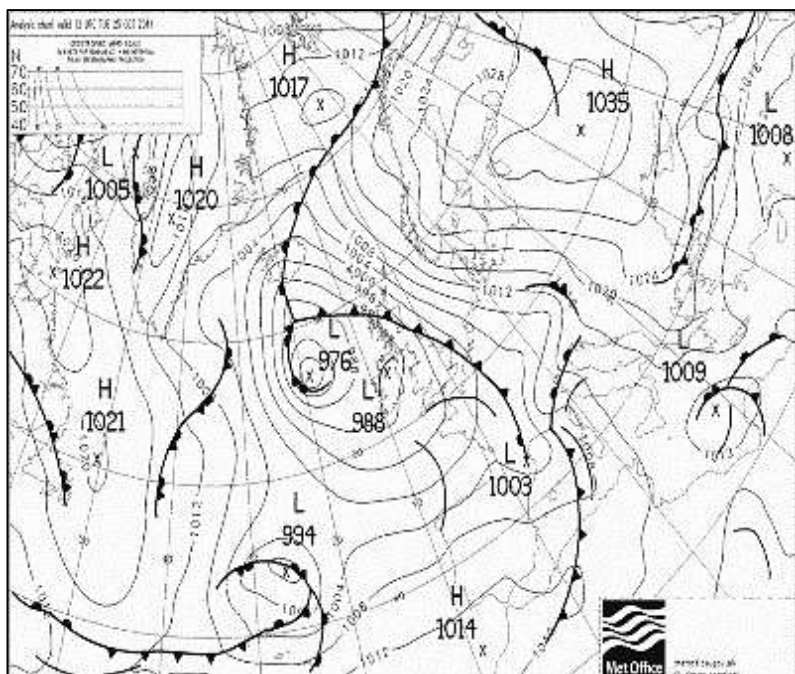


Fig. 2.30 - Precipitazioni cumulate nelle 24 ore il 22 dicembre (sinistra) e il 23 dicembre (destra). Fonte: Consorzio LaMMA.

- 25-26 Ottobre 2011. Piena alluvionale del fiume Magra

La situazione sinottica che ha generato l'evento alluvionale del 25 Ottobre è stata preceduta, nella giornata precedente, da un vasto fronte freddo collegato ad un minimo a nord-est della Scozia (977 hpa) e da una vasta e profonda saccatura tra Isole Britanniche e Penisola Iberica, che a loro volta hanno favorito la genesi di un minimo secondario di 998 hpa sul Golfo del Leone, richiamando verso il medio-alto Tirreno un intenso flusso di correnti sciroccali. Nella notte del 25 Ottobre hanno cominciato a formarsi i primi sistemi temporaleschi associati a varie linee di instabilità. Intorno alle ore centrali del 25 Ottobre sul bacino del Mediterraneo erano presenti un fronte freddo che dal Golfo del Leone si spingeva fino all'Africa settentrionale e un fronte caldo a nord della Corsica sul Mar Ligure (Fig. 2.31a) alimentato da intense correnti sciroccali calde e umide, ulteriormente alimentate dal calore latente fornito dal Mediterraneo, le cui temperature risultavano ancora piuttosto elevate, al di sopra delle medie stagionali.



Nello stesso momento sull'Italia centro-meridionale e Balcani si è assistito alla formazione di un promontorio anticiclonico in quota che, unitamente ad elevati valori di pressione al suolo sull'Europa nord-occidentale (1025-1035 hpa), ha creato una situazione di blocco frenando l'avanzamento del fronte freddo e favorendo la persistenza per 24 ore del settore caldo sull'alto Tirreno (Levante Ligure e Alta Toscana). Nelle ore successive (pomeriggio del 25 ottobre) il blocco anticiclonico ha cominciato a cedere favorendo lo spostamento verso est dei fenomeni più intensi (Versilia, Apuane, Garfagnana e Appennino lucchese-pistoiese) con conseguente avanzamento del sistema frontale e della linea temporalesca sul resto della Toscana nella notte tra il 25 e il 26 Ottobre (00-06 UTC). Il transito del fronte ha segnato la fase risolutiva del peggioramento sulla Toscana nord-

occidentale (Fig. 2.31b). Alle 12 UTC del 26 Ottobre il fronte già avanzato verso est ha abbandonato quasi del tutto la Toscana.

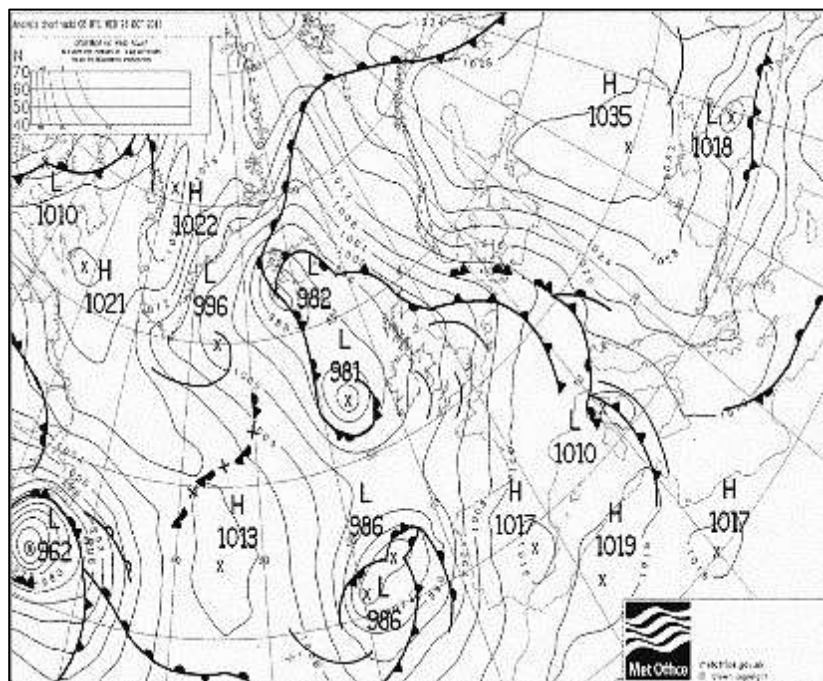


Fig. 2.31b - Analisi al suolo e fronti relativi alle ore 06 UTC del 26 Ottobre

I fenomeni più significativi si sono registrati nelle ore pomeridiane e serali del 25 Ottobre, in particolare tra le ore 12:00 e le ore 24:00 con piogge comunque persistenti per l'intera giornata. Nella giornata del 25 ottobre i cumulati massimi sulle 24 ore, sono stati registrati in Lunigiana, dove le stazioni pluviometriche di Pontremoli, Rocca Sigillina, Santa Giustina e Parana, hanno rilevato valori superiori ai 300 mm. In 24 ore a Pontremoli sono caduti 366 millimetri di pioggia (330 mm in 13 ore), dove la media annuale è di 1500 millimetri (248 mm per tutto il mese di Ottobre – Fig. 2.32). Un dato che non aveva ancora precedenti in Toscana (l'ultimo record risale al 1997: allora furono 285 i millimetri di acqua caduti. Valori di pioggia rilevanti sono

stati registrati anche in corrispondenza delle altre stazioni ricadenti nel bacino del fiume Magra e nei bacini limitrofi della Toscana settentrionale (Serchio e Versilia in particolare).

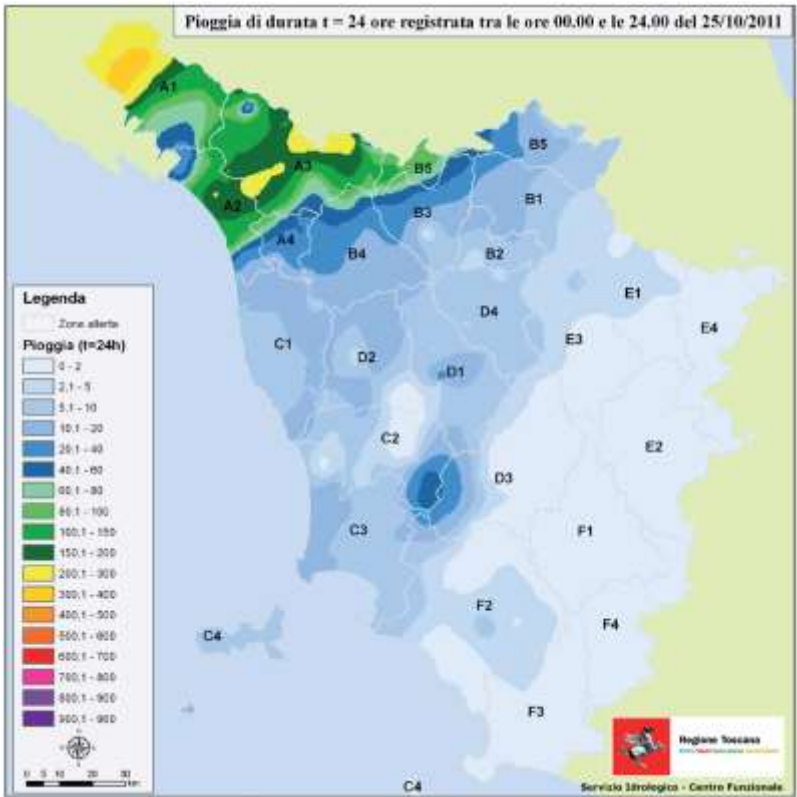


Fig. 32 - Precipitazioni registrate tra le ore 00.00 e le ore 24.00 del 25 ottobre 2011 (Fonte: Centro Funzionale Regionale).

- 10-11-12 Novembre 2012. Piena alluvionale del fiume Albegna

Nella giornata del 10 novembre una profonda saccatura si estendeva dal nord Atlantico fino a sud dello stretto di Gibilterra, con un sostenuto flusso di correnti miti ed umide meridionali lungo le coste tirreniche. La lenta progressione verso levante dell'estesa saccatura atlantica, ostacolata dalla presenza di un robusto blocco anticiclonico presente sull'Europa orientale, favoriva l'approfondimento di due minimi secondari nel Mediterraneo, uno tra isole Baleari e Golfo del Leone (1006-1008 hPa) e l'altro sul nord Africa (1008-1010 hPa). In seno a questa vasta area depressionaria sul Mediterraneo centro-occidentale permaneva un lungo flusso meridionale mite che pilotava correnti estremamente umide dal Mar Libico verso l'intera fascia tirrenica. Ciò generava forti temporali nelle ore notturne tra la Versilia, la Garfagnana, la Lunigiana e il litorale pisano, fino ad arrivare alla città di Livorno, tutte zone nelle quali venivano registrati in poche ore cumulati di pioggia compresi tra 100 e 250 millimetri. Tra la mattina ed il primo pomeriggio di domenica 11 novembre l'aria più fresca e secca in arrivo dall'Atlantico riusciva a portare un temporaneo e relativo miglioramento del tempo; tuttavia l'azione di blocco dell'alta pressione sui Balcani, in opposizione alla profonda bassa pressione sul Mediterraneo occidentale, manteneva in vita un forte ed umido flusso di Scirocco tra il Canale di Sicilia ed il Tirreno meridionale. In serata lo Scirocco si rinforzava sul tirreno centrale e settentrionale attraverso un fronte caldo che rimase stazionario in loco per circa 30 ore (Fig. 2.33). Lungo questo fronte caldo si generava un sistema convettivo a mesoscala molto intenso, ossia un temporale particolarmente esteso che portava piogge abbondanti e nubifragi tra la Maremma grossetana, parte della provincia di Siena e della provincia di Viterbo e l'Umbria occidentale.

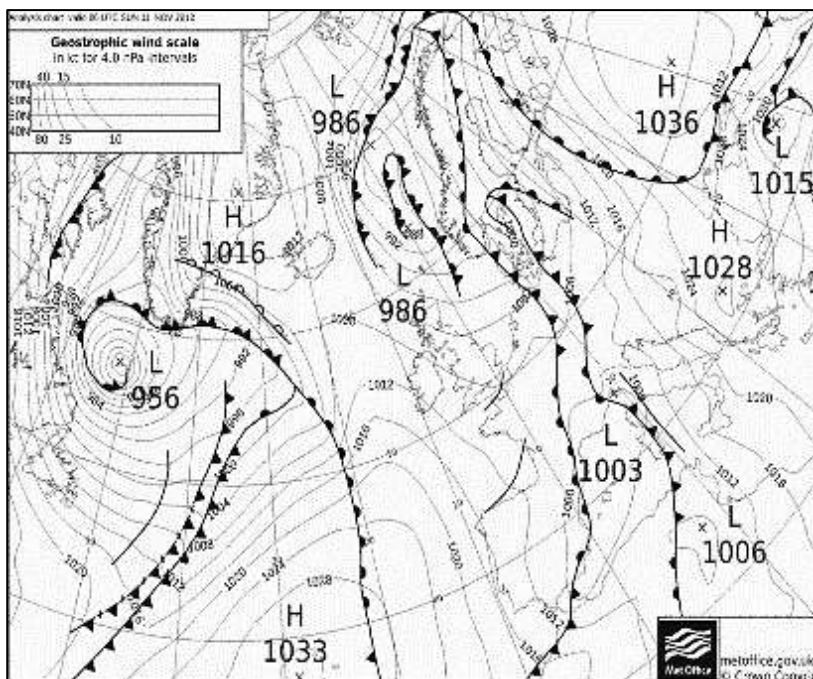


Fig. 2.33 - Mappa dei fronti alle ore 6 UTC del 11/11/2012

Il temporale rinnovava la sua struttura rigenerandosi continuamente dalle ore 18 di domenica 11 novembre fino alle ore 22 di lunedì 12 novembre 2012, quando il maltempo si attenuava rapidamente (Fig. 2.34).



Fig. 2.34 - Immagine Meteosat9 (canale infrarosso) del 12 novembre 2012 che mostra la grande cella temporalesca sulla Toscana meridionale pressoché stazionaria tra le ore 11 e le 17 locali (fonte: Eumetsat): si noti la caratteristica forma a "V", indizio di un Sistema Convettivo a Mesoscala (MCS) rigenerante (Fonte: Consorzio LaMMA).

Numerose stazioni del Servizio Idrologico Regionale della Toscana registravano accumuli pluviometrici record mai registrati precedentemente, andando perfino a superare i massimi del Novembre 1966; al tempo stesso, alcune stazioni pluviometriche, tra cui quelle di Orbetello-San Donato e di Magliano in Toscana-Poggio Perotto, in sole 24 ore, tra la serata dell'11 e la serata del 12 novembre 2012 facevano registrare accumuli precipitativi superiori alla metà della pioggia totale che mediamente cade in un anno (parte dell'area maggiormente interessata dai fenomeni intensi ha medie pluviometriche annue comprese tra 500 e 600 mm). Di seguito sono elencati alcuni record pluviometrici registrati nel corso dell'evento alluvionale da alcune stazioni del Servizio Idrologico Regionale della Toscana (Fig. 2.35)

- Orbetello-San Donato: 373,0 mm/24h (precedente 185,0 mm/24h il 3 novembre 1966);
- Scansano-Pomonte: 345,2 mm/24h (nel novembre 1966 furono registrati 250,8 mm totali mensili);
- Roccalbegna-Usi: 314,0 mm/24h (nel novembre 1966 furono registrati 284,7 mm totali mensili).
- Grosseto: 201 mm giornalieri (precedente 169 mm il 3 novembre 1966)

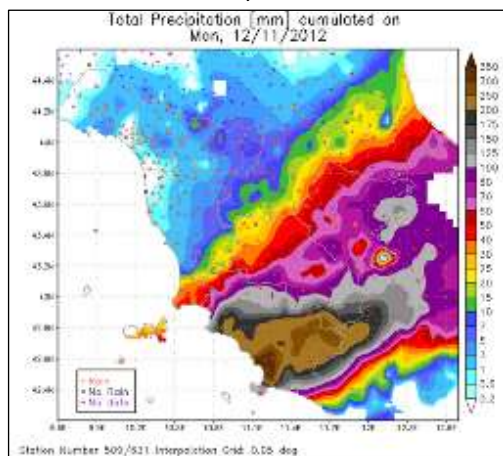


Fig. 2.35 - Precipitazioni cumulate il 12 novembre 2012 (Fonte: Consorzio LaMMA).

PARTE II

3. LE CLASSIFICAZIONI DEI TIPI DI TEMPO

Un valido e duttile strumento per verificare le caratteristiche climatiche favorevoli ad importanti episodi alluvionali del passato e per verificare un eventuale trend dovuto ai cambiamenti climatici è rappresentato dalle Classificazioni dei Tipi di Tempo. Questa tipologia di analisi è stata utilizzata dal Consorzio LaMMA per studiare in dettaglio le variazioni climatiche sulla nostra regione Toscana, con particolare attenzione alle variazioni termiche e pluviometriche (ad esempio le lunghe serie aride e le precipitazioni intense). Scendendo in maggior dettaglio, le classificazioni dei tipi di tempo rappresentano un tentativo di riassumere la varietà delle circolazioni atmosferiche relative ad un'area, in un numero contenuto di raggruppamenti di "tipi di tempo", denominati anche Weather Types. Questo strumento rende possibile la descrizione delle caratteristiche termiche e pluviometriche relative a ciascuna tipologia di circolazione e la verifica delle eventuale presenza di trend su un'analisi di lungo periodo. Solitamente si instaura una forte relazione tra tipi di tempo e i parametri meteorologici nelle varie regioni e la classificazione ottimale è quella che, per una data variabile climatica (nel nostro caso, le precipitazioni), presenta la migliore omogeneità possibile all'interno del singolo raggruppamento (tipo di tempo) e la migliore separabilità tra i vari gruppi. In particolare in questo volume si vuole mettere in evidenza la predisposizione di determinati tipi di circolazione atmosferica a determinare eventi alluvionali in Toscana.

Le Classificazioni dei tipi di circolazione atmosferica hanno una lunga storia in meteorologia e climatologia, indicativamente dal 1952 grazie ad un lavoro condotto da due ricercatori tedeschi. Negli ultimi decenni, il progresso nelle risorse di calcolo e la disponibilità di dati disponibili su griglia regolare a livello globale, come i così detti dati di Rianalisi (dati a livello globale delle principali variabili atmosferiche, sia in quota che in prossimità della superficie terrestre e marina,

ricostruiti sulla base di osservazioni, dati satellitari e dati modellistici, costituendo pertanto una base di dati su grigliato regolare quanto di più vicino alla realtà), hanno permesso lo sviluppo di metodi matematici di classificazione veloci ed obiettivi in grado di analizzare le relazioni esistenti tra la circolazione atmosferica ed i principali parametri meteorologici in superficie o di altre variabili ambientali. Studi precedenti, infatti, si sono concentrati sulla ricerca della classificazione più appropriata per lo studio delle tempeste di vento, siccità, fulminazioni, ondate di calore, mareggiate, incendi boschivi, ecc. Il contributo più grande all'utilizzo dei tipi di tempo in Europa è stato senz'altro dato dal progetto europeo COST Action 733, che ha fornito utili indicazioni sulla scelta dei metodi di classificazione e sui loro legami con le variabili climatiche di superficie. La capacità di caratterizzare variabili climatiche di superficie come temperatura e precipitazione dipende da vari elementi, tra cui i principali sono il metodo statistico di classificazione, la variabile di classificazione utilizzata (ad esempio – la pressione media a livello del mare oppure l'altezza geopotenziale a 500 hpa), il numero dei tipi di tempo, il dominio spaziale (inteso come regione climatica di analisi) e il periodo in esame.

Nell'ottica di sviluppare nuovi strumenti di analisi climatologica, a seguito di una attenta indagine statistica effettuata sul territorio italiano da parte del gruppo di climatologia del Consorzio LaMMA, è stata individuata la classificazione dei tipi di tempo più idonea a caratterizzare e a descrivere la distribuzione delle precipitazioni, sia a livello mensile che stagionale. Tale classificazione, denominata "PCT9" (Principal Component Trasversal a 9 tipi di tempo), risulta così caratterizzata:

- Metodo matematico di classificazione: tra i 16 metodi presenti nel COST733CAT-database, quello che è risultato migliore è la PCT (appartenente al gruppo "Principal Component Analysis-Based"). La classificazione ottenuta con questo metodo è stata prodotta utilizzando il software COST733class-1.2 software package (Philip et al., 2014).

- Dominio spaziale: a differenza di altri studi effettuati in altre regioni europee che hanno visto utilizzare il dominio proposto dal COST733 (Beck e Philipp, 2010), si è scelto di lavorare su uno specifico dominio più ristretto e centrato sulla penisola italiana per poter descrivere in modo più esaustivo e dettagliato il legame tra la scala sinottica (circolazione atmosferica a livello europeo) e la complessità climatica che caratterizza il bacino del mediterraneo, come è stato descritto nella prima parte del volume (Fig. 3.1).



Fig. 3.1 - Dominio centrato sulla penisola italiana di dimensioni 1500 X 1500 km circa, e stazioni pluviometriche (in blu) usate nell'analisi.

- Variabile di classificazione: la variabile risultata più idonea a caratterizzare le precipitazioni è risultata essere la pressione media al livello del mare.
- Numero dei tipi di tempo: sulla base dei risultati ottenuti, e tenendo in considerazione che una classificazione con troppi tipi di tempo avrebbe potuto complicare l'uso in applicazioni operative, il numero migliore è risultato essere a 9 tipi di circolazione atmosferica.
- Periodo di indagine: analisi effettuata dal Gennaio 1979 a Dicembre 2015 a livello giornaliero.

- Variabile climatica di superficie utilizzata per la valutazione: dati di precipitazione giornaliera raccolte da 26 stazioni pluviometriche distribuite in modo omogeneo sull'intera penisola italiana come da Fig. 3.1 (fonti ECA&D e Centri Funzionali di varie Regioni d'Italia dal 1979 al 2008).

Di seguito (Fig. 3.2) vediamo rappresentati i centroidi (ovvero il valore centrale della pressione a livello del mare che rappresenta l'intero raggruppamento) dei 9 tipi di tempo del metodo di classificazione PCT con le relative descrizioni sinottiche:

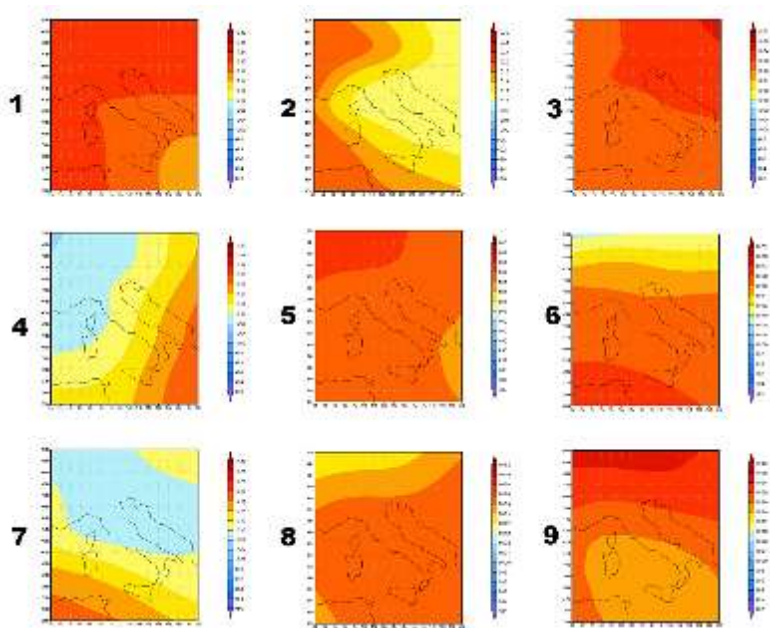


Fig. 3.2 – Centroidi dei 9 tipi di tempo del metodo matematico di classificazione PCT

- 1-  Alta pressione con minimo relativo sullo Ionio e leggero flusso di correnti orientali
- 2-  Flusso di correnti settentrionali con alta pressione ad ovest della penisola italiana e minimo relativo di origine orografica sul golfo di Ligure
- 3-  Alta pressione centrato sull'Europa centrale con scarso gradiente barico
- 4-  Minimo sul golfo Ligure con correnti di Libeccio e blocco anticiclonico ad est
- 5-  Alta pressione con debole circolazione orientale
- 6-  Flusso zonale con il grosso delle perturbazioni che transita a nord delle Alpi
- 7-  Flusso nord atlantico con annesso transito di sistemi perturbati
- 8-  Alta pressione di origine nord africana sull'Italia
- 9-  Minimo relativo sul sud Italia isolato dal flusso perturbato atlantico ("cut-off").

3.1 La classificazione dei tipi di tempo sviluppata dal Consorzio LaMMA

Tutti i giorni dell'anno sono stati raggruppati tra gennaio 1979 e dicembre 2015 in 9 tipi di tempo attraverso un procedimento statistico denominato PCT (Principal Component Trasversal) elaborato con il software COST733class-1.2 ed utilizzando come variabile classificatrice la pressione media al livello del mare. Ognuna delle classi sono caratterizzate da un insieme di giorni che presentano caratteristiche simili di pressione media a livello del mare e che, oltre a mostrare caratteristiche omogenee in termini di precipitazione, sono ben separate l'una dall'altra. A ciascun tipo di circolazione atmosferica vi è associato pertanto un particolare pattern di precipitazione e di temperature che va a determinare le caratteristiche del tempo anche a livello regionale. Le pagine che seguono presentano una panoramica dei 9 tipi di circolazione atmosferica nelle diverse stagioni, riportando, oltre ai valori di pressione media al livello del mare (MSLP) che definiscono i relativi centroidi, la frequenza stagionale dei vari tipi di circolazione espressa come numero di giorni e i valori di anomalia media climatologica della temperatura e della precipitazione associati ad ogni singolo tipo di tempo; per anomalia media climatologica si intende lo scarto del valor medio della temperatura o della precipitazione rispetto alla media climatologica calcolata sul trentennio 1981-2010.

Tipo di tempo: 1 - Stagione: INVERNO - Frequenza media: 13 giorni

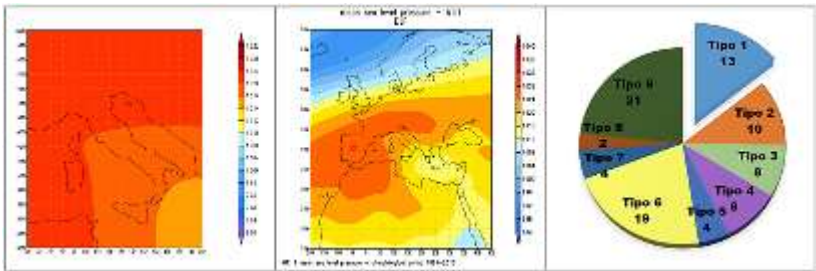


Fig. 3.3a – Tipo di tempo 1: centroide della pressione media al livello del mare sull'Italia (a sinistra) e sull'Europa (al centro), frequenza media stagionale del tipo di tempo calcolata sul trentennio climatologico 1981-2010 (a destra).

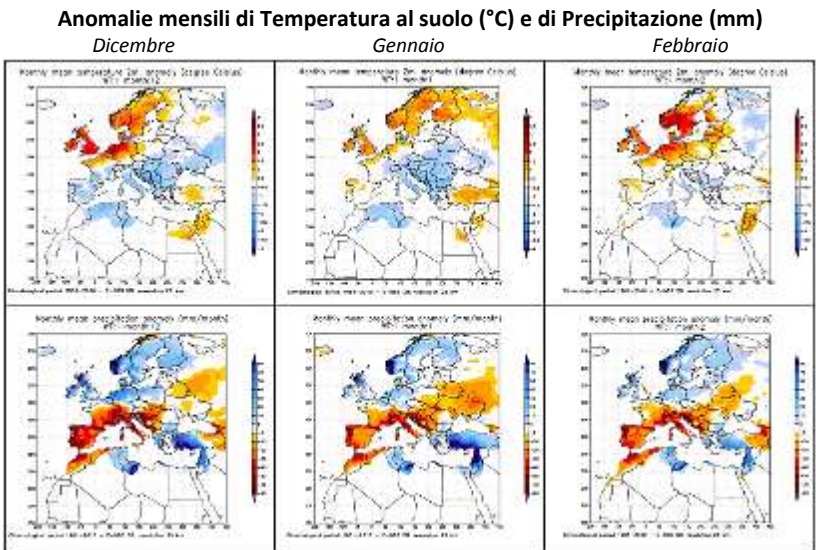


Fig. 3.3b – Mappe composite di anomalia di temperatura al suolo (riga in alto) e di precipitazioni (riga in basso) rispetto alla climatologia 1981-2010. Valori di Dicembre, Gennaio e Febbraio

Tipo di tempo: 2 - Stagione: INVERNO - Frequenza media: 10 giorni

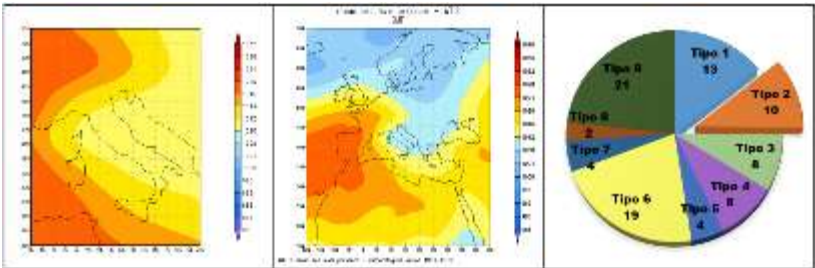


Fig. 3.4a – Tipo di tempo 2: centroide della pressione media al livello del mare sull'Italia (a sinistra) e sull'Europa (al centro), frequenza media stagionale del tipo di tempo calcolata sul trentennio climatologico 1981-2010 (a destra).

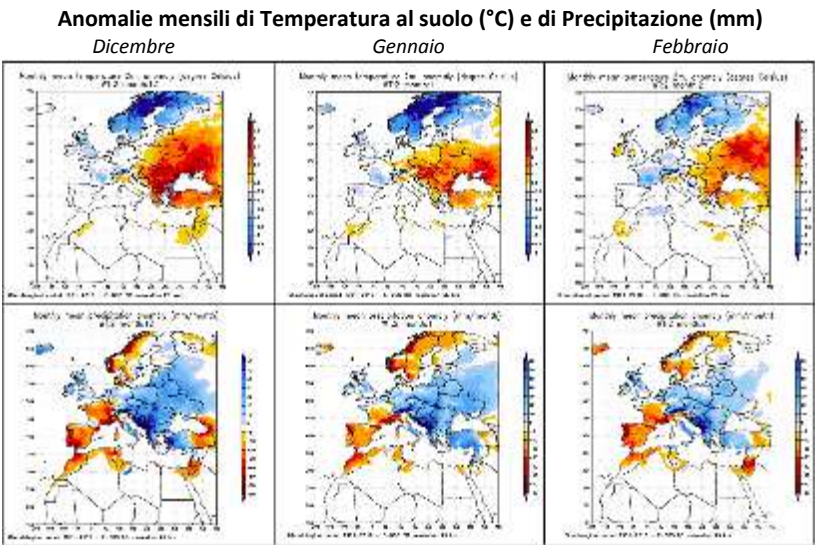


Fig. 3.4b – Mappe composite di anomalia di temperatura al suolo (riga in alto) e di precipitazioni (riga in basso) rispetto alla climatologia 1981-2010. Valori di Dicembre, Gennaio e Febbraio

Tipo di tempo: 3 - Stagione: INVERNO – Frequenza: 8 giorni

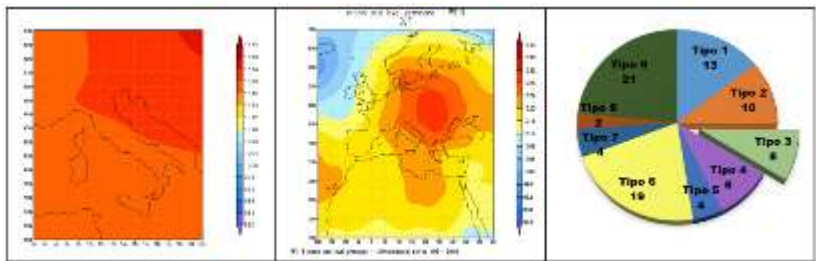


Fig. 3.5a – Tipo di tempo 3: centroide della pressione media al livello del mare sull’Italia (a sinistra) e sull’Europa (al centro), frequenza media stagionale del tipo di tempo calcolata sul trentennio climatologico 1981-2010 (a destra).

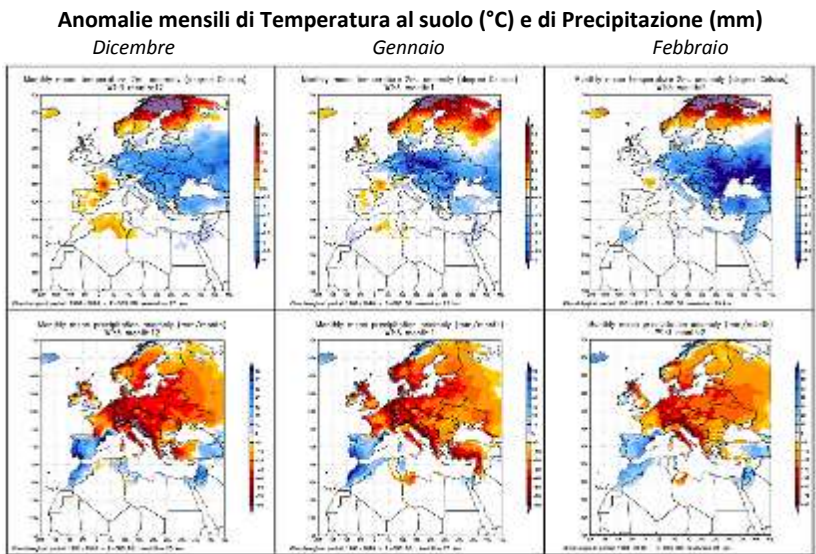


Fig. 3.5b – Mappe composite di anomalia di temperatura al suolo (riga in alto) e di precipitazioni (riga in basso) rispetto alla climatologia 1981-2010. Valori di Dicembre, Gennaio e Febbraio

Tipo di tempo: 4 - Stagione: INVERNO – Frequenza media: 8 giorni

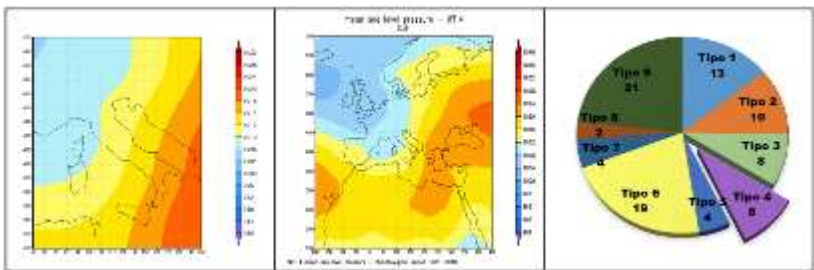


Fig. 3.6a – Tipo di tempo 4: centroide della pressione media al livello del mare sull'Italia (a sinistra) e sull'Europa (al centro), frequenza media stagionale del tipo di tempo calcolata sul trentennio climatologico 1981-2010 (a destra).

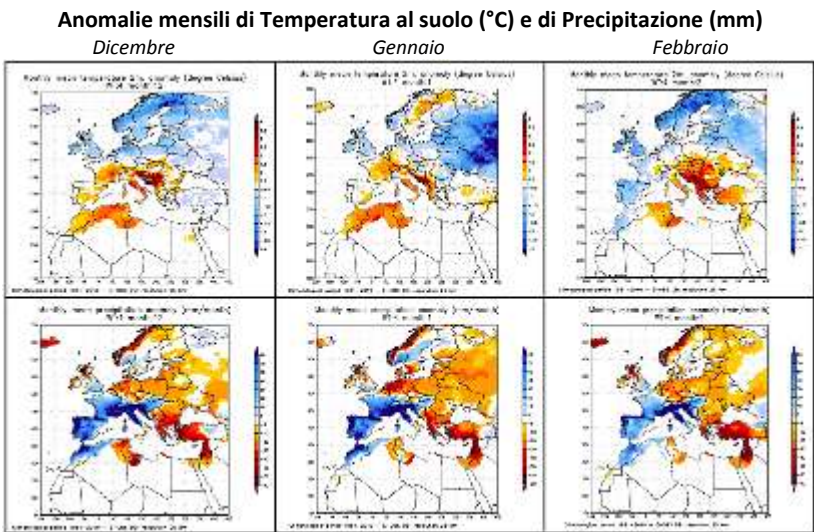


Fig. 3.6b – Mappe composite di anomalia di temperatura al suolo (riga in alto) e di precipitazioni (riga in basso) rispetto alla climatologia 1981-2010. Valori di Dicembre, Gennaio e Febbraio

Tipo di tempo: 5 - Stagione: INVERNO – Frequenza media: 4 giorni

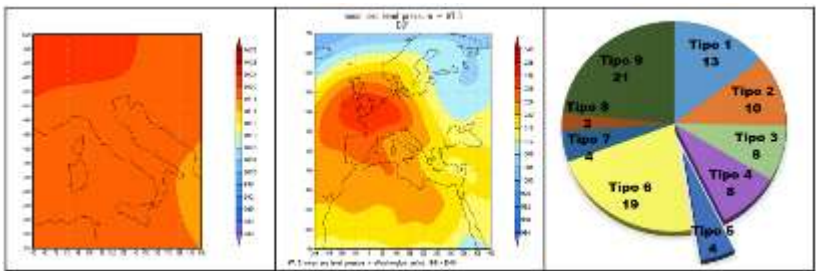


Fig. 3.7a – Tipo di tempo 5: centroide della pressione media al livello del mare sull'Italia (a sinistra) e sull'Europa (al centro), frequenza media stagionale del tipo di tempo calcolata sul trentennio climatologico 1981-2010 (a destra).

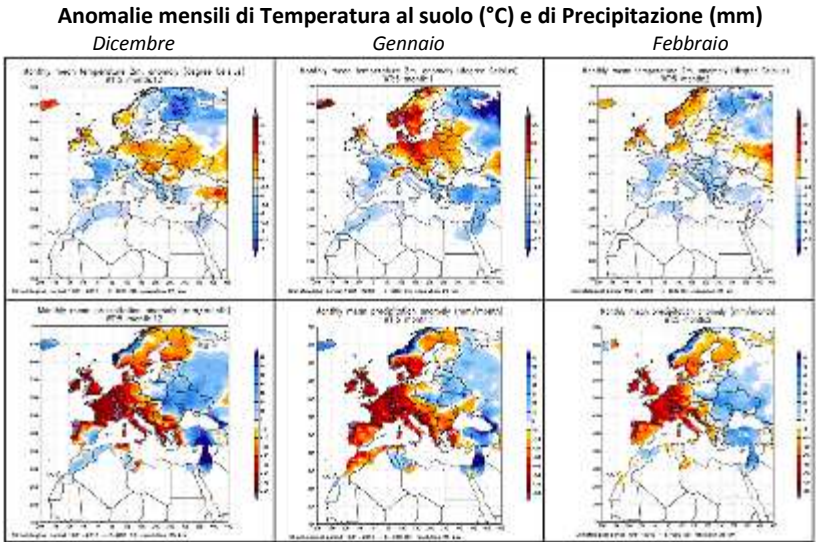


Fig. 3.7b – Mappe composite di anomalia di temperatura al suolo (riga in alto) e di precipitazioni (riga in basso) rispetto alla climatologia 1981-2010. Valori di Dicembre, Gennaio e Febbraio

Tipo di tempo: 6 - Stagione: INVERNO – Frequenza media: 19 giorni

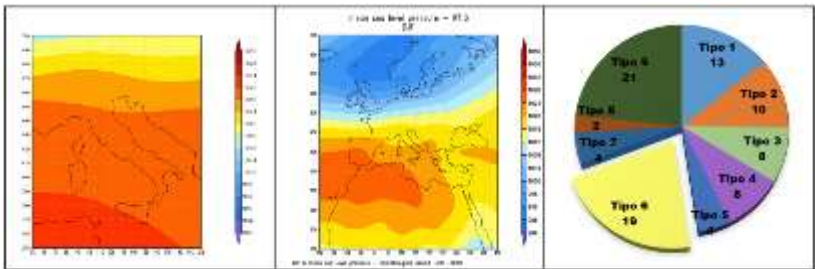


Fig. 3.8a – Tipo di tempo 6: centroide della pressione media al livello del mare sull'Italia (a sinistra) e sull'Europa (al centro), frequenza media stagionale del tipo di tempo calcolata sul trentennio climatologico 1981-2010 (a destra).

Anomalie mensili di Temperatura al suolo (°C) e di Precipitazione (mm)

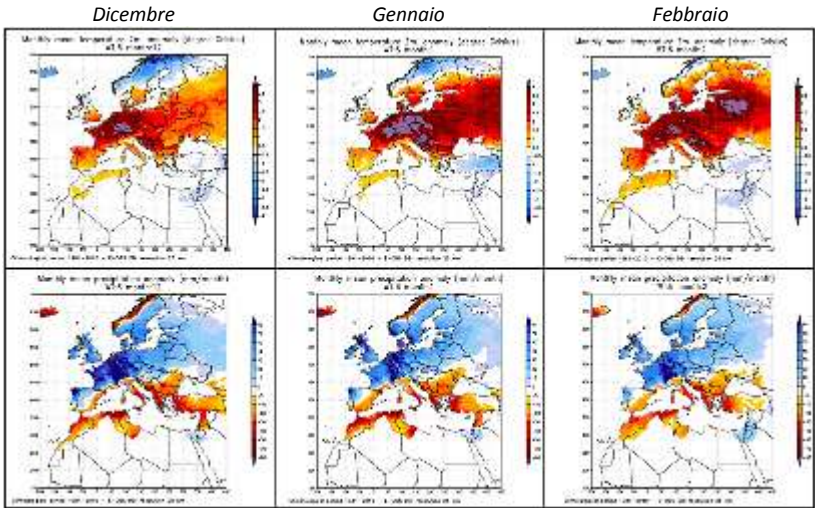


Fig. 3.8b – Mappe composite di anomalie di temperatura al suolo (riga in alto) e di precipitazioni (riga in basso) rispetto alla climatologia 1981-2010. Valori di Dicembre, Gennaio e Febbraio

Tipo di tempo: 7 - Stagione: INVERNO – Frequenza media: 4 giorni

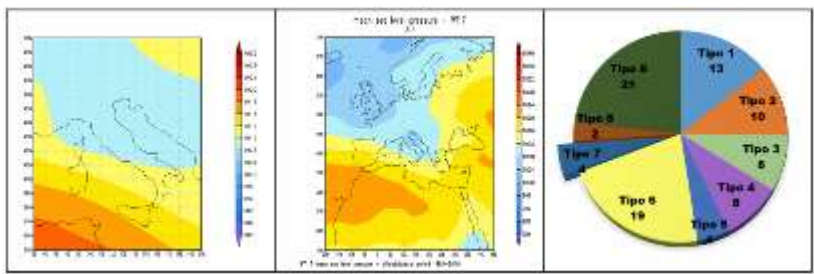


Fig. 39a – Tipo di tempo 7: centroide della pressione media al livello del mare sull'Italia (a sinistra) e sull'Europa (al centro), frequenza media stagionale del tipo di tempo calcolata sul trentennio climatologico 1981-2010 (a destra).

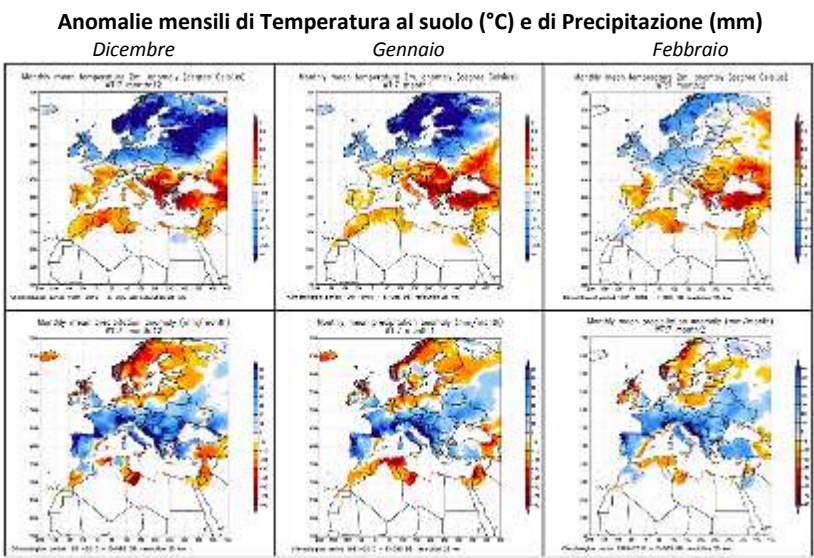


Fig. 3.9b – Mappe composite di anomalia di temperatura al suolo (riga in alto) e di precipitazioni (riga in basso) rispetto alla climatologia 1981-2010. Valori di Dicembre, Gennaio e Febbraio

Tipo di tempo: 8 - Stagione: INVERNO – Frequenza media: 2 giorni

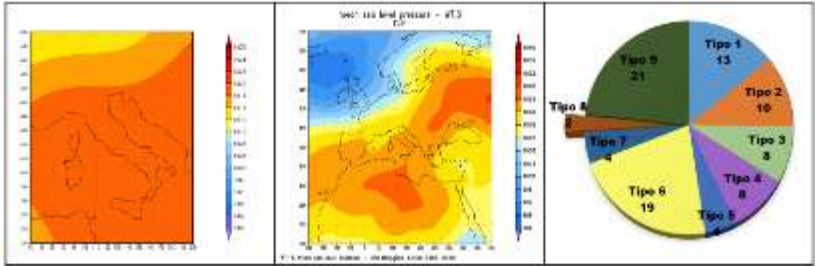


Fig. 3.10a – Tipo di tempo 8: centroide della pressione media al livello del mare sull'Italia (a sinistra) e sull'Europa (al centro), frequenza media stagionale del tipo di tempo calcolata sul trentennio climatologico 1981-2010 (a destra).

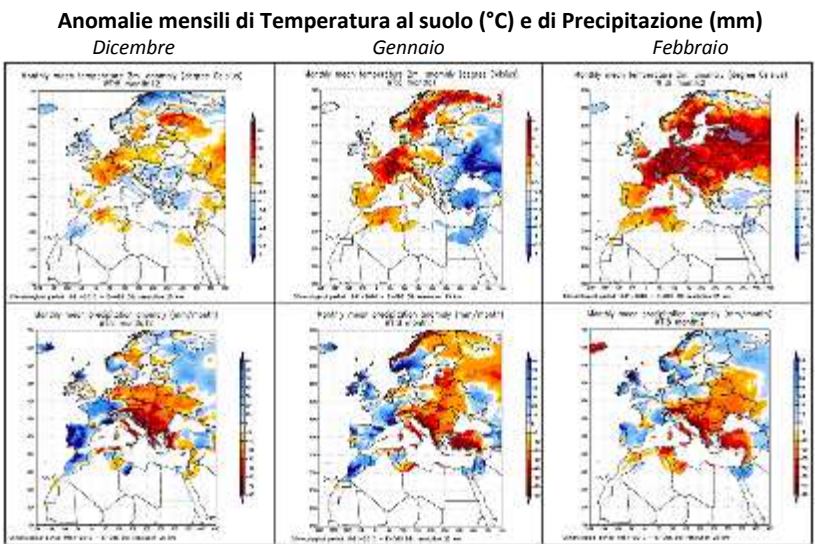


Fig. 3.10b – Mappe composite di anomalia di temperatura al suolo (riga in alto) e di precipitazioni (riga in basso) rispetto alla climatologia 1981-2010. Valori di Dicembre, Gennaio e Febbraio

Tipo di tempo: 9 - Stagione: INVERNO – Frequenza media: 21 giorni

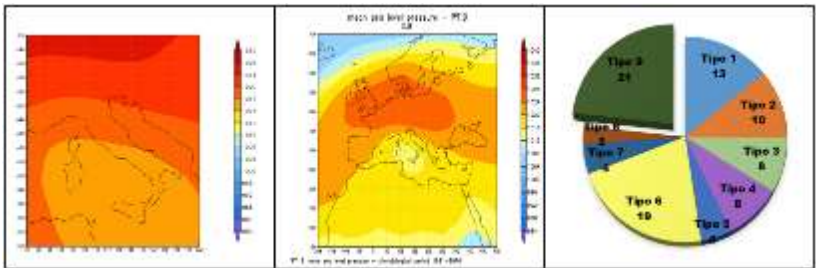


Fig. 3.11a – Tipo di tempo 9: centroide della pressione media al livello del mare sull'Italia (a sinistra) e sull'Europa (al centro), frequenza media stagionale del tipo di tempo calcolata sul trentennio climatologico 1981-2010 (a destra).

Anomalie mensili di Temperatura al suolo (°C) e di Precipitazione (mm)

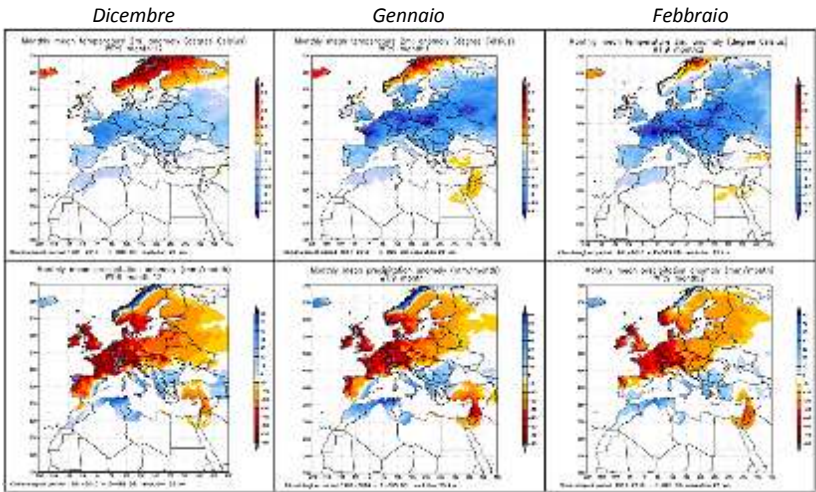


Fig. 3.11b – Mappe composite di anomalia di temperatura al suolo (riga in alto) e di precipitazioni (riga in basso) rispetto alla climatologia 1981-2010. Valori di Dicembre, Gennaio e Febbraio

Tipo di tempo: 1 - Stagione: AUTUNNO – Frequenza media: 8 giorni

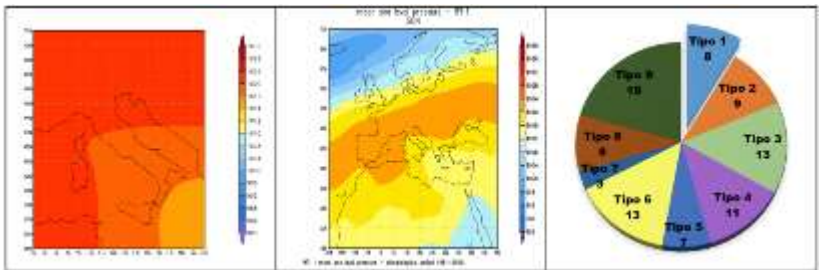


Fig. 3.12a – Tipo di tempo 1: centroide della pressione media al livello del mare sull'Italia (a sinistra) e sull'Europa (al centro), frequenza media stagionale del tipo di tempo calcolata sul trentennio climatologico 1981-2010 (a destra).

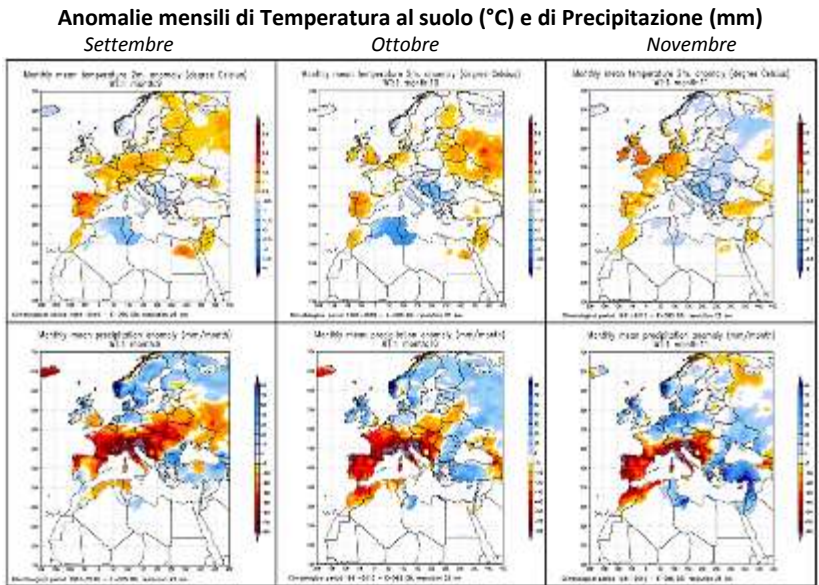


Fig. 3.12b – Mappe composite di anomalia di temperatura al suolo (riga in alto) e di precipitazioni (riga in basso) rispetto alla climatologia 1981-2010. Valori di Settembre, Ottobre e Novembre

Tipo di tempo: 2 - Stagione: AUTUNNO – Frequenza media: 9 giorni

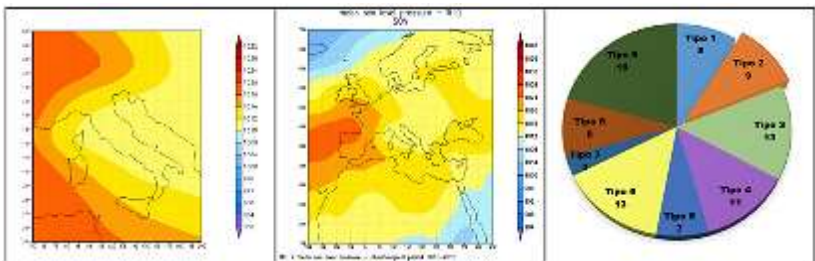


Fig. 3.13a – Tipo di tempo 2: centroide della pressione media al livello del mare sull'Italia (a sinistra) e sull'Europa (al centro), frequenza media stagionale del tipo di tempo calcolata sul trentennio climatologico 1981-2010 (a destra).

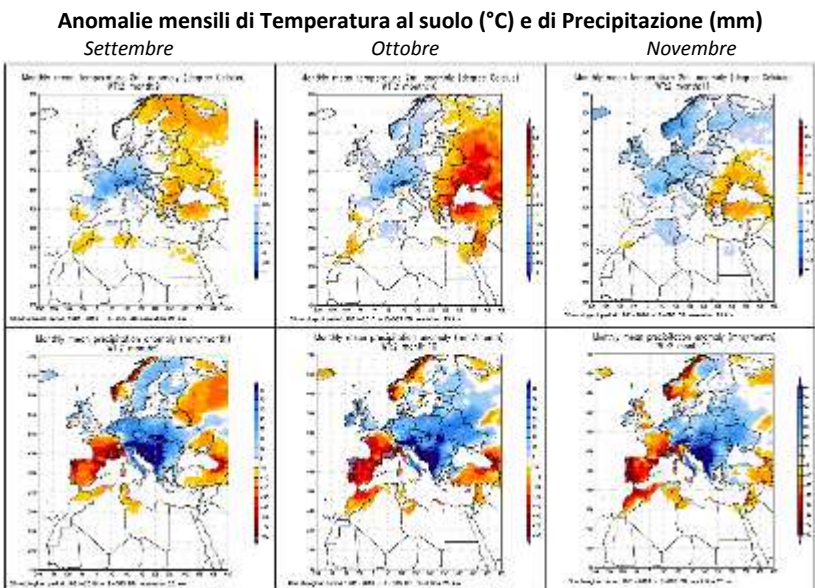


Fig. 3.13b – Mappe composite di anomalia di temperatura al suolo (riga in alto) e di precipitazioni (riga in basso) rispetto alla climatologia 1981-2010. Valori di Settembre, Ottobre e Novembre

Tipo di tempo: 3 - Stagione: AUTUNNO – Frequenza media: 13 giorni

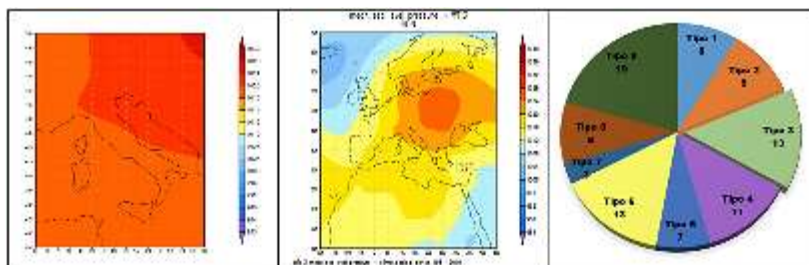


Fig. 3.14a – Tipo di tempo 3: centroide della pressione media al livello del mare sull'Italia (a sinistra) e sull'Europa (al centro), frequenza media stagionale del tipo di tempo calcolata sul trentennio climatologico 1981-2010 (a destra).

Anomalie mensili di Temperatura al suolo ($^{\circ}\text{C}$) e di Precipitazione (mm)

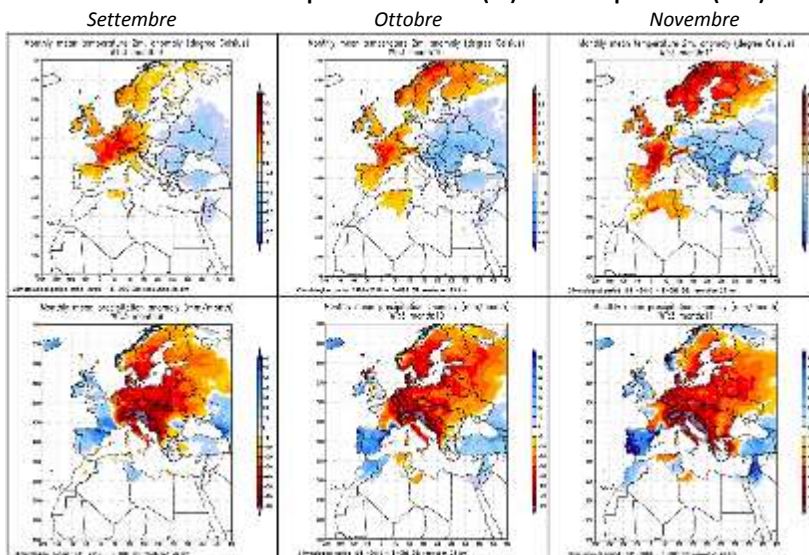


Fig. 3.14b – Mappe composite di anomalia di temperatura al suolo (riga in alto) e di precipitazioni (riga in basso) rispetto alla climatologia 1981-2010. Valori di Settembre, Ottobre e Novembre

Tipo di tempo: 4 - Stagione: AUTUNNO – Frequenza media: 11 giorni

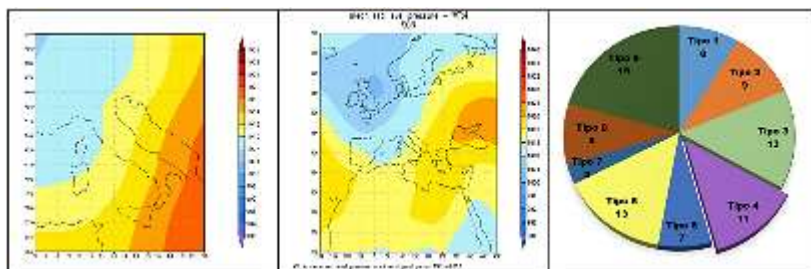


Fig. 3.15a – Tipo di tempo 4: centroide della pressione media al livello del mare sull'Italia (a sinistra) e sull'Europa (al centro), frequenza media stagionale del tipo di tempo calcolata sul trentennio climatologico 1981-2010 (a destra).

Anomalie mensili di Temperatura al suolo (°C) e di Precipitazione (mm)

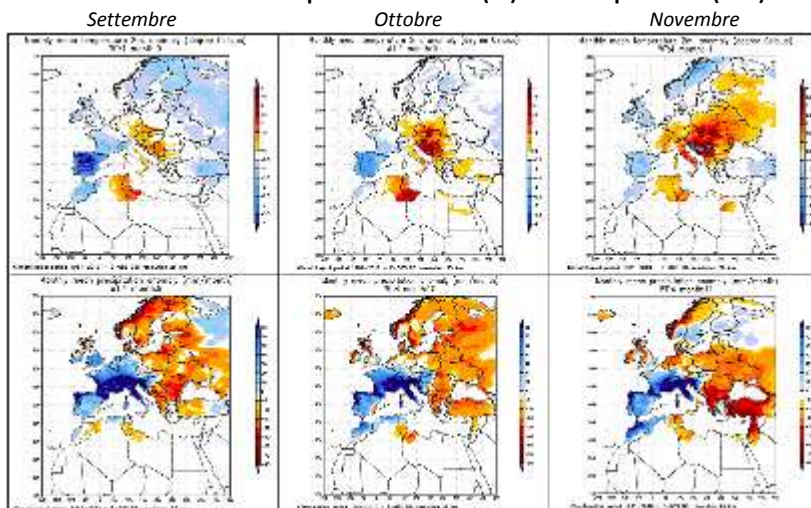


Fig. 3.15b – Mappe composite di anomalia di temperatura al suolo (riga in alto) e di precipitazioni (riga in basso) rispetto alla climatologia 1981-2010. Valori di Settembre, Ottobre e Novembre

Tipo di tempo: 5 - Stagione: AUTUNNO – Frequenza media: 7 giorni

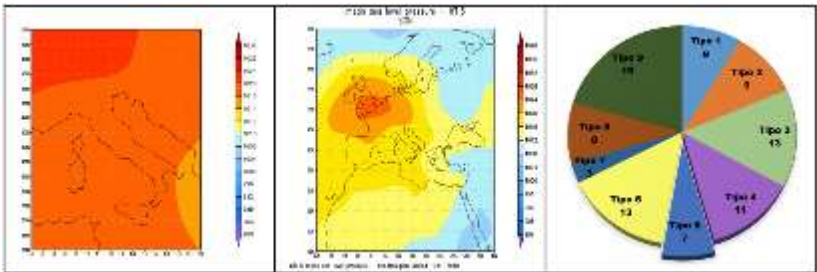


Fig. 3.16a – Tipo di tempo 5: centroide della pressione media al livello del mare sull'Italia (a sinistra) e sull'Europa (al centro), frequenza media stagionale del tipo di tempo calcolata sul trentennio climatologico 1981-2010 (a destra).

Anomalie mensili di Temperatura al suolo (°C) e di Precipitazione (mm)

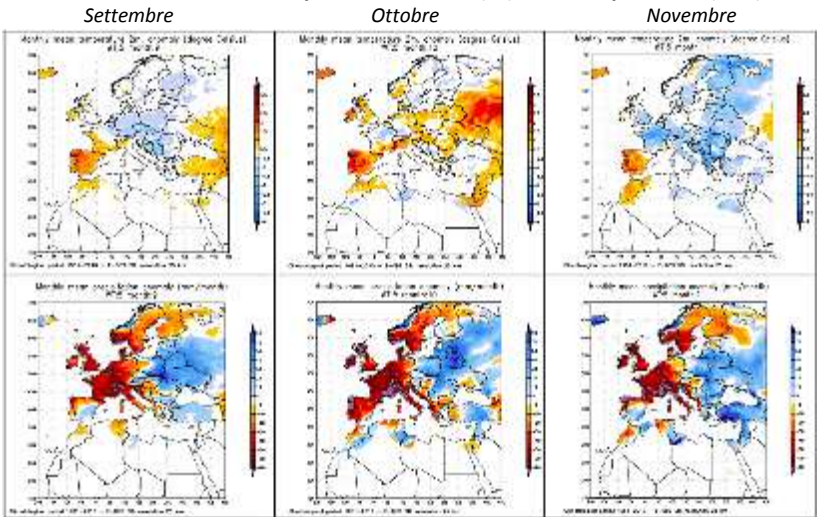


Fig. 3.16b – Mappe composite di anomalia di temperatura al suolo (riga in alto) e di precipitazioni (riga in basso) rispetto alla climatologia 1981-2010. Valori di Settembre, Ottobre e Novembre

Tipo di tempo: 6 - Stagione: AUTUNNO – Frequenza media: 13 giorni

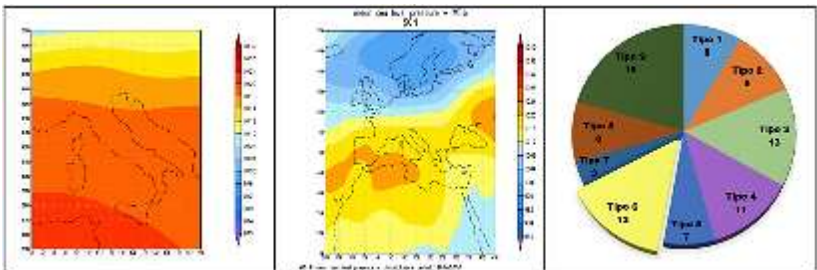


Fig. 3.17a – Tipo di tempo 6: centroide della pressione media al livello del mare sull'Italia (a sinistra) e sull'Europa (al centro), frequenza media stagionale del tipo di tempo calcolata sul trentennio climatologico 1981-2010 (a destra).

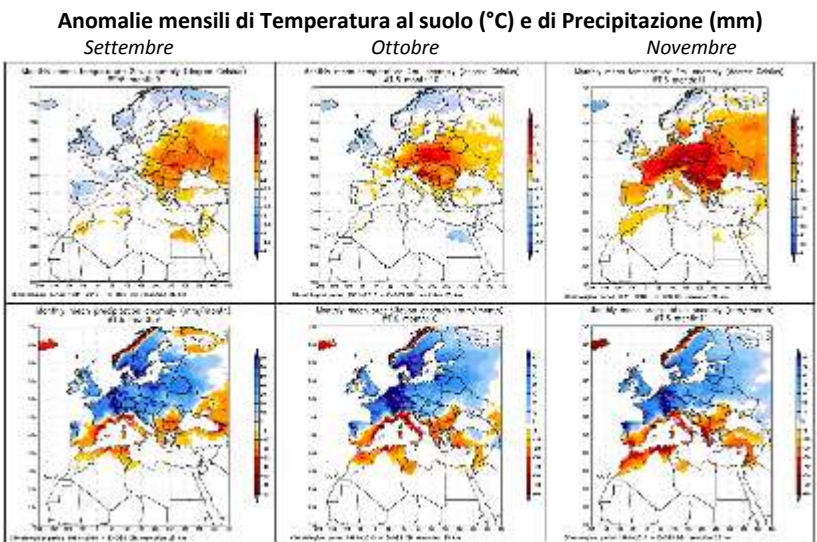


Fig. 3.17b – Mappe composite di anomalie di temperatura al suolo (riga in alto) e di precipitazioni (riga in basso) rispetto alla climatologia 1981-2010. Valori di Settembre, Ottobre e Novembre

Tipo di tempo: 7 - Stagione: AUTUNNO – Frequenza media: 3 giorni

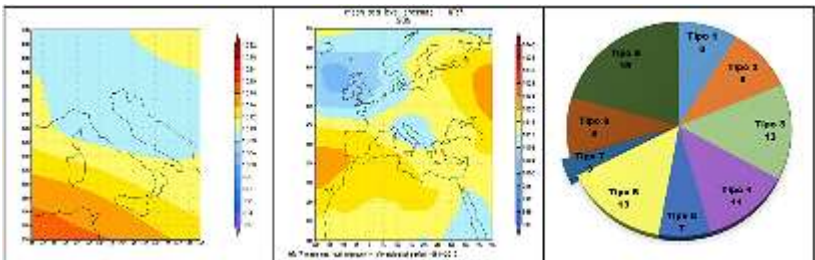


Fig. 3.18a – Tipo di tempo 7: centroide della pressione media al livello del mare sull'Italia (a sinistra) e sull'Europa (al centro), frequenza media stagionale del tipo di tempo calcolata sul trentennio climatologico 1981-2010 (a destra).

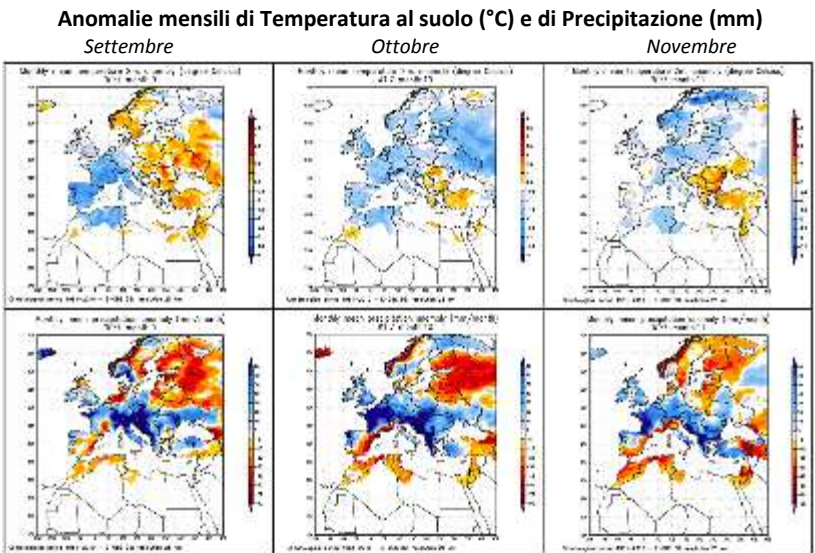


Fig. 3.18b – Mappe composite di anomalia di temperatura al suolo (riga in alto) e di precipitazioni (riga in basso) rispetto alla climatologia 1981-2010. Valori di Settembre, Ottobre e Novembre

Tipo di tempo: 8 - Stagione: AUTUNNO – Frequenza media: 8 giorni

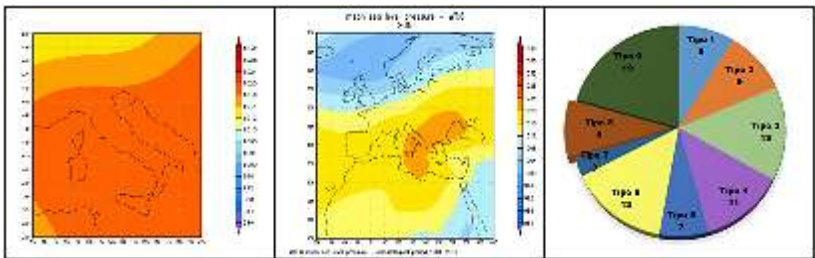


Fig. 3.19a – Tipo di tempo 8: centroide della pressione media al livello del mare sull'Italia (a sinistra) e sull'Europa (al centro), frequenza media stagionale del tipo di tempo calcolata sul trentennio climatologico 1981-2010 (a destra).

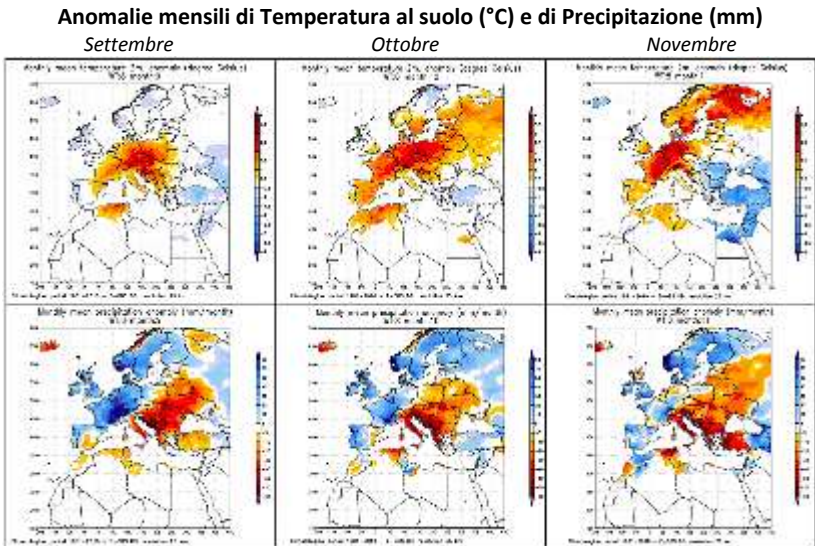


Fig. 3.19b – Mappe composite di anomalia di temperatura al suolo (riga in alto) e di precipitazioni (riga in basso) rispetto alla climatologia 1981-2010. Valori di Settembre, Ottobre e Novembre

Tipo di tempo: 9 - Stagione: AUTUNNO – Frequenza media: 19 giorni

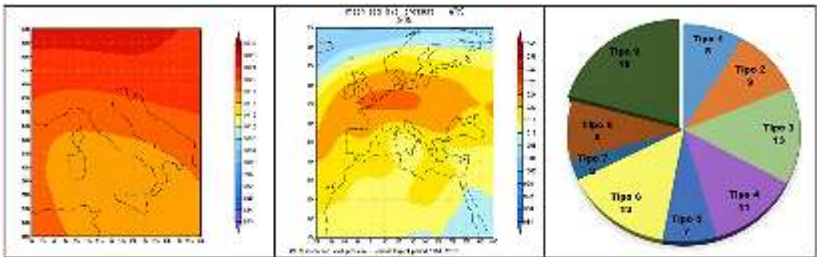


Fig. 3.20a – Tipo di tempo 9: centroide della pressione media al livello del mare sull'Italia (a sinistra) e sull'Europa (al centro), frequenza media stagionale del tipo di tempo calcolata sul trentennio climatologico 1981-2010 (a destra).

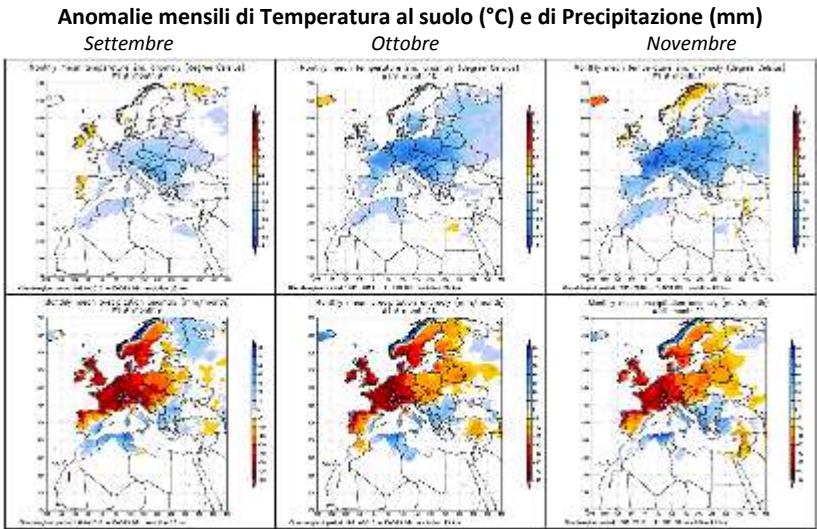


Fig. 3.20b – Mappe composite di anomalia di temperatura al suolo (riga in alto) e di precipitazioni (riga in basso) rispetto alla climatologia 1981-2010. Valori di Settembre, Ottobre e Novembre

Tipo di tempo: 1 - Stagione: PRIMAVERA– Frequenza media: 7 giorni

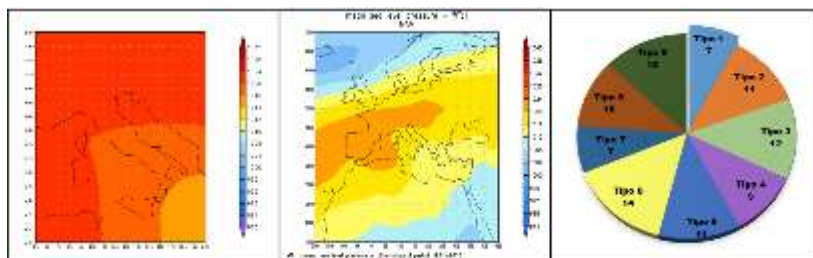


Fig. 3.21a – Tipo di tempo 1: centroide della pressione media al livello del mare sull'Italia (a sinistra) e sull'Europa (al centro), frequenza media stagionale del tipo di tempo calcolata sul trentennio climatologico 1981-2010 (a destra).

Anomalie mensili di Temperatura al suolo (°C) e di Precipitazione (mm)

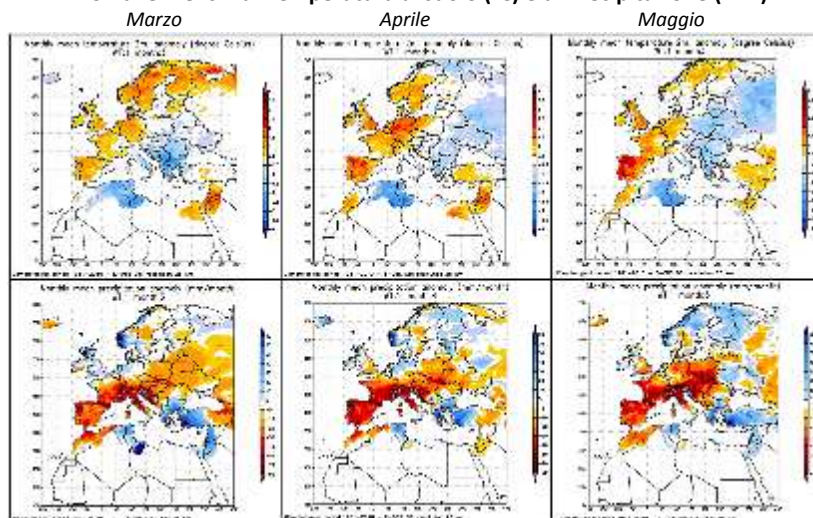


Fig. 3.21b – Mappe composite di anomalie di temperatura al suolo (riga in alto) e di precipitazioni (riga in basso) rispetto alla climatologia 1981-2010. Valori di Marzo, Aprile e Maggio

Tipo di tempo: 2 - Stagione: PRIMAVERA - Frequenza media: 11 giorni

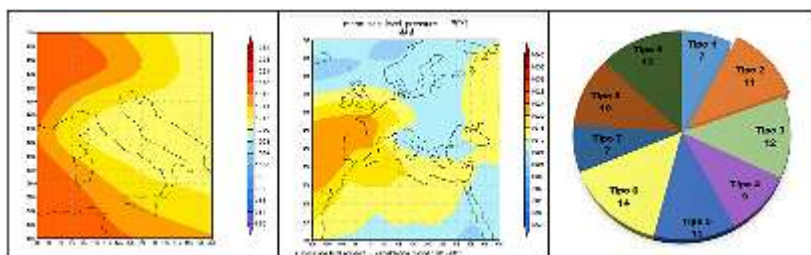


Fig. 3.22a – Tipo di tempo 2: centroide della pressione media al livello del mare sull'Italia (a sinistra) e sull'Europa (al centro), frequenza media stagionale del tipo di tempo calcolata sul trentennio climatologico 1981-2010 (a destra).

Anomalie mensili di Temperatura al suolo (°C) e di Precipitazione (mm)

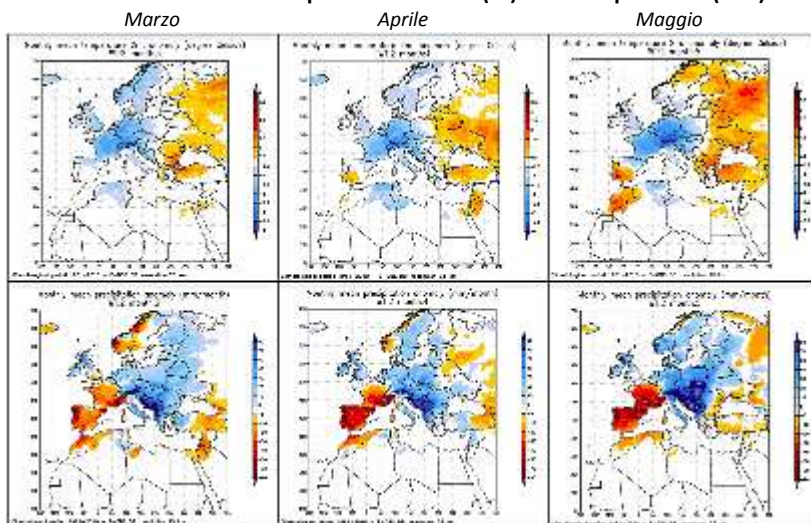


Fig. 3.22b – Mappe composite di anomalia di temperatura al suolo (riga in alto) e di precipitazioni (riga in basso) rispetto alla climatologia 1981-2010. Valori di Marzo, Aprile e Maggio

Tipo di tempo: 3 - Stagione: PRIMAVERA - Frequenza media: 12 giorni

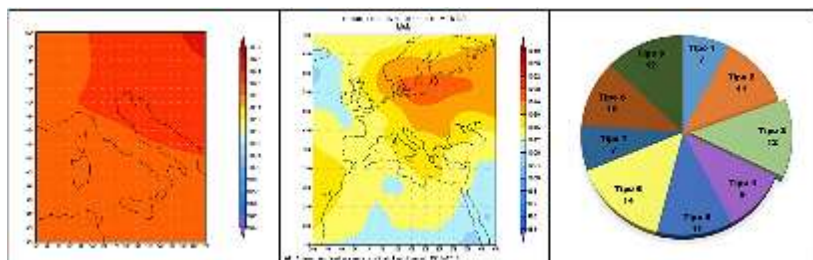


Fig. 3.23a – Tipo di tempo 3: centroide della pressione media al livello del mare sull'Italia (a sinistra) e sull'Europa (al centro), frequenza media stagionale del tipo di tempo calcolata sul trentennio climatologico 1981-2010 (a destra).

Anomalie mensili di Temperatura al suolo (°C) e di Precipitazione (mm)

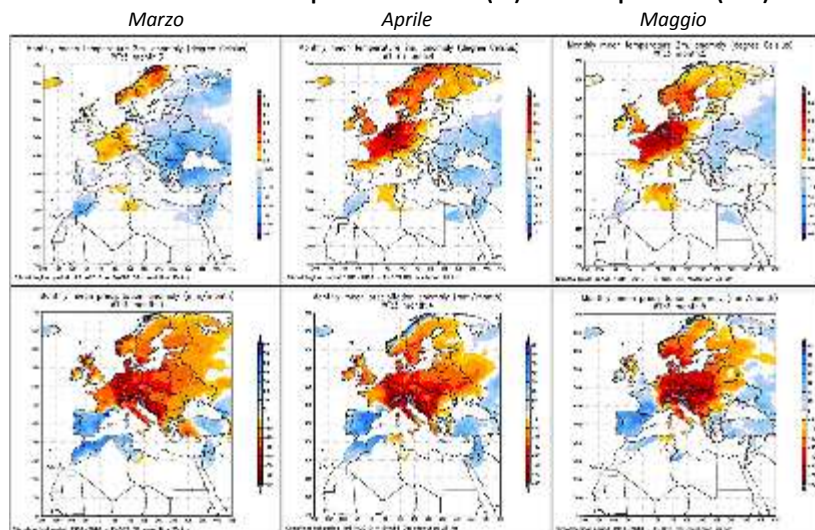


Fig. 3.23b – Mappe composite di anomalia di temperatura al suolo (riga in alto) e di precipitazioni (riga in basso) rispetto alla climatologia 1981-2010. Valori di Marzo, Aprile e Maggio

Tipo di tempo: 4 - Stagione: PRIMAVERA - Frequenza media: 9 giorni

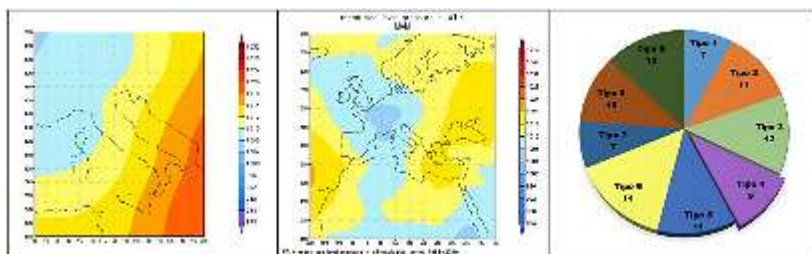


Fig. 3.24a – Tipo di tempo 4: centroide della pressione media al livello del mare sull'Italia (a sinistra) e sull'Europa (al centro), frequenza media stagionale del tipo di tempo calcolata sul trentennio climatologico 1981-2010 (a destra).

Anomalie mensili di Temperatura al suolo ($^{\circ}\text{C}$) e di Precipitazione (mm)

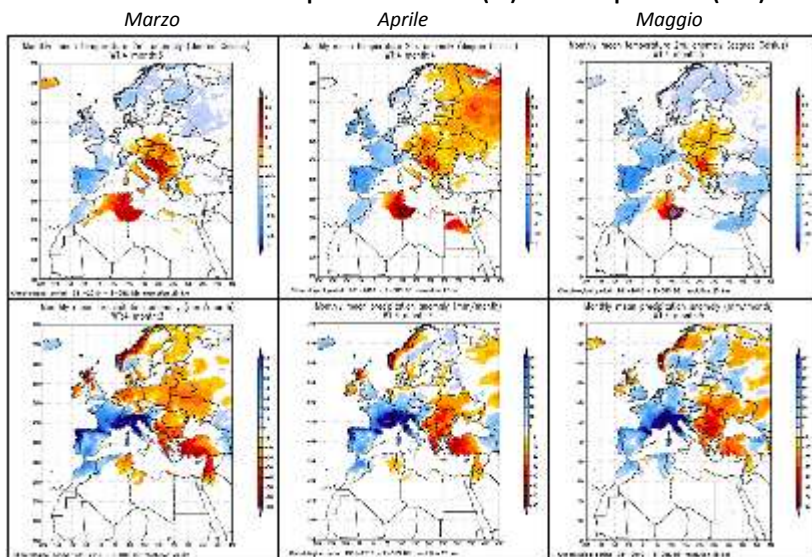


Fig. 3.24b – Mappe composite di anomalie di temperatura al suolo (riga in alto) e di precipitazioni (riga in basso) rispetto alla climatologia 1981-2010. Valori di Marzo, Aprile e Maggio

Tipo di tempo: 5 - Stagione: PRIMAVERA - Frequenza media: 11 giorni

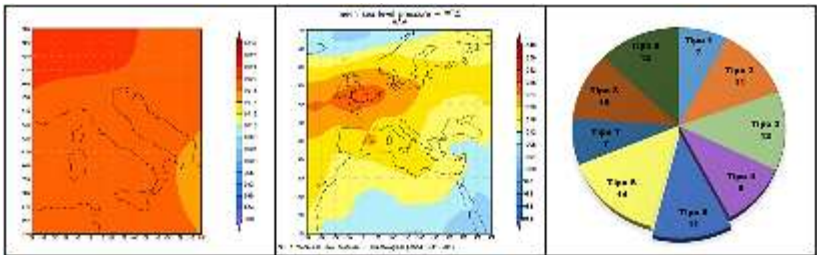


Fig. 3.25a – Tipo di tempo 5: centroide della pressione media al livello del mare sull'Italia (a sinistra) e sull'Europa (al centro), frequenza media stagionale del tipo di tempo calcolata sul trentennio climatologico 1981-2010 (a destra).

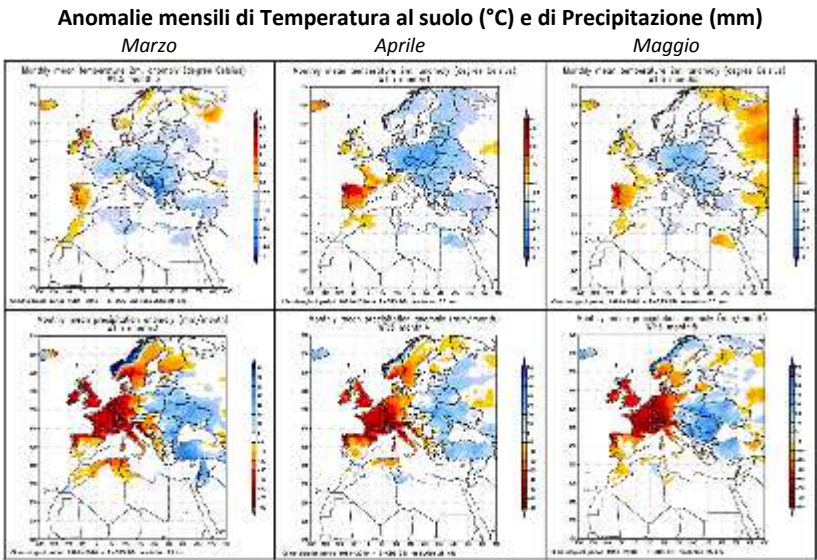


Fig. 3.25b – Mappe composite di anomalia di temperatura al suolo (riga in alto) e di precipitazioni (riga in basso) rispetto alla climatologia 1981-2010. Valori di Marzo, Aprile e Maggio

Tipo di tempo: 6 - Stagione: PRIMAVERA - Frequenza media: 14 giorni

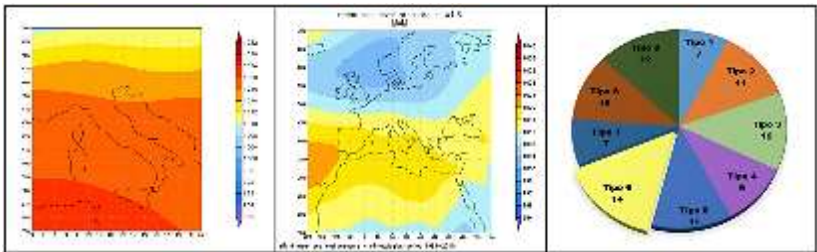


Fig. 3.26a – Tipo di tempo 6: centroide della pressione media al livello del mare sull'Italia (a sinistra) e sull'Europa (al centro), frequenza media stagionale del tipo di tempo calcolata sul trentennio climatologico 1981-2010 (a destra).

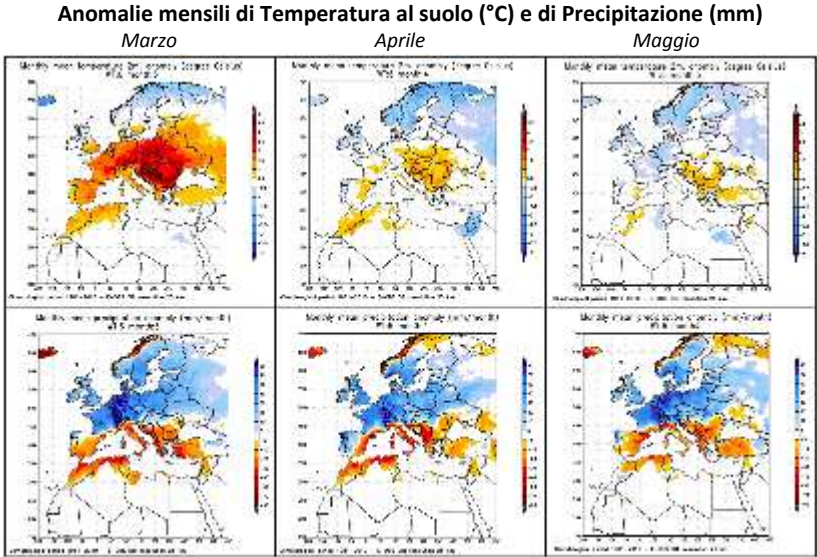


Fig. 3.26b – Mappe composite di anomalia di temperatura al suolo (riga in alto) e di precipitazioni (riga in basso) rispetto alla climatologia 1981-2010. Valori di Marzo, Aprile e Maggio

Tipo di tempo: 7 - Stagione: PRIMAVERA - Frequenza media: 7 giorni

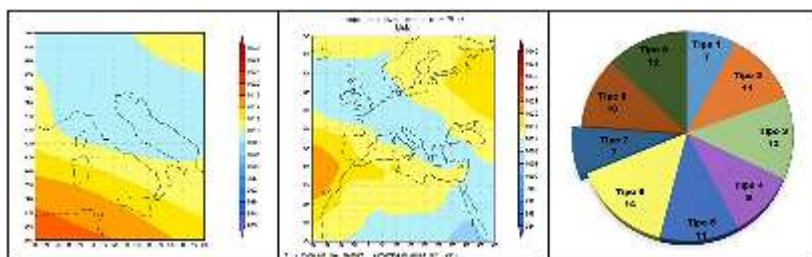


Fig. 3.27a – Tipo di tempo 7: centroide della pressione media al livello del mare sull'Italia (a sinistra) e sull'Europa (al centro), frequenza media stagionale del tipo di tempo calcolata sul trentennio climatologico 1981-2010 (a destra).

Anomalie mensili di Temperatura al suolo (°C) e di Precipitazione (mm)

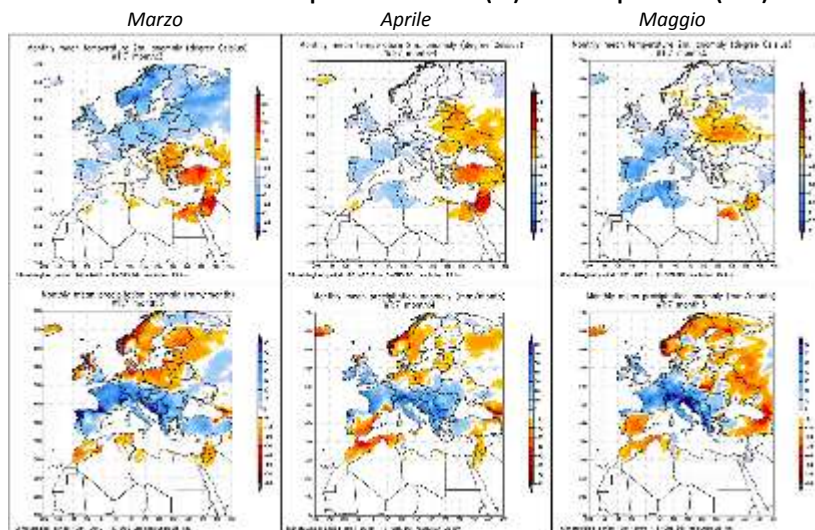


Fig. 3.27b – Mappe composite di anomalie di temperatura al suolo (riga in alto) e di precipitazioni (riga in basso) rispetto alla climatologia 1981-2010. Valori di Marzo, Aprile e Maggio

Tipo di tempo: 8 - Stagione: PRIMAVERA - Frequenza media: 10 giorni

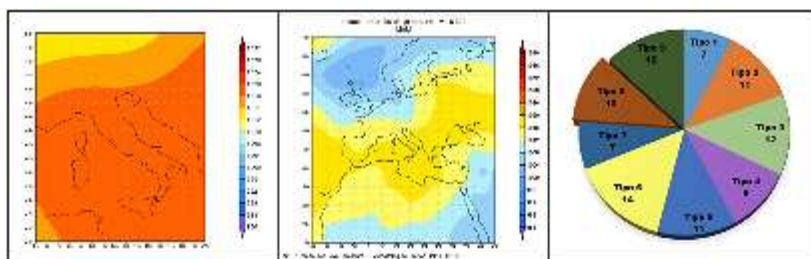


Fig. 3.28a – Tipo di tempo 8: centroide della pressione media al livello del mare sull'Italia (a sinistra) e sull'Europa (al centro), frequenza media stagionale del tipo di tempo calcolata sul trentennio climatologico 1981-2010 (a destra).

Anomalie mensili di Temperatura al suolo (°C) e di Precipitazione (mm)

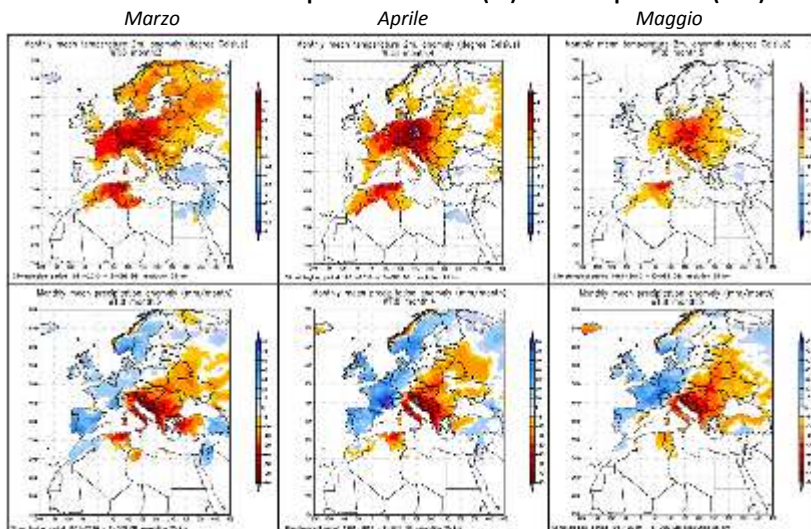


Fig. 3.28b – Mappe composite di anomalia di temperatura al suolo (riga in alto) e di precipitazioni (riga in basso) rispetto alla climatologia 1981-2010. Valori di Marzo, Aprile e Maggio

Tipo di tempo: 9 - Stagione: PRIMAVERA - Frequenza media: 12 giorni

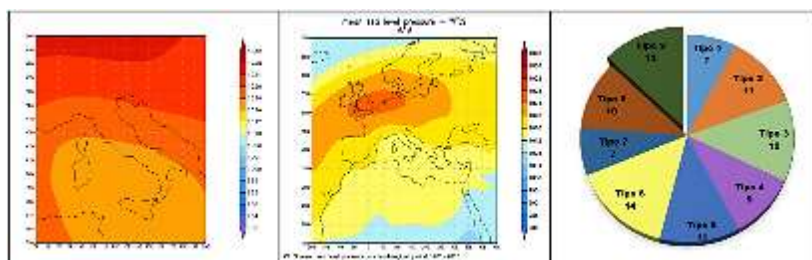


Fig. 3.29a – Tipo di tempo 9: centroide della pressione media al livello del mare sull'Italia (a sinistra) e sull'Europa (al centro), frequenza media stagionale del tipo di tempo calcolata sul trentennio climatologico 1981-2010 (a destra).

Anomalie mensili di Temperatura al suolo ($^{\circ}\text{C}$) e di Precipitazione (mm)

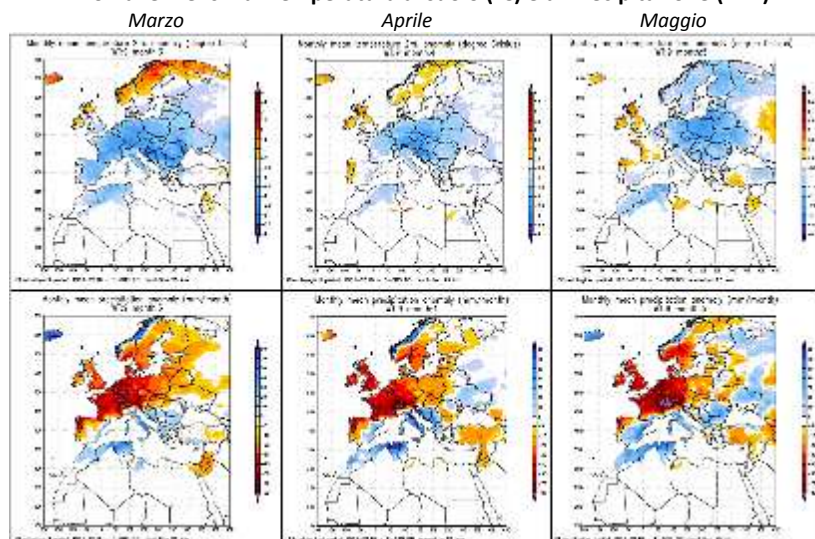


Fig. 3.29b – Mappe composite di anomalia di temperatura al suolo (riga in alto) e di precipitazioni (riga in basso) rispetto alla climatologia 1981-2010. Valori di Marzo, Aprile e Maggio

Tipo di tempo: 1 - Stagione: ESTATE - Frequenza media: 10 giorni

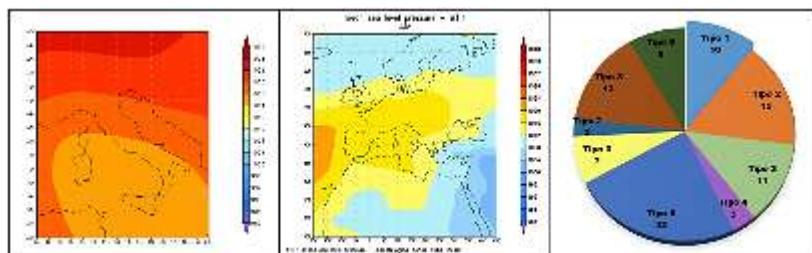


Fig. 3.30a – Tipo di tempo 1: centroide della pressione media al livello del mare sull'Italia (a sinistra) e sull'Europa (al centro), frequenza media stagionale del tipo di tempo calcolata sul trentennio climatologico 1981-2010 (a destra).

Anomalie mensili di Temperatura al suolo (°C) e di Precipitazione (mm)

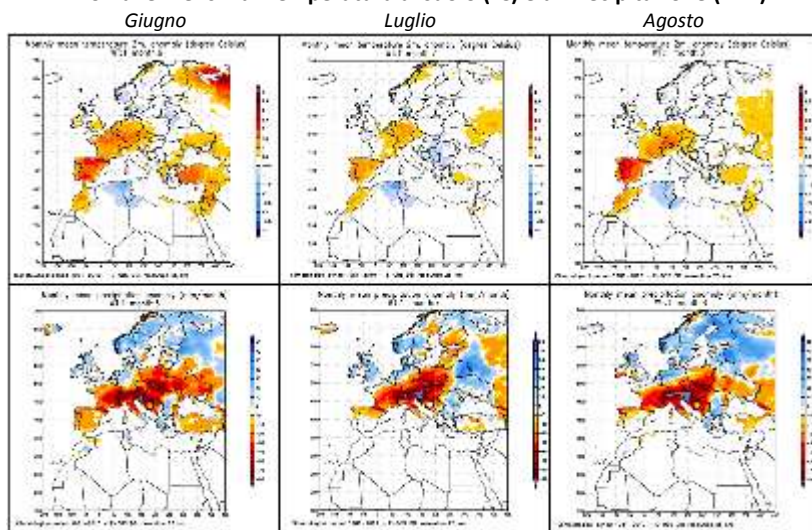


Fig. 3.30b – Mappe composite di anomalie di temperatura al suolo (riga in alto) e di precipitazioni (riga in basso) rispetto alla climatologia 1981-2010. Valori di Giugno, Luglio e Agosto

Tipo di tempo: 2 - Stagione: ESTATE - Frequenza media: 15 giorni

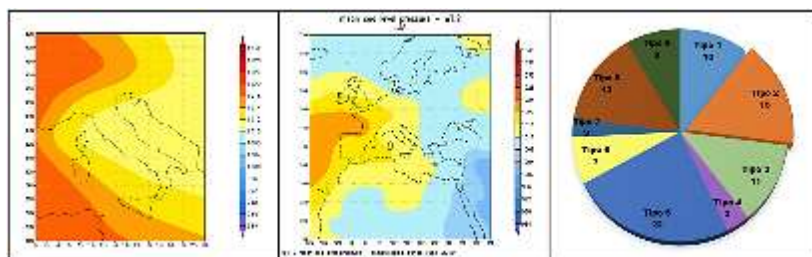


Fig. 3.31a – Tipo di tempo 2: centroide della pressione media al livello del mare sull'Italia (a sinistra) e sull'Europa (al centro), frequenza media stagionale del tipo di tempo calcolata sul trentennio climatologico 1981-2010 (a destra).

Anomalie mensili di Temperatura al suolo (°C) e di Precipitazione (mm)

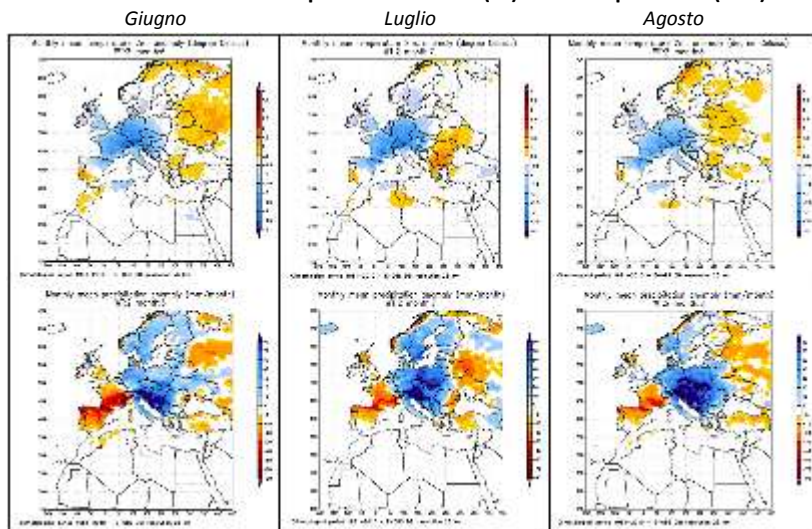


Fig. 3.31b – Mappe composite di anomalia di temperatura al suolo (riga in alto) e di precipitazioni (riga in basso) rispetto alla climatologia 1981-2010. Valori di Giugno, Luglio e Agosto

Tipo di tempo: 3 - Stagione: ESTATE - Frequenza media: 11 giorni

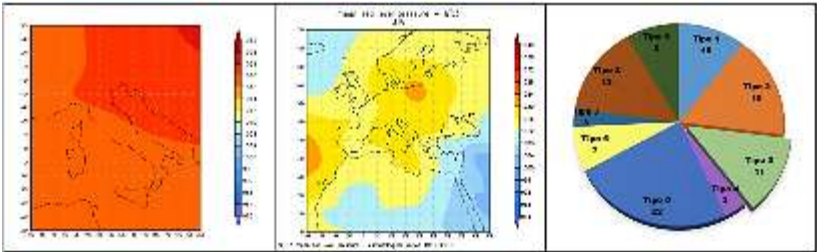


Fig. 3.32a – Tipo di tempo 3: centroide della pressione media al livello del mare sull'Italia (a sinistra) e sull'Europa (al centro), frequenza media stagionale del tipo di tempo calcolata sul trentennio climatologico 1981-2010 (a destra).

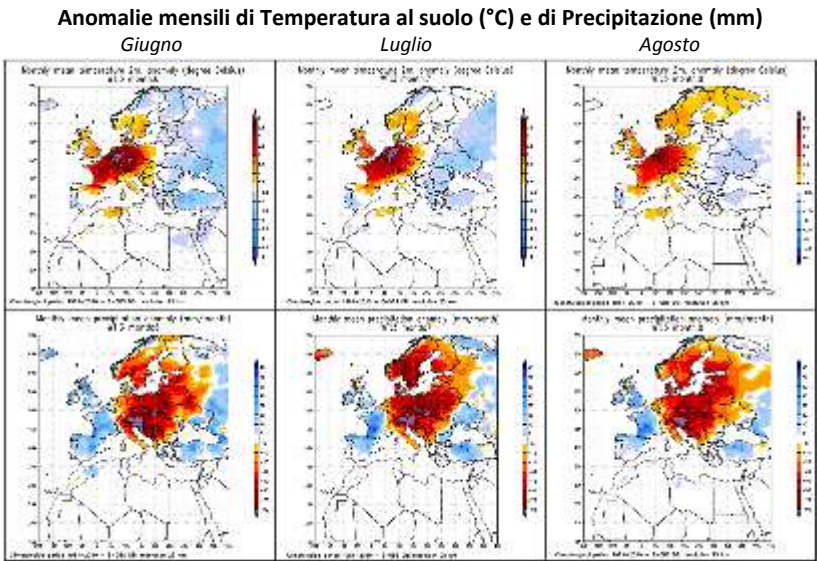


Fig. 3.32b – Mappe composite di anomalia di temperatura al suolo (riga in alto) e di precipitazioni (riga in basso) rispetto alla climatologia 1981-2010. Valori di Giugno, Luglio e Agosto

Tipo di tempo: 4 - Stagione: ESTATE - Frequenza media: 3 giorni

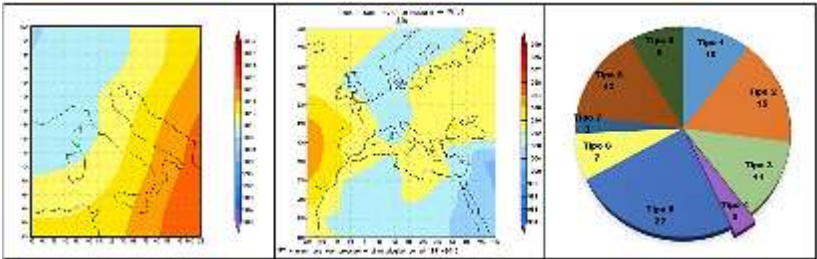


Fig. 3.33a – Tipo di tempo 4: centroide della pressione media al livello del mare sull'Italia (a sinistra) e sull'Europa (al centro), frequenza media stagionale del tipo di tempo calcolata sul trentennio climatologico 1981-2010 (a destra).

Anomalie mensili di Temperatura al suolo (°C) e di Precipitazione (mm)
Giugno Luglio Agosto

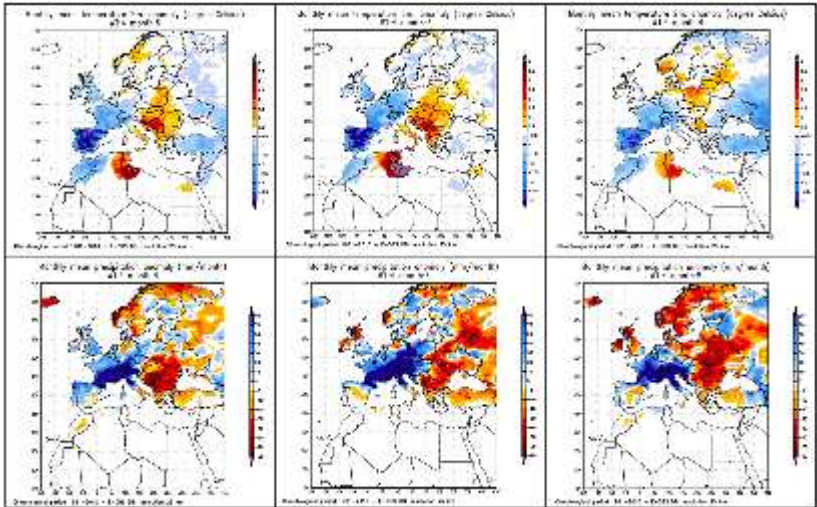


Fig. 3.33b – Mappe composite di anomalia di temperatura al suolo (riga in alto) e di precipitazioni (riga in basso) rispetto alla climatologia 1981-2010. Valori di Giugno, Luglio e Agosto

Tipo di tempo: 5 - Stagione: ESTATE - Frequenza media: 22 giorni

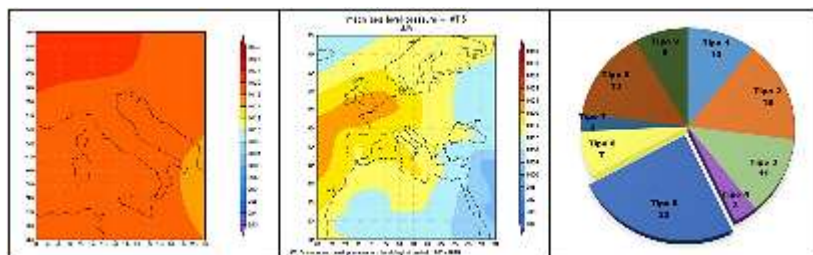


Fig. 3.34a – Tipo di tempo 5: centroide della pressione media al livello del mare sull'Italia (a sinistra) e sull'Europa (al centro), frequenza media stagionale del tipo di tempo calcolata sul trentennio climatologico 1981-2010 (a destra).

Anomalie mensili di Temperatura al suolo (°C) e di Precipitazione (mm)

Giugno

Luglio

Agosto

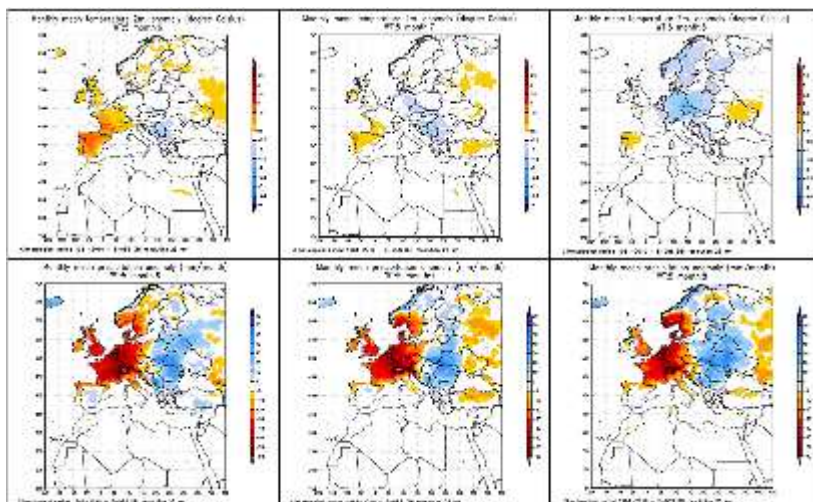


Fig. 3.34b – Mappe composite di anomalia di temperatura al suolo (riga in alto) e di precipitazioni (riga in basso) rispetto alla climatologia 1981-2010. Valori di Giugno, Luglio e Agosto

Tipo di tempo: 6 - Stagione: ESTATE - Frequenza media: 7 giorni

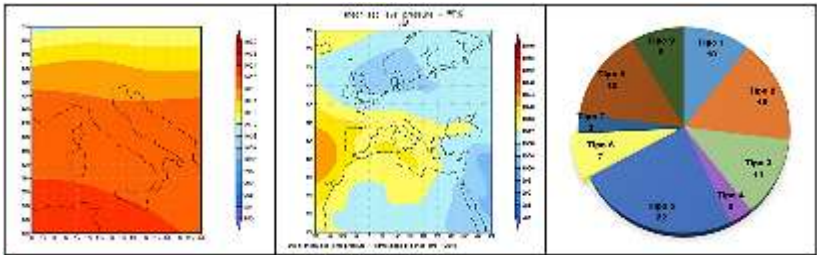


Fig. 3.35a – Tipo di tempo 6: centroide della pressione media al livello del mare sull'Italia (a sinistra) e sull'Europa (al centro), frequenza media stagionale del tipo di tempo calcolata sul trentennio climatologico 1981-2010 (a destra).

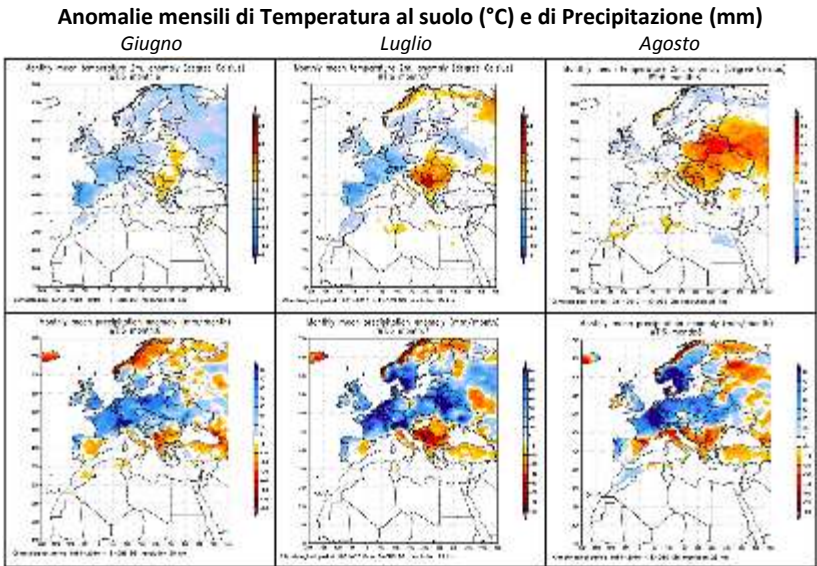


Fig. 3.35b – Mappe composite di anomalia di temperatura al suolo (riga in alto) e di precipitazioni (riga in basso) rispetto alla climatologia 1981-2010. Valori di Giugno, Luglio e Agosto

Tipo di tempo: 7 - Stagione: ESTATE - Frequenza media: 3 giorni

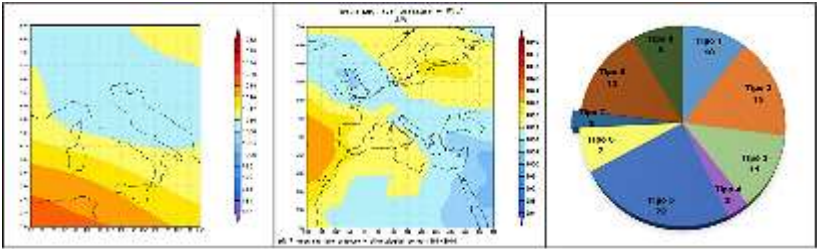


Fig. 3.36a – Tipo di tempo 7: centroide della pressione media al livello del mare sull'Italia (a sinistra) e sull'Europa (al centro), frequenza media stagionale del tipo di tempo calcolata sul trentennio climatologico 1981-2010 (a destra).

Anomalie mensili di Temperatura al suolo (°C) e di Precipitazione (mm)
Giugno Luglio Agosto

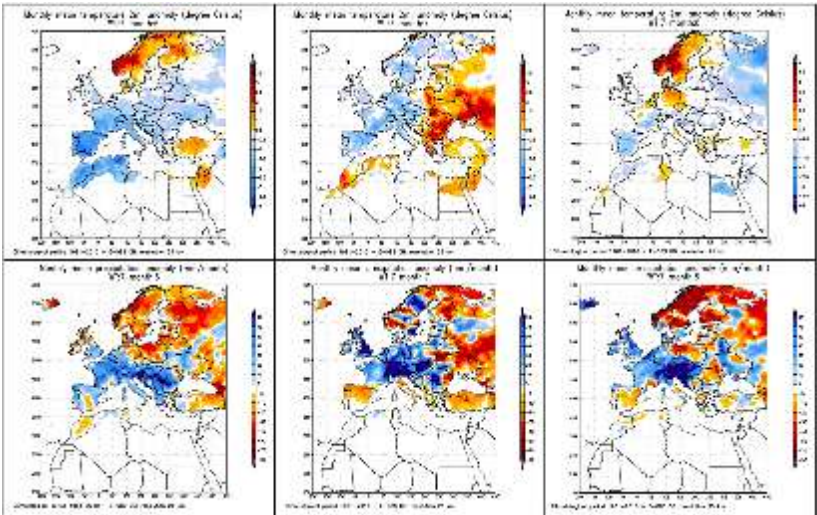


Fig. 3.36b – Mappe composite di anomalia di temperatura al suolo (riga in alto) e di precipitazioni (riga in basso) rispetto alla climatologia 1981-2010. Valori di Giugno, Luglio e Agosto

Tipo di tempo: 8 - Stagione: ESTATE - Frequenza media: 13 giorni

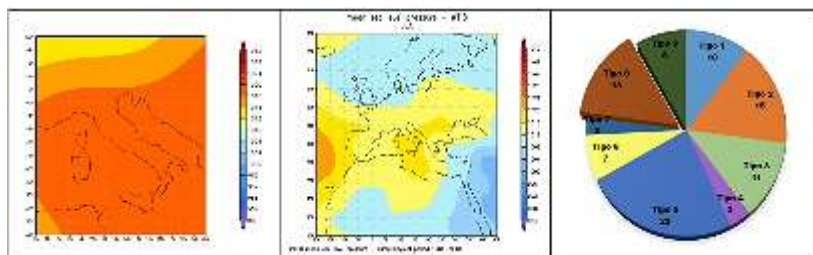


Fig. 3.37a – Tipo di tempo 8: centroide della pressione media al livello del mare sull'Italia (a sinistra) e sull'Europa (al centro), frequenza media stagionale del tipo di tempo calcolata sul trentennio climatologico 1981-2010 (a destra).

Anomalie mensili di Temperatura al suolo (°C) e di Precipitazione (mm)

Giugno

Luglio

Agosto

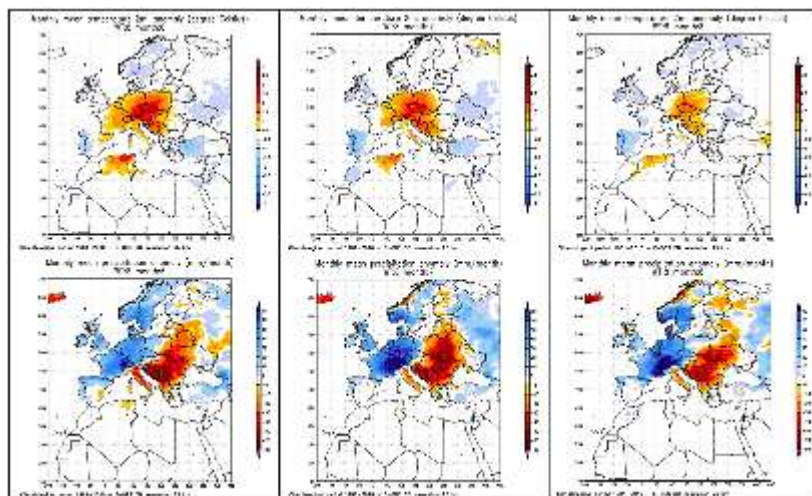


Fig. 3.37b – Mappe composite di anomalie di temperatura al suolo (riga in alto) e di precipitazioni (riga in basso) rispetto alla climatologia 1981-2010. Valori di Giugno, Luglio e Agosto

Tipo di tempo: 9 - Stagione: ESTATE - Frequenza media: 8 giorni

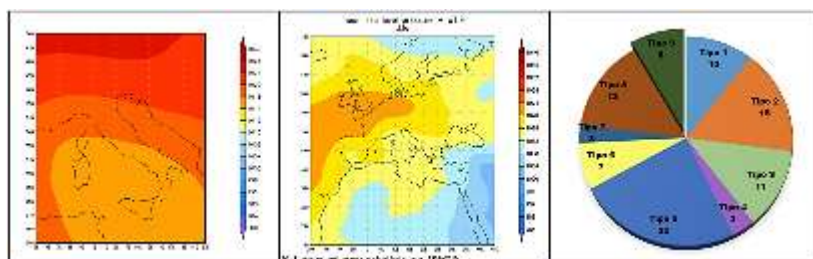


Fig. 3.38a – Tipo di tempo 9: centroide della pressione media al livello del mare sull'Italia (a sinistra) e sull'Europa (al centro), frequenza media stagionale del tipo di tempo calcolata sul trentennio climatologico 1981-2010 (a destra).

Anomalie mensili di Temperatura al suolo (°C) e di Precipitazione (mm)

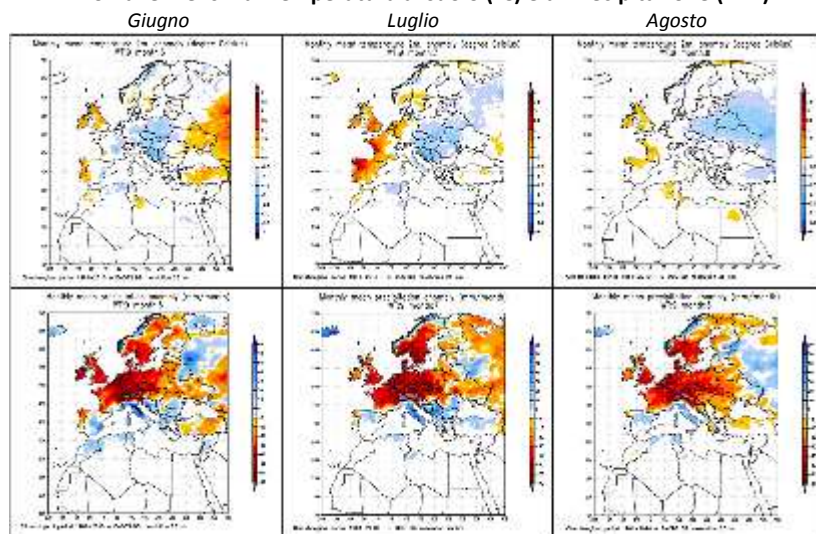


Fig. 3.38b – Mappe composite di anomalia di temperatura al suolo (riga in alto) e di precipitazioni (riga in basso) rispetto alla climatologia 1981-2010. Valori di Giugno, Luglio e Agosto

3.2 Climatologia dei tipi di tempo in Toscana

3.2.1 Analisi delle frequenze

La classificazione dei tipi di tempo PCT9 è stata messa a punto per la regione Toscana dal 1979 al 2015 ed è stata condotta un'analisi sulla distribuzione dei vari tipi di tempo durante tutti i mesi e le stagioni dell'anno, sulla loro persistenza e sulla frequenza delle loro occorrenze. A livello mensile i tipi di tempo prevalenti sulla regione Toscana sono riportati nella figura 3.39.

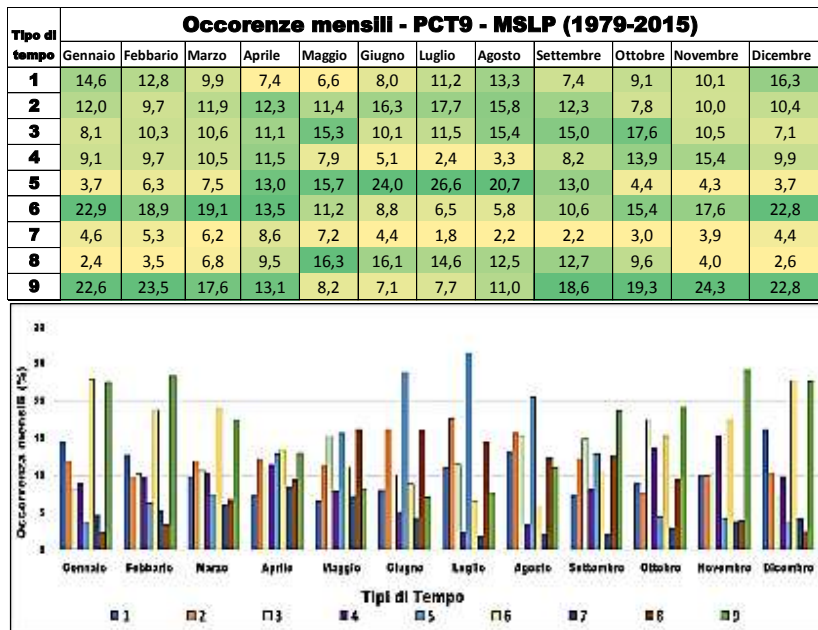


Fig. 3.39 - Occorrenze medie mensili espresse in percentuale di ciascun tipo di tempo sulla toscana (dati medi relativi al periodo 1979-2015). La gradazione di colore verde in tabella mostra i valori relativi ai tipi di tempo prevalenti

Raggruppando i tipi di tempo secondo condizioni atmosferiche simili sull'area toscana, è possibile distinguere due gruppi: quelle cicloniche (2, 4, 6, 7 e 9) e quelle anticicloniche (1, 3, 5 e 8). I tipi di tempo che descrivono condizioni cicloniche associate all'afflusso di correnti

umide di matrice prevalentemente atlantica sono più frequenti nel periodo invernale ed autunnale. Le configurazioni più ricorrenti sono il tipo di tempo 9 seguito dal tipo 6, ma è la circolazione associata al tipo di tempo 4, caratterizzata da un minimo ben strutturato tra alto Tirreno e Golfo Ligure, che determina sulla Toscana le precipitazioni più abbondanti in ogni stagione. D'altro canto, i tipi di tempo associati a condizioni atmosferiche anticicloniche risultano più frequenti nel periodo estivo e primaverile; la configurazione più ricorrente è senza dubbio la 5 seguita dalla numero 8. Nei mesi primaverili si osserva invece una maggiore omogeneità di frequenza tra i tipi di tempo anche se in marzo e aprile si osserva una prevalenza netta del tipo di tempo 6, mentre per il mese di maggio il più ricorrente è il tipo di tempo 8. Quanto detto è confermato anche a livello stagionale (Fig. 3.40).

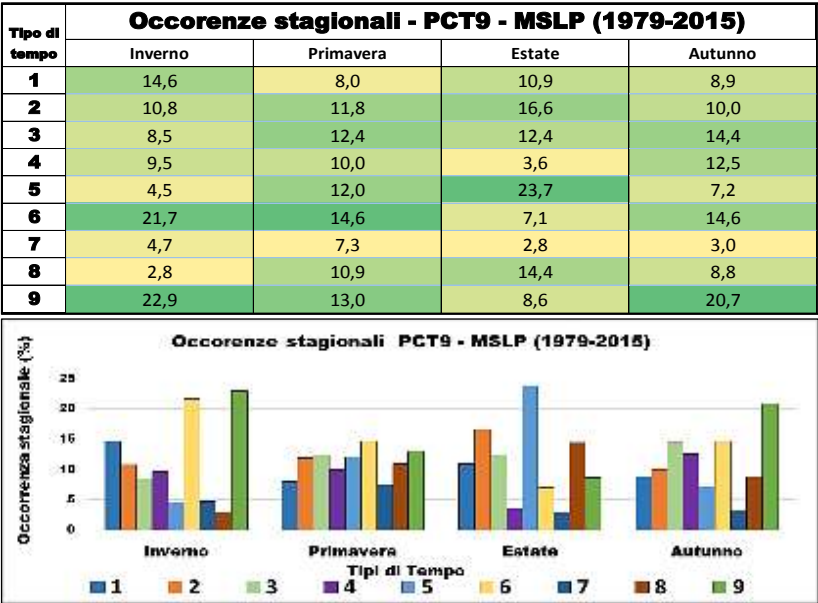


Fig. 3.40 - Occorrenze medie stagionali espresse in percentuale di ciascun tipo di tempo sulla Toscana (dati medi relativi al periodo 1979-2015). La gradazione di colore verde in tabella mostra i valori relativi ai tipi di tempo prevalenti.

E' evidente come in estate sia l'alta pressione a ricorrere maggiormente sull'Italia con circa un giorno su tre a carico del tipo di tempo 3, 5 e 8, anche se non è trascurabile l'occorrenza del tipo di tempo 2 (tipo di tempo ciclonico con minimo barico sul basso Tirreno) che ammonta a circa il 16%. Analogamente a quanto emerso a livello mensile, sono le circolazioni cicloniche (tipo di tempo 6 e 9) a dominare la scena in inverno ed autunno.

Quanto detto finora riassume la media delle occorrenze dei vari tipi di tempo, nel periodo 1979-2015, ma in virtù degli evidenti cambiamenti climatici esposti nei capitoli precedenti, si è reso opportuno analizzare l'andamento delle occorrenze annuali di ciascun tipo di circolazione nelle diverse stagioni, estendendo il periodo di osservazione dal 1955 al 2015, al fine di analizzare il loro trend (Fig. 3.41a e Fig. 3.41b).

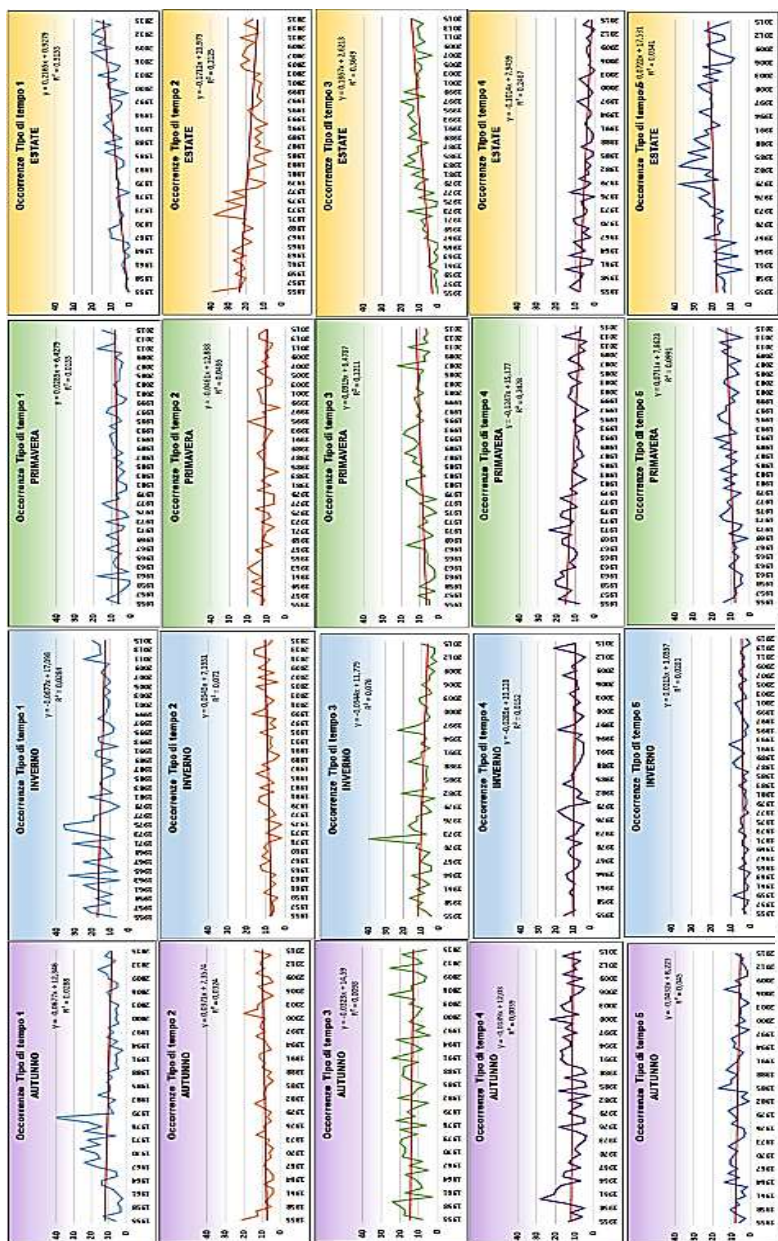


Fig. 3.41a - Frequenza dei tipi di tempo 1,2,3,4 e 5 (PCTs), nelle diverse stagioni. Dal 1955 al 2013

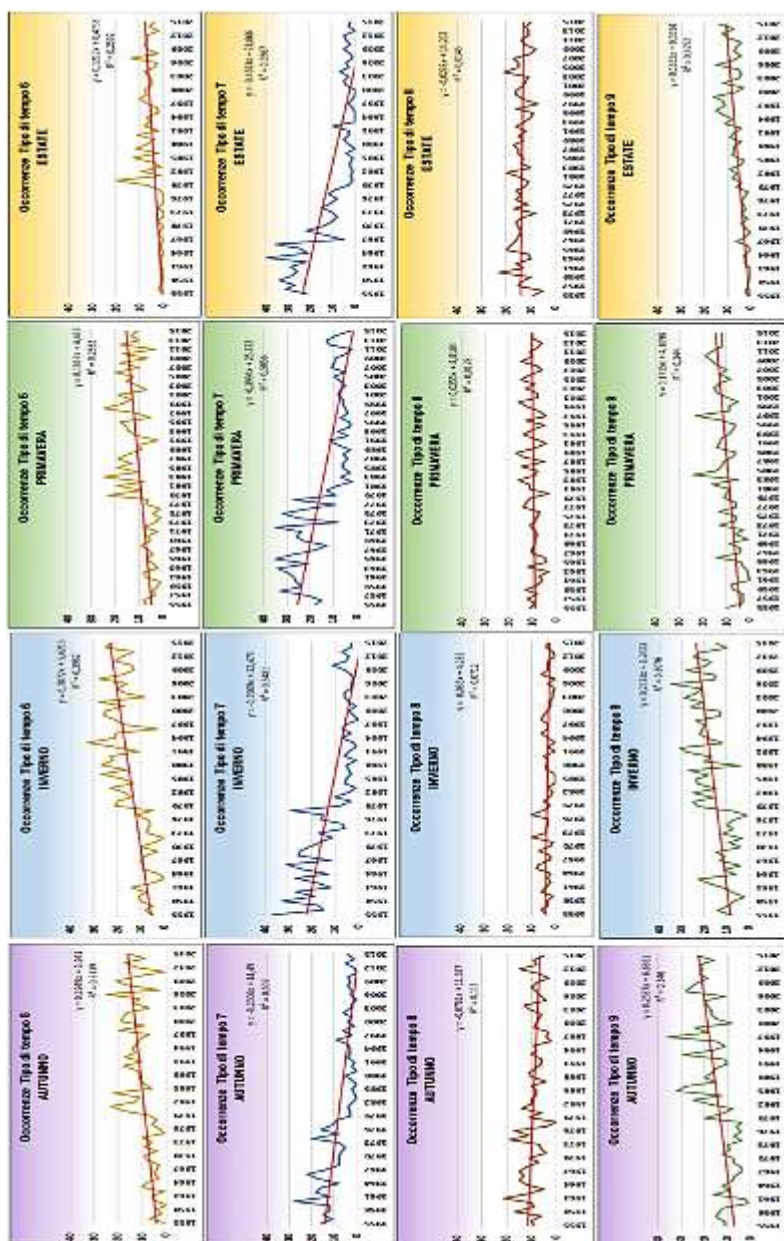
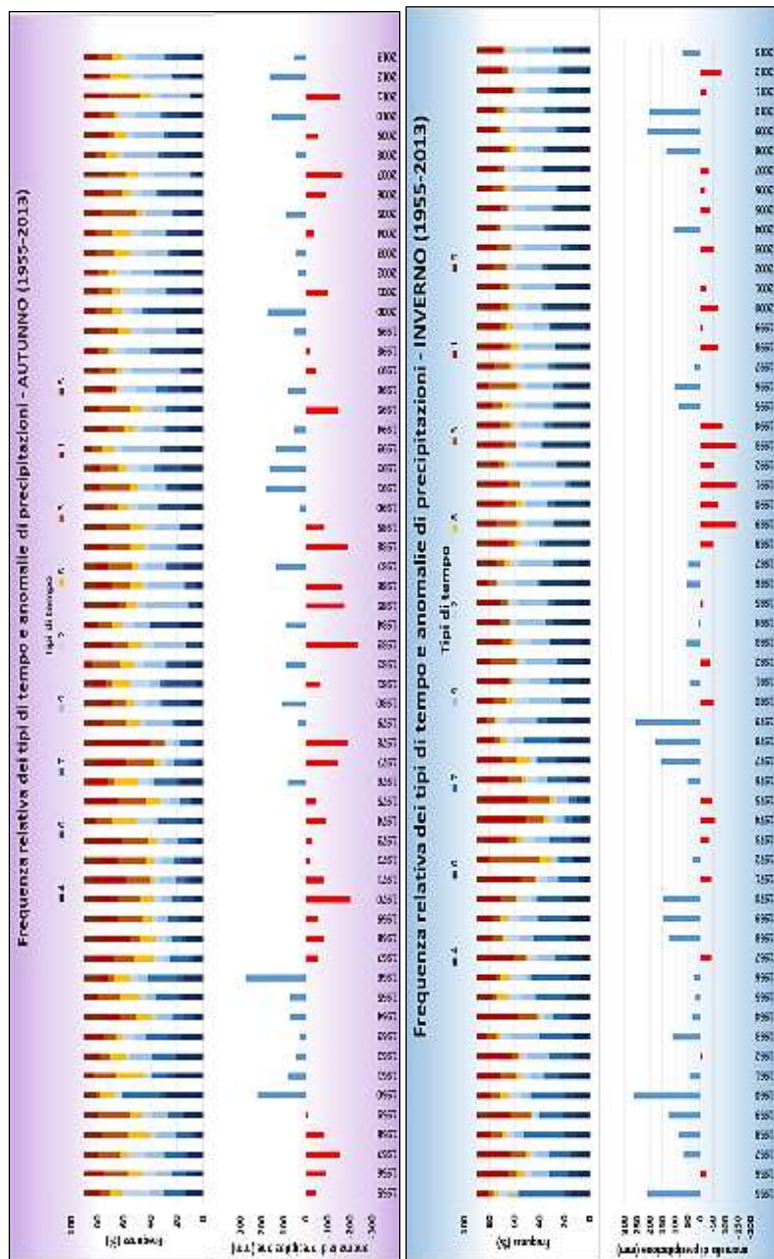


Fig. 3.41b - Frequenza dei tipi di tempo 1, 2, 3, 4 e 5 (PCT9), nelle diverse stagioni. Dal 1955 al 2013

Le occorrenze di alcuni tipi di circolazioni atmosferiche possono variare anche in modo considerevole di anno in anno. L'analisi dell'andamento temporale delle frequenze dei tipi di tempo associati a condizioni cicloniche, relativamente al periodo 1955 – 2015, (figure 3.41a e 3.41b), mostra un trend in forte decrescita in ogni stagione del tipo di tempo 7 fino agli anni 80, mentre successivamente tende a stabilizzarsi. Per quanto riguarda invece i tipi di tempo 6 e 9 la tendenza risulta in forte aumento, in modo più accentuato in autunno e in inverno, anche se dagli anni 80 il trend sembra essere meno accentuato. Nessuna tendenza rilevante si osserva per i tipi di tempo 2 e 4 ad eccezione del periodo estivo in cui le tendenze risultano in leggera diminuzione. Per quanto riguarda l'andamento temporale delle occorrenze dei tipi di circolazione associati a condizioni anticicloniche, l'aspetto più rilevante è legato ad una tendenza in aumento in estate delle configurazioni caratterizzate da alta pressione legate al tipo di tempo 1, 3 e in modo minore anche al 5. Proprio la maggiore frequenza delle configurazioni anticicloniche in estate risulta in linea con alcune delle variazioni climatiche collegate al *"Global Warming"* che stanno interessando la nostra regione, ovvero l'aumento del numero di ondate di calore e delle temperature nel periodo estivo. Appare quindi interessante osservare che, parte dei cambiamenti climatici che hanno interessato la nostra regione, può essere spiegato anche da alcuni cambiamenti nelle frequenze delle circolazioni atmosferiche.

Nei grafici delle figure 3.42 (a e b) si è cercato proprio di dare risalto al legame tra il regime pluviometrico annuale in Toscana e l'andamento dei 9 tipi di tempo. Ciascun grafico relativo alle 4 stagioni è diviso in due parti: quella inferiore riporta le anomalie delle precipitazioni cumulate a livello stagionale per ogni singolo anno e calcolate sull'intero territorio toscano, mediando i dati di 35 stazioni dal 1955 al 2013 (fonte dati CFR – Centro Funzionale della Regione Toscana) e sottraendo il valore medio climatologico ottenuto sul trentennio climatologico di riferimento 1981-2010; la parte superiore del grafico mostra le frequenze relative ai 9 tipi di tempo per gli stessi

anni, associando a condizioni umide una graduazione di colore blu-azzurra, mentre a quelle asciutte una graduazione di colore arancio-marone. Il grafico mostra chiaramente che le fluttuazioni annuali della quantità di precipitazioni viene ben individuata dalla diversa distribuzione delle frequenze relative alle nove circolazioni atmosferiche, individuate per descrivere nel modo più accurato possibile le precipitazioni sull'Italia e sulla Toscana. E' infatti evidente come per gli anni con anomalie stagionali di precipitazioni negative prevalgono circolazioni atmosferiche associate a condizioni mediamente asciutte e viceversa. Ad esempio, si fa notare come l'autunno del 1966 sia risultato sulla Toscana quello mediamente più piovoso dal 1955 al 2013 con una prevalenza di tipi di tempo umidi, dei quali i tipi 4, 6 e 7 (i tre tipi di tempo che apportano i maggiori quantitativi di pioggia sulla Toscana) assieme costituiscono più del 40% della totalità dei giorni di tutto il periodo autunnale. Viceversa, l'evento siccitoso del 2011 legato ad anomalie negative di precipitazioni del periodo primaverile e autunnale, mostra una chiara prevalenza dei tipi di tempo 1, 3 e 5, tipicamente "anticiclonici".



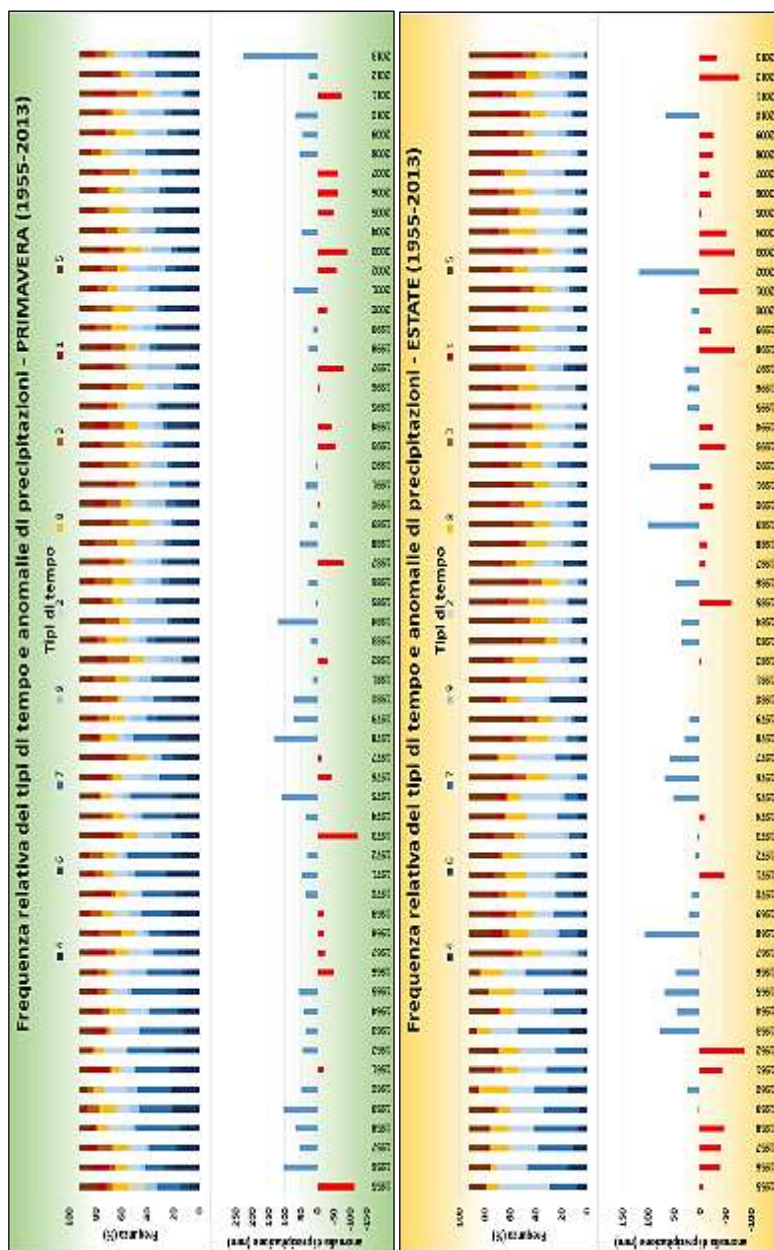
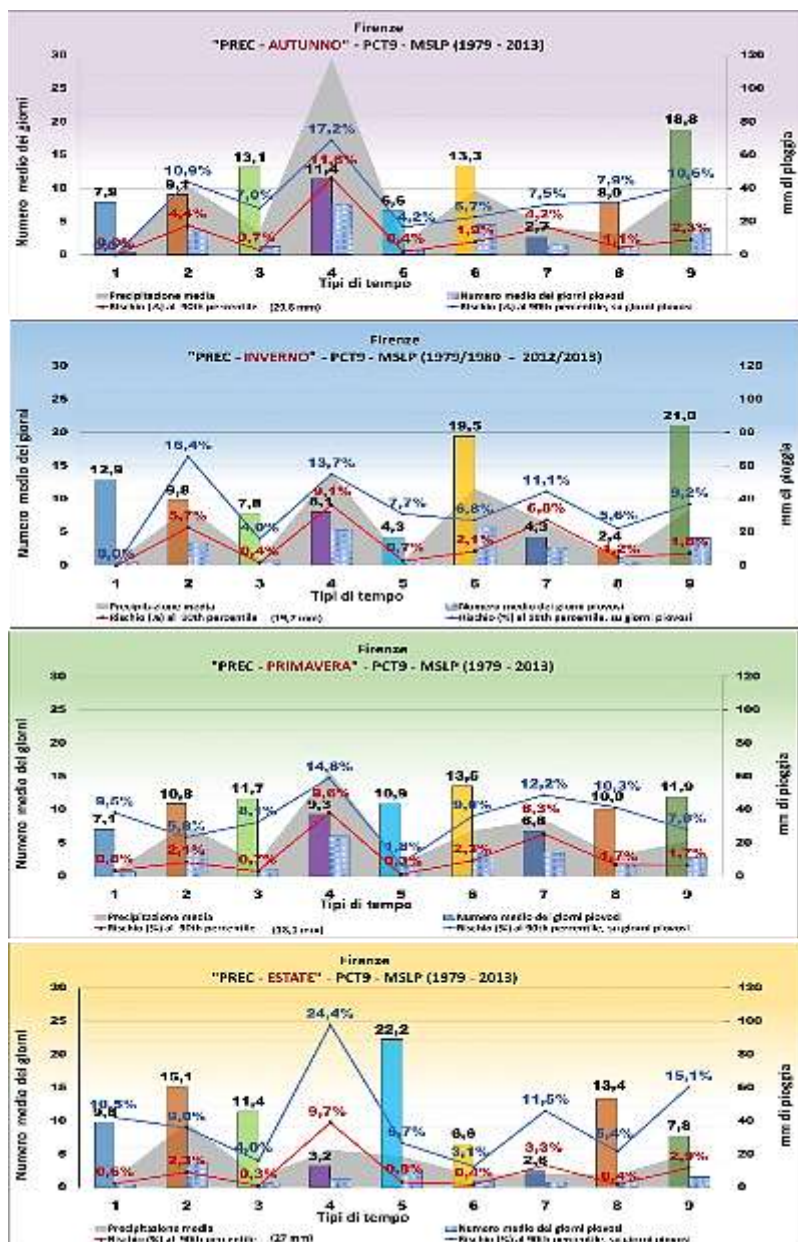


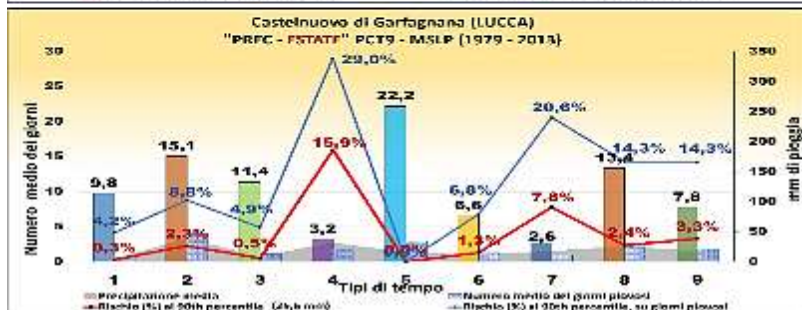
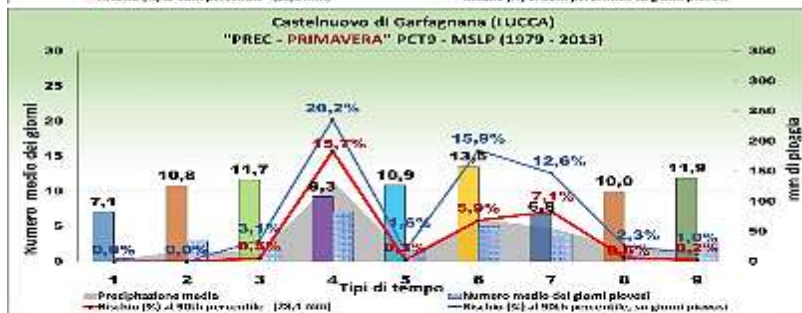
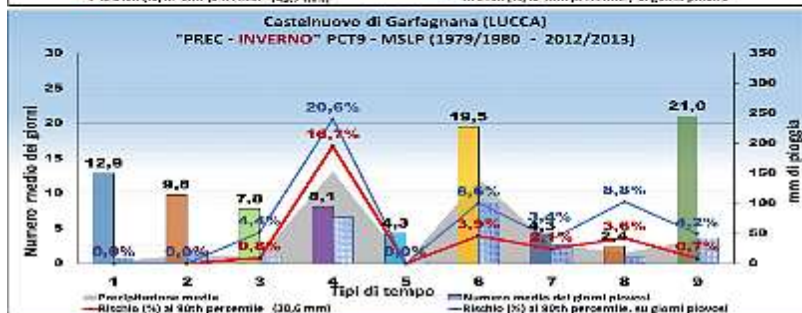
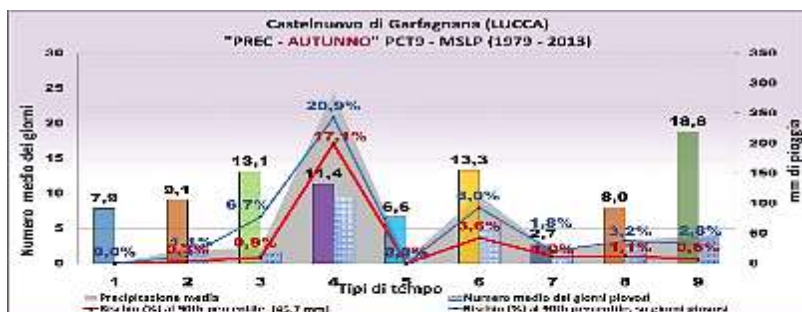
Fig. 3.42b - Frequenza relativa dei tipi di tempo (PCTs) e anomalie annuali delle precipitazioni, in autunno e inverno. Dal 1955 al 2013

3.2.2 Caratterizzazione delle precipitazioni intense

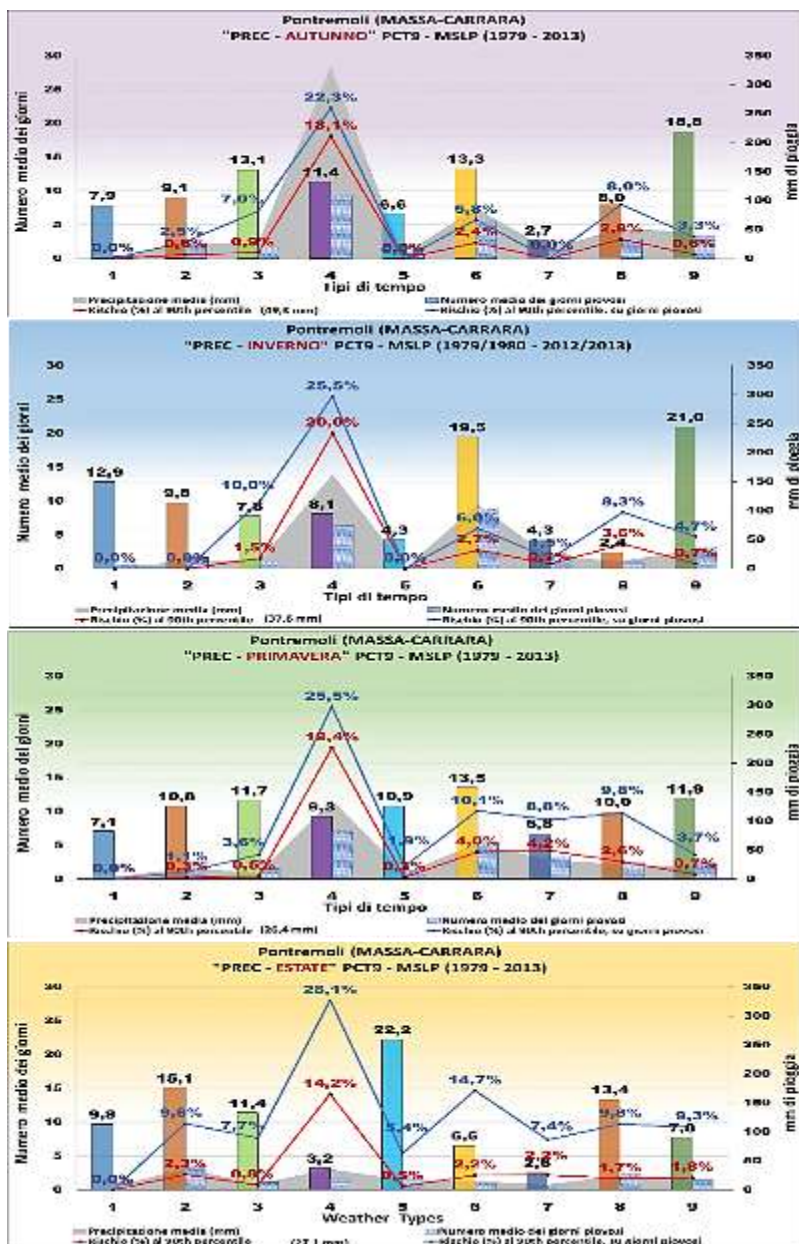
La classificazione dei tipi di tempo precedentemente descritta (PCT9), individuata a seguito di un'opportuna ed esaustiva indagine statistica, è stata applicata allo studio delle relazioni esistenti tra le correnti atmosferiche su grande scala e le precipitazioni in Toscana. Questo ha reso possibile l'identificazione del rischio di eventi estremi di precipitazione collegato a ciascun tipo di tempo. Il rischio di precipitazioni intense è stato definito come l'incidenza percentuale di una precipitazione superiore al novantesimo (90th) percentile (calcolato su tutta la distribuzione delle precipitazioni di un determinato tipo di tempo) rispetto alla totalità dei giorni che caratterizza un tipo di tempo in una determinata stagione. A partire dalla definizione di rischio è stato possibile identificare per ogni tipo di tempo la predisposizione a determinare eventi alluvionali in Toscana. I grafici di seguito riportati, mostrano i risultati delle analisi condotte su quattro località scelte come luoghi di riferimento di alcune delle grandi alluvioni accadute in Toscana. In particolare, per ciascun tipo di tempo, è illustrato l'andamento stagionale delle frequenze (in termini di numero medio di giorni), le precipitazioni medie (espresso in mm), la media dei giorni piovosi (> 1 mm), il rischio percentuale di eventi estremi di pioggia oltre il 90th percentile e il rischio percentuale di eventi estremi di pioggia oltre al 90th percentile calcolato solo sulla totalità dei giorni piovosi. I dati sono stati elaborati a partire dalle stazioni meteorologiche CFR di Pontremoli, Castelnuovo di Garfagnana, Firenze Peretola e Grosseto, tra il 1979 e il 2013 (Fig. 3.43 a,b,c,d).



a)



b)



c)

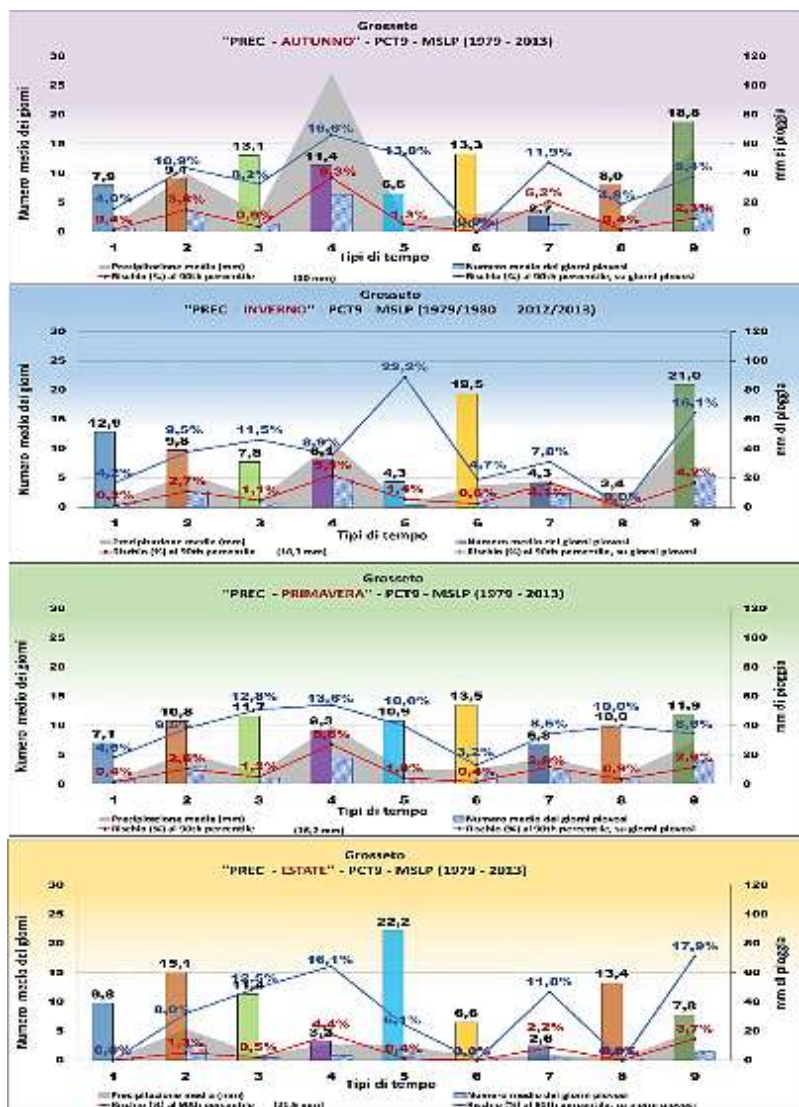


Fig. 3.43 - Climatologia stagionale dei tipi di tempo: frequenza media giornaliera delle occorrenze, frequenza media dei giorni piovosi, precipitazioni medie (mm), rischio medio (%) di precipitazioni intense calcolato sul totale delle occorrenze (linea rossa) e rischio medio (%) calcolato sul totale dei giorni piovosi (linea blu). Dati da stazione CFR di Firenze Peretola (a), Castelnuovo di Garfagnana (b), Pontremoli (c) e Grosseto (d) – 1979-2013.

Esistono differenze sistematiche nelle caratteristiche dei tipi di tempo tra le varie stagioni e nelle diverse località indagate. In linea generale osservando i grafici (Fig. 3.43 a,b,c,d), possiamo affermare che il tipo di tempo 4, associato a correnti umide da sud sud-ovest di origine atlantica, comporta maggiori precipitazioni durante tutto l'anno (fanno eccezione a questa regola le località di Firenze e Grosseto, dove nella stagione estiva le piogge più consistenti sono associate al tipo di tempo 2, ciclonico da est); ma è soprattutto nel periodo autunnale, quando le correnti miti ed umide meridionali sono più intense e i sistemi perturbati atlantici riescono con maggior facilità a fare il loro ingresso sul Mediterraneo, che le precipitazioni del tipo di tempo 4 sono più marcate, oscillando tra 100 mm di pioggia media stagionale a Grosseto e i 325 mm di Pontremoli. Anche il flusso umido zonale descritto dal tipo di tempo 6, pur non raggiungendo i livelli del tipo 4, risulta molto frequente e determina sulle zone settentrionali della Toscana, un quantitativo di pioggia elevato in autunno e in inverno.

Interessanti considerazioni emergono in merito all'analisi stagionale del rischio di precipitazioni intense. Il tipo di tempo 4 si distingue dalle altre circolazioni atmosferiche non solo per le abbondanti precipitazioni, ma anche per l'elevato rischio di eventi intensi, dato che ciò emerge in ognuna delle quattro località analizzate, presentando tuttavia valori più bassi a Grosseto e più alti a Pontremoli. La stagione in cui il tipo di tempo 4 presenta valori più alti di rischio è l'autunno, ad eccezione di Pontremoli dove il rischio più alto risulta in inverno, con circa il 20% sulla totalità dei giorni in cui si presenta una circolazione accumulabile al tipo di tempo 4, e addirittura di circa il 25% sulla totalità delle volte in cui effettivamente piove, ovvero la precipitazione risulta intensa 1 volta su 4. Sempre per evidenziare la severità delle precipitazioni che scaturiscono dal tipo di tempo 4, il valore più alto di rischio tra tutte le località indagate è stato riscontrato per Castelnuovo di Garfagnana durante il periodo estivo (pari al 29%); in estate le precipitazioni risultano ben più rare, ma i temporali che si possono generare in

concomitanza di questa circolazione atmosferica possono risultare molto intensi.

Appare, inoltre, interessante osservare che, nonostante alcuni tipi tempo siano caratterizzati da precipitazioni abbondanti, il rischio di eventi estremi rimane basso. Ad esempio, sempre a proposito di Castelnuovo di Garfagnana, il rischio di precipitazioni in inverno, a parità di cumulo medio stagionale di pioggia che si ottiene per il tipo di circolazione 4 e 6, risulta più elevato per il primo (16,7%) anziché per il secondo (3,9%); infatti, con una circolazione di tipo 6, essendo maggiore il numero di giorni piovosi, il cumulo di pioggia giornaliera risulta decisamente più basso. Altro esempio ancora più interessante è visibile nella stagione invernale a Grosseto, dove il tipo di tempo 9, decisamente più piovoso sia in termini quantitativi che per numero di giorni piovosi, presenta un rischio di precipitazioni intense più basso (4,2%) rispetto a quello che si ottiene per il tipo di tempo 4 (5,5%).

Questo dimostra che la classificazione individuata (PCT9) per le precipitazioni in Toscana è adeguata a caratterizzare anche precipitazioni intense ed è possibile pertanto correlare i 9 tipi di tempo ottenuti con importanti eventi alluvionali verificatisi in Toscana.

3.3 Alcune delle grandi alluvioni accadute in Toscana e i tipi di tempo che le hanno caratterizzate

Nel precedente paragrafo sono state descritte le relazioni esistenti tra ciascun tipo di tempo e il rischio di precipitazioni intense a livello stagionale. Lo studio delle relazioni esistenti tra gli eventi alluvionali e i tipi di tempo che le hanno in parte caratterizzate è stata condotta a livello mensile. Oltre a mostrare i dati relativi all'analisi del rischio climatologico, sono state messe in evidenza anche le anomalie climatologiche della frequenza dei vari tipi di tempo che si sono verificate nei 30 giorni che hanno preceduto l'evento alluvionale stesso. Inoltre l'indagine è stata estesa anche al calcolo della probabilità di accadimento di almeno un evento intenso nei mesi interessati dall'episodio alluvionale, calcolata sulla base del rischio di precipitazioni intense associato a ciascun tipo di tempo. Infine, è opportuno precisare che per ogni evento alluvionale analizzato è stata presa a riferimento una stazione pluviometrica (afferente alla rete di rilevamento del Centro Funzionale della Regione Toscana) considerata rappresentativa per le piogge che hanno caratterizzato l'evento alluvionale stesso.

3.3.1 Alluvione dell'Arno 3-4 Novembre 1966 (Stazione pluviometrica CFR di riferimento: Firenze Peretola)

Come abbiamo visto nelle pagine precedenti l'evento del Novembre del '66 si distingue in modo particolare per l'eccezionalità delle precipitazioni che lo ha determinato e per l'estensione del territorio colpito dalle piogge di forte intensità che non trovano alcun riscontro in tutto il periodo di misurazioni disponibile. Al fine di mostrare le proprietà dei tipi di tempo che hanno caratterizzato tale evento, di seguito sono riportati i grafici di Ottobre riferito alla climatologia 1981-2010 ottenuti da dati del Centro Funzionale Regionale relativamente alla stazione meteorologica di Firenze Peretola (Fig. 3.44).

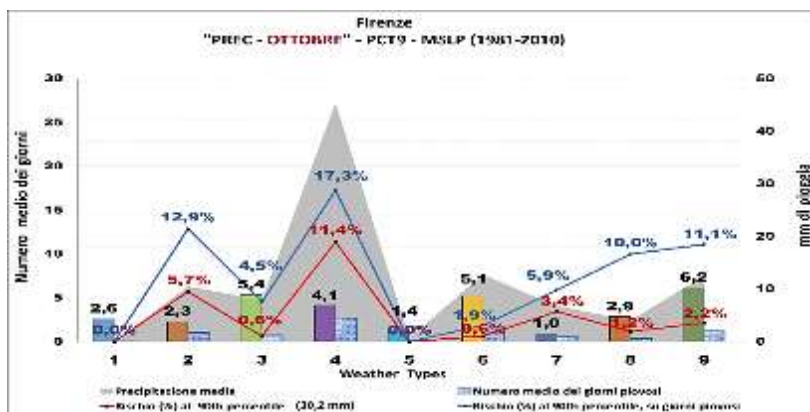


Fig. 3.44 – Climatologia dei tipi di tempo di Ottobre: frequenza media giornaliera delle occorrenze, frequenza media dei giorni piovosi, precipitazioni medie (mm), rischio medio (%) di eventi estremi calcolato sul totale delle occorrenze (linea rossa) e rischio medio (%) calcolato sul totale dei giorni piovosi (linea blu). Dati da stazione CFR di Firenze Peretola – 1981-2010.

In linea con quanto visto a livello stagionale, il tipo di tempo 4, oltre ad essere caratterizzato da abbondanti piogge, nel mese di Ottobre risulta essere anche la circolazione più a rischio di eventi estremi, pari a 11.4% (calcolato sul totale delle occorrenze). Osservando la tabella 3.1, che mostra la sequenza giornaliera dei tipi di tempo relativi ai giorni che hanno preceduto l'evento alluvionale del '66, e il grafico di figura 3.45, che illustra le anomalie relative alle frequenze giornaliere dei tipi di circolazione, si evidenzia che il tipo di tempo 4 e il tipo di tempo 7, anch'esso tra i tipi di tempo con il maggior rischio di eventi estremi (3,4%), hanno avuto una frequenza nell'Ottobre del 1966 molto superiore alla climatologia (rispettivamente di 8 e 11 giorni). Questo dato, come vedremo, determina un considerevole aumento del rischio di eventi estremi nell'ottobre del '66 rispetto alla climatologia. A questo va aggiunto che nei giorni di Novembre antecedenti l'alluvione si sono registrati 2 giorni di tipo 7 e un giorno di tipo 4 (a poche ore dall'esondazione dell'Arno). Sembra quindi evidente che l'alluvione del 1966 sia stata preceduta da un periodo caratterizzato da una circolazione atmosferica favorevole ad eventi

Alluvione Arno 3 - 4 Novembre 1966	
1 Ottobre - 4 Novembre 1966	Tipi di tempo
01-ott-66	7
02-ott-66	7
03-ott-66	4
04-ott-66	4
05-ott-66	4
06-ott-66	4
07-ott-66	4
08-ott-66	4
09-ott-66	4
10-ott-66	4
11-ott-66	8
12-ott-66	4
13-ott-66	7
14-ott-66	4
15-ott-66	4
16-ott-66	4
17-ott-66	7
18-ott-66	7
19-ott-66	7
20-ott-66	7
21-ott-66	6
22-ott-66	5
23-ott-66	6
24-ott-66	6
25-ott-66	7
26-ott-66	7
27-ott-66	7
28-ott-66	7
29-ott-66	7
30-ott-66	2
31-ott-66	9
01-nov-66	7
02-nov-66	8
03-nov-66	4
04-nov-66	7

Tab. 3.1 – Sequenza giornaliera dei tipi di tempo (classificazione PCT9) che hanno preceduto l'evento alluvionale del '66 (Elaborazione dati software COST733, da dati di Reanalysis 2)

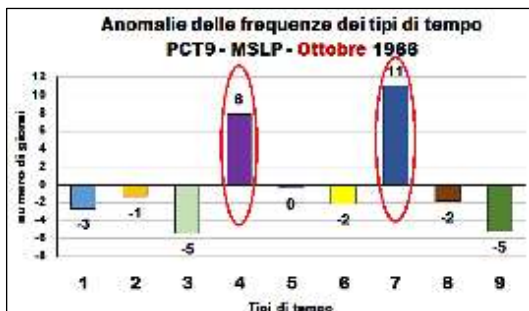


Fig. 3.45 – Anomalie delle frequenze dei tipi di tempo (classificazione PCT9) nell'Ottobre del 1966

di precipitazione estrema. Per evidenziare questo è stato descritto il rischio di eventi di pioggia intensa, anche in termini di probabilità di accadimento di almeno un evento estremo. Relativamente all'evento alluvionale del 3 – 4 Novembre del 1966, le tabelle che seguono (Tab. 3.2: a, b, c, d) mostrano, per ciascun tipo di circolazione atmosferica, le frequenze (in termini di numero di giorni) dell'Ottobre del '66 e le frequenze medie dell'Ottobre climatologico (1981-2010), con il rischio ad essi associato. È stato quindi possibile calcolare la probabilità che almeno una volta accada un evento estremo nell'Ottobre del 1966 e confrontarla con quella climatologica. Per dare un'idea più chiara dell'eccezionalità del fenomeno che ha interessato gran parte del territorio toscano, oltre ai dati relativi alla stazione di Firenze Peretola, vengono mostrati anche quelli di Castelnuovo di Garfagnana, Pontremoli e Grosseto.

Tipi di tempo PCT9	Rischio eventi estremi	Firenze Peretola Ottobre 1966		Firenze Peretola Ottobre climatologico (1981 - 2010)	
		Frequenza dei tipi di tempo	Probabilità che accada almeno un evento estremo	Frequenza media dei tipi di tempo	Probabilità che accada almeno un evento estremo
1	0,0%	0	86,2%	3	57,9%
2	5,7%	1		2	
3	0,6%	0		5	
4	11,4%	12		4	
5	0,0%	1		1	
6	0,6%	3		5	
7	3,4%	12		1	
8	1,2%	1		3	
9	2,2%	1		6	

Tab. 3.2a – Frequenza dei tipi di tempo associati al rischio di eventi estremi (%), e probabilità che accada almeno un evento estremo nel mese di Ottobre 1966 e nel relativo mese climatologico (1981-2010). Dati da stazione CFR di Firenze Peretola.

Tipi di tempo PCT9	Rischio eventi estremi	Castelnuovo di Garfagnana Ottobre 1966		Castelnuovo di Garfagnana Ottobre climatologico (1981 - 2010)	
		Frequenza dei tipi di tempo	Probabilità che accada almeno un evento estremo	Frequenza media dei tipi di tempo	Probabilità che accada almeno un evento estremo
1	0,0%	0	94,3%	3	67,1%
2	0,0%	1		2	
3	1,2%	0		5	
4	17,9%	12		4	
5	0,0%	1		1	
6	1,9%	3		5	
7	3,4%	12		1	
8	1,2%	1		3	
9	1,6%	1		6	

Tab. 3.2b – Frequenza dei tipi di tempo associati al rischio di eventi estremi (%), e probabilità che accada almeno un evento estremo nel mese di Ottobre 1966 e nel relativo mese climatologico (1981-2010). Dati da stazione CFR di Castelnuovo di Garfagnana.

Tipi di tempo PCT9	Rischio eventi estremi	Pontremoli Ottobre 1966		Pontremoli Ottobre climatologico (1981 - 2010)	
		Frequenza dei tipi di tempo	Probabilità che accada almeno un evento estremo	Frequenza media dei tipi di tempo	Probabilità che accada almeno un evento estremo
1	0,0%	0	89,3%	3	63,4%
2	0,0%	1		2	
3	0,6%	0		5	
4	16,3%	12		4	
5	0,0%	1		1	
6	1,9%	3		5	
7	0,0%	12		1	
8	2,3%	1		3	
9	1,6%	1		6	

Tab. 3.2c – Frequenza dei tipi di tempo associati al rischio di eventi estremi (%), e probabilità che accada almeno un evento estremo nel mese di Ottobre 1966 e nel relativo mese climatologico (1981-2010). Dati da stazione CFR di Pontremoli.

Tipi di tempo PCT9	Rischio eventi estremi	Grosseto Ottobre 1966		Grosseto Ottobre climatologico (1981 - 2010)	
		Frequenza dei tipi di tempo	Probabilità che accada almeno un evento estremo	Frequenza media dei tipi di tempo	Probabilità che accada almeno un evento estremo
1	0,0%	0	85,4%	3	52,0%
2	4,3%	1		2	
3	1,2%	0		5	
4	11,4%	12		4	
5	0,0%	1		1	
6	0,0%	3		5	
7	3,4%	12		1	
8	0,0%	1		3	
9	1,1%	1		6	

Tab. 3.2d – Frequenza dei tipi di tempo associati al rischio di eventi estremi (%), e probabilità che accada almeno un evento estremo nel mese di Ottobre 1966 e nel relativo mese climatologico (1981-2010). Dati da stazione CFR di Grosseto.

In sintesi, i dati presentati nel grafico di figura 3.46, mettono a confronto nelle varie località il rischio di eventi estremi dell'Ottobre climatologico con quelle dell'ottobre 1966. In modo particolare spicca la probabilità di oltre il 94% di Castelnuovo di Garfagnana a fronte di una climatologia di circa il 67%. Tutte le località mostrano anomalie molto alte, ma è soprattutto quella di Grosseto che emerge con un valore pari al 33% circa. Tali risultati confermano l'eccezionalità dell'evento alluvionale e soprattutto l'interessamento di tutta la regione.

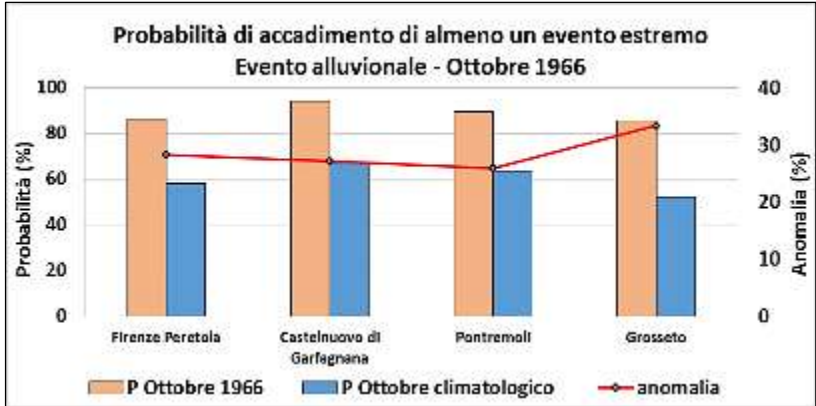


Fig. 3.46 – Probabilità che accada almeno un evento estremo nell'Ottobre del 1966 e nell'Ottobre climatologico (1981-2010), e le relative anomalie, nelle diverse località. Dati da stazione CFR di Firenze, Castelnuovo di Garfagnana, Pontremoli e Grosseto

In conclusione possiamo affermare che tale indagine ha consentito di evidenziare, in termini di frequenza giornaliera e di rischio di eventi estremi, il comportamento anomalo delle circolazioni atmosferiche (in modo particolare del tipo di tempo 4 e 7) nei giorni precedenti l'alluvione.

3.3.2 Alluvione del Serchio 24-25 Dicembre 2009 (Stazione pluviometrica CFR di riferimento: Castelnuovo di Garfagnana)

La figura 3.47, relativa alla stazione di Castelnuovo di Garfagnana, mette in evidenza la climatologia pluviometrica dei tipi di tempo per il mese di Dicembre unitamente al rischio di eventi estremi. Il grafico è ottenuto da elaborazione di dati del Centro Funzionale Regionale relativi alla stazione meteorologica di Castelnuovo di Garfagnana.

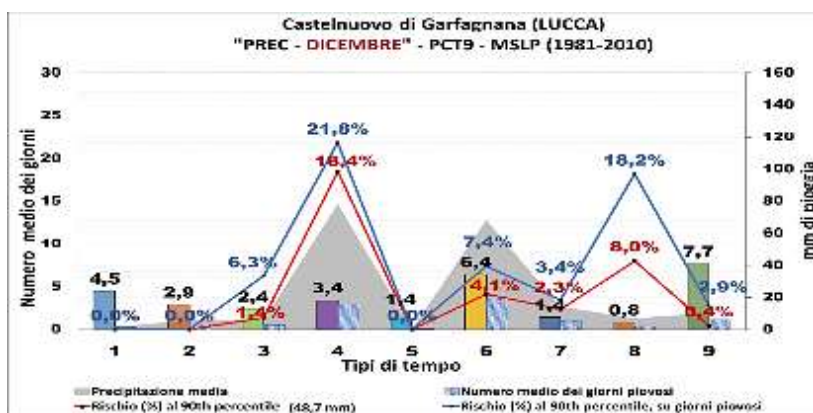


Fig. 3.47 – Climatologia dei tipi di tempo di Dicembre: frequenza media giornaliera delle occorrenze, frequenza media dei giorni piovosi, precipitazioni medie (mm), rischio medio (%) di eventi estremi calcolato sul totale delle occorrenze (linea rossa) e rischio medio (%) calcolato sul totale dei giorni piovosi (linea blu). Dati da stazione CFR di Castelnuovo Garfagnana (1981-2010).

In linea con quanto visto a livello stagionale, il tipo di tempo 4, oltre ad essere caratterizzato da abbondanti piogge, risulta essere anche la circolazione più a rischio di eventi estremi con un valore pari al 18,4% (calcolato sul totale delle occorrenze). Si segnala un quantitativo di pioggia media elevato anche nel tipo di tempo 6 (di poco inferiore al tipo 4), associato ad un rischio sempre elevato ma ben inferiore al tipo di tempo 4 (4,1%). Il tipo di tempo 6 determina infatti molti giorni piovosi ma un numero decisamente inferiore di eventi precipitativi estremi. La tabella 3.3, mostra la sequenza giornaliera dei tipi di tempo relativi al mese interessato dall'evento alluvionale in questione, mentre nella figura 3.48 viene riportata

**Castelnuovo di
Garfagnana
24-25
Dicembre 2009**

Dicembre 2009	Tipi di tempo
01-dic-09	2
02-dic-09	1
03-dic-09	6
04-dic-09	2
05-dic-09	1
06-dic-09	6
07-dic-09	6
08-dic-09	2
09-dic-09	2
10-dic-09	1
11-dic-09	9
12-dic-09	9
13-dic-09	9
14-dic-09	9
15-dic-09	9
16-dic-09	1
17-dic-09	2
18-dic-09	7
19-dic-09	9
20-dic-09	1
21-dic-09	8
22-dic-09	8
23-dic-09	6
24-dic-09	4
25-dic-09	6
26-dic-09	9
27-dic-09	2
28-dic-09	6
29-dic-09	7
30-dic-09	6
31-dic-09	6

Tab. 3.3 – Sequenza giornaliera dei tipi di tempo (classificazione PCT9) che hanno preceduto l'evento alluvionale del Dicembre 2009 (Elaborazione dati software COST733, da dati di Reanalysis 2)

l'anomalia in termini di frequenza dei vari tipi di tempo del dicembre 2009 rispetto alla climatologia.

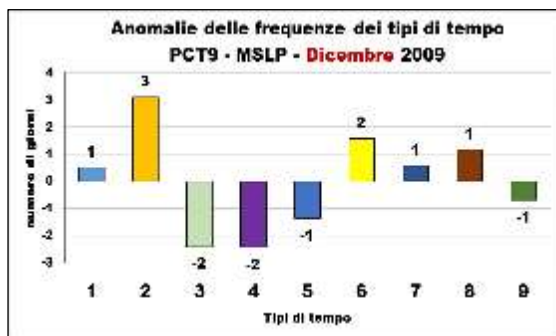


Fig. 3.48 – Anomalie delle frequenze di ciascun tipo di tempo (classificazione PCT9) nel Dicembre 2009. Dati da stazione CFR di Castelnuovo di Garfagnana

Seguendo lo schema già adottato per l'evento dell'Arno 1966, nella tabella che segue (Tab. 3.4) troviamo elencate le frequenze (in termini di numero di giorni) relative al Dicembre del 2009 e le frequenze medie del Dicembre climatologico (1981-2010) con il rischio associato a ciascun tipo di tempo. E' stato quindi possibile calcolare la probabilità di accadimento di almeno un evento estremo, che nel Dicembre del 2009 è risultato essere pari al 54% circa, inferiore a quello calcolato per la climatologia di riferimento, pari al 64% circa. Occorre però tenere in considerazione che stiamo parlando di un evento alluvionale molto diverso da quello che ha interessato l'Arno nel 1966. In quest'ultimo caso l'estensione del bacino rende sicuramente necessarie precipitazioni persistenti e molto diffuse su

tutto il bacino idrografico affinché si possa verificare un evento alluvionale. In questo senso il rischio calcolato su un mese è sicuramente molto indicativo. Nel caso del Serchio invece sono sufficienti pochi giorni di piogge intense per giustificare eventi molto importanti o alluvionali, rendendo pertanto meno indicativa la valutazione su scala mensile. In effetti dalla tabella 3.3 emerge che nei giorni 21, 22, 23, 24 e 25 dicembre si sono verificati due giorni di tipo 6, due di tipo 8, e uno di tipo 4, appunto i tipi di tempo che presentano il maggior rischio di eventi estremi.

Tipi di tempo PCT9	Rischio eventi estremi	Castelnuovo di Garfagnana Dicembre 2009		Castelnuovo di Garfagnana Dicembre climatologico (1981 - 2010)	
		Frequenza dei tipi di tempo	Probabilità che accada almeno un evento estremo	Frequenza media dei tipi di tempo	Probabilità che accada almeno un evento estremo
1	0,0%	5	54,1%	5	64,2%
2	0,0%	6		3	
3	1,4%	0		2	
4	18,4%	1		3	
5	0,0%	0		1	
6	4,1%	8		6	
7	2,3%	2		1	
8	8,0%	2		1	
9	0,4%	7		8	

Tab. 3.4 – Frequenza dei tipi di tempo associati al rischio di eventi estremi (%), e probabilità che accada almeno un evento estremo nel mese di Dicembre 2011 e nel relativo mese climatologico (1981-2010). Dati da stazione CFR di Castelnuovo di Garfagnana.

3.3.2 Alluvione del Magra 25-26 Ottobre 2011 (Stazione pluviometrica CFR di riferimento: Pontremoli)

La figura 3.49, relativa alla stazione di Pontremoli, mette in evidenza la climatologia pluviometrica dei tipi di tempo per il mese di Ottobre unitamente al rischio di eventi estremi. Il grafico è ottenuto da elaborazione di dati del Centro Funzionale Regionale relativi alla stazione meteorologica di Pontremoli.

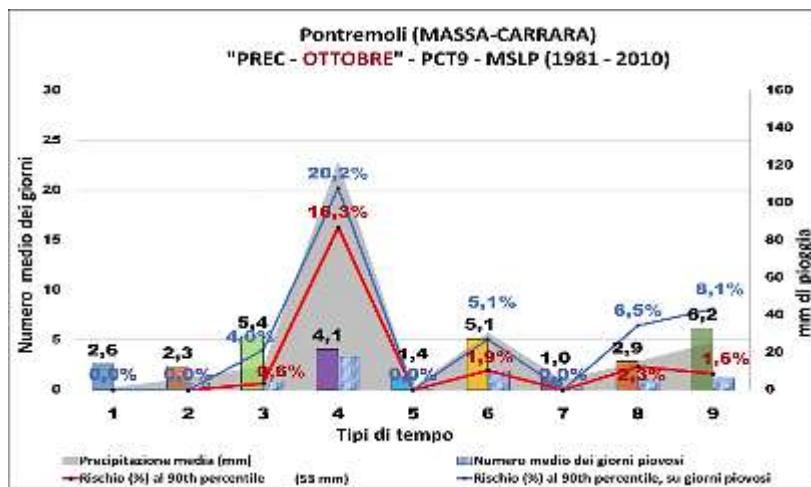


Fig. 3.49 – Climatologia dei tipi di tempo di Ottobre: frequenza media giornaliera delle occorrenze, frequenza media dei giorni piovosi, precipitazioni medie (mm), rischio medio (%) di eventi estremi calcolato sul totale delle occorrenze (linea rossa) e rischio medio (%) calcolato sul totale dei giorni piovosi (linea blu). Dati da stazione CFR di Pontremoli – 1981-2010.

In linea con quanto visto a livello stagionale, il tipo di tempo 4, oltre ad essere caratterizzato da abbondanti piogge (mediamente oltre i 120 mm) è associato al valore più alto di rischio di eventi estremi pari al 16,3% (calcolato sul totale delle occorrenze). La tabella 3.5 mostra la sequenza giornaliera dei tipi di tempo relativi al mese interessato dall'evento alluvionale in questione, mentre nella figura 3.50 viene riportata l'anomalia in termini di frequenza dei vari tipi di tempo

Pontremoli 25 - 26 Ottobre 2011	
Ottobre 2011	Tipi di tempo
01-ott-11	9
02-ott-11	1
03-ott-11	1
04-ott-11	2
05-ott-11	1
06-ott-11	6
07-ott-11	2
08-ott-11	2
09-ott-11	1
10-ott-11	1
11-ott-11	1
12-ott-11	2
13-ott-11	9
14-ott-11	9
15-ott-11	9
16-ott-11	1
17-ott-11	1
18-ott-11	8
19-ott-11	8
20-ott-11	9
21-ott-11	9
22-ott-11	3
23-ott-11	3
24-ott-11	3
25-ott-11	4
26-ott-11	4
27-ott-11	3
28-ott-11	3
29-ott-11	3
30-ott-11	3
31-ott-11	3

Tab. 3.5 – Sequenza giornaliera dei tipi di tempo che hanno preceduto l'evento alluvionale dell'Ottobre 2011 (Elaborazione dati software COST733, da dati di Reanalysis 2)

dell'Ottobre 2011 rispetto alla climatologia. Anche in questo caso è stato calcolato il rischio mensile di avere almeno un evento estremo utilizzando i dati riportati in tabella 3.6.

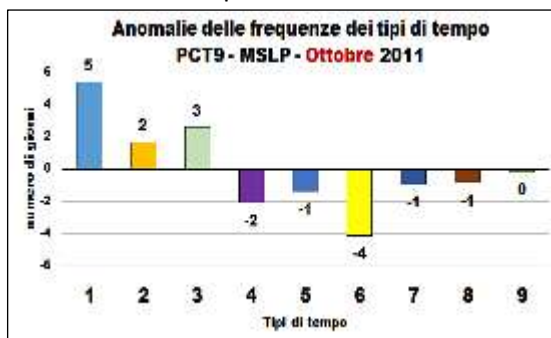


Fig. 3.50 – Anomalie delle frequenze per ciascun tipo di tempo (classificazione PCT9) in Ottobre 2011. Dati da stazione CFR di Castelnuovo di Garfagnana

Il rischio climatologico è risultato, come per il caso del Serchio, superiore al rischio calcolato su ottobre 2011 (63% contro il 43%). Anche in questo caso però, come per l'alluvione del Serchio, le dimensioni del bacino (Magra) non sono sensibili a quanto avvenuto nei 30 giorni precedenti, bensì al tipo di circolazione in prossimità dell'evento. Infatti si può notare che sono stati sufficienti due giorni con tipo di tempo 4 (quello più a rischio), il 25 e il 26 ottobre, per determinare l'evento alluvionale del Magra. In particolare il giorno dell'evento alluvionale a Pontremoli si sono registrati 366 mm di pioggia, il massimo mai raggiunto in Toscana dal 1955.

Tipi di tempo PCT9	Rischio eventi estremi	Pontremoli Ottobre 2011		Pontremoli Ottobre climatologico (1981 - 2010)	
		Frequenza dei tipi di tempo	Probabilità che accada almeno un evento estremo	Frequenza media dei tipi di tempo	Probabilità che accada almeno un evento estremo
1	0,0%	8	43,2%	3	63,4%
2	0,0%	4		2	
3	0,6%	8		5	
4	16,3%	2		4	
5	0,0%	0		1	
6	1,9%	1		5	
7	0,0%	0		1	
8	2,3%	2		3	
9	1,6%	6		6	

Tab. 3.6 – Frequenza dei tipi di tempo associati al rischio di eventi estremi (%), e probabilità che accada almeno un evento estremo nel mese di Ottobre 2011 e nel relativo mese climatologico (1981-2010). Dati da stazione CFR di Pontremoli.

3.3.4 Alluvione dell'Albegna 11-12 Novembre 2012 (Stazione pluviometrica CFR di riferimento: Grosseto)

La figura 3.51, relativa alla stazione di Grosseto, mette in evidenza la climatologia pluviometrica dei tipi di tempo per il mese di Ottobre unitamente al rischio di eventi estremi. Il grafico è ottenuto da elaborazione di dati del Centro Funzionale Regionale relativi alla stazione meteorologica di Grosseto.

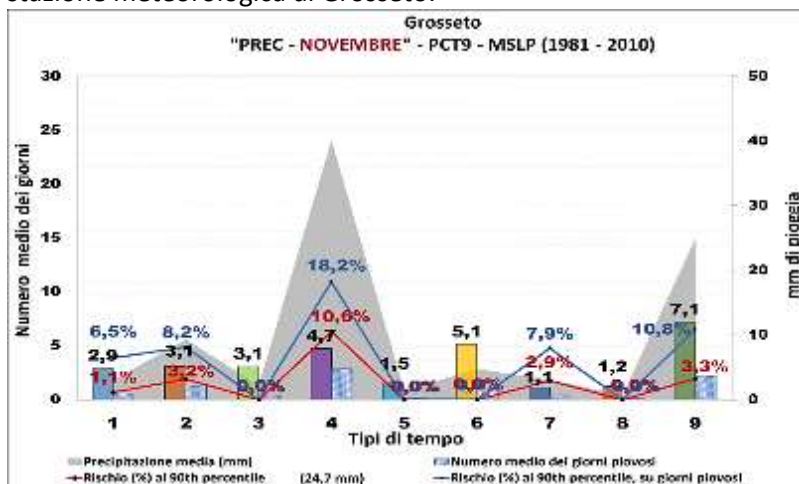


Fig. 3.51 – Climatologia dei tipi di tempo di Novembre: frequenza media giornaliera delle occorrenze, frequenza media dei giorni piovosi, precipitazioni medie (mm), rischio medio (%) di eventi estremi calcolato sul totale delle occorrenze (linea rossa) e rischio medio (%) calcolato sul totale dei giorni piovosi (linea blu). Dati da stazione CFR di Grosseto – 1981-2010.

Dall'analisi climatologica dei tipi di tempo emerge che il tipo di tempo 4, oltre ad essere caratterizzato da abbondanti piogge (mediamente circa 40 mm) è associato, ancora una volta, al valore più alto di rischio di eventi estremi pari al 10,6% (calcolato sul totale delle occorrenze). E' opportuno sottolineare che anche il tipo di tempo 9 a Grosseto, oltre ad essere piuttosto frequente (in media 7 giorni), è caratterizzato da un apporto di precipitazioni cospicuo per la località in questione (circa 25 mm), associato ad un rischio elevato (3,3%), anche se ben inferiore al tipo di tempo 4 (10,6%).

Grosseto 11 - 12 Novembre 2012	
Ottobre 1966	Tipi di tempo
01-nov-12	6
02-nov-12	6
03-nov-12	6
04-nov-12	4
05-nov-12	6
06-nov-12	2
07-nov-12	1
08-nov-12	8
09-nov-12	3
10-nov-12	4
11-nov-12	4
12-nov-12	9
13-nov-12	9
14-nov-12	9
15-nov-12	9
16-nov-12	1
17-nov-12	3
18-nov-12	9
19-nov-12	9
20-nov-12	9
21-nov-12	1
22-nov-12	9
23-nov-12	6
24-nov-12	6
25-nov-12	8
26-nov-12	8
27-nov-12	4
28-nov-12	4
29-nov-12	2
30-nov-12	9

Tab. 3.7 – Sequenza giornaliera dei tipi di tempo che hanno preceduto l'evento alluvionale di Novembre 2012 (Elaborazione dati software COST733, da dati di Reanalysis)

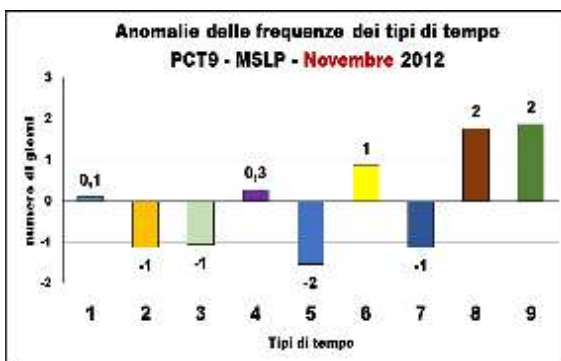


Fig. 3.52 – Anomalie delle frequenze per ciascun tipo di tempo (classificazione PCT9) in Novembre 2012. Dati da stazione CFR di Grosseto

Osservando la tabella 3.7 (che mostra la sequenza giornaliera dei tipi di tempo relativi al mese in questione), e il grafico di figura 3.52 (che mostra le anomalie di frequenza giornaliera dei tipi di tempo nel mese di Novembre 2012, rispetto alla climatologia di riferimento 1981-2010), si segnala che il mese interessato dall'alluvione è stato caratterizzato da un numero elevato di giorni del tipo di tempo 9 (9 volte su 30 giorni, 2 giorni in più rispetto alla norma) e che, nella giornata del 12 Novembre, ha determinato un evento di precipitazione molto rilevante per la stazione di Grosseto da cui è scaturita l'esondazione dell'Albegna. Il tipo di tempo 4 si è verificato nel mese di Novembre 2012 5 volte su 30, in linea con la climatologia 1981-2010 d è associato al rischio più elevato (10,6%); inoltre, il giorno precedente all'esondazione dell'Albegna, l'11 Novembre, sempre in corrispondenza del tipo di tempo 4 si è verificato un altro importante evento intenso,

anche se di portata minore al 12 Novembre (a Grosseto furono registrati 27 mm circa di pioggia giornaliera, superiore alla soglia del novantesimo percentile). Anche in questo caso, le caratteristiche dell'evento alluvionale e l'estensione del bacino coinvolto, rendono determinanti, al fine della valutazione dell'evento alluvionale, solo i giorni in prossimità dell'evento stesso. A tal proposito, si evidenzia che anche in questo caso i giorni 10, 11 e 12 novembre sono stati caratterizzati dai tipi di circolazione con il maggior rischio di eventi estremi (due giorni di tipo di tempo 4 e un giorno con tipo di tempo 9). È stato quindi possibile calcolare la probabilità di accadimento di almeno un evento estremo relativamente al mese di Novembre 2012 che è stato del 61,7% circa, conforme a quella rilevata dalla climatologia pari a 61,5% (Tab. 3.8).

Tipi di tempo PCT9	Rischio eventi estremi	Grosseto Novembre 2012		Grosseto Novembre climatologico (1981 - 2010)	
		Frequenza dei tipi di tempo	Probabilità che accada almeno un evento estremo	Frequenza media dei tipi di tempo	Probabilità che accada almeno un evento estremo
1	1,1%	3	61,7%	3	61,5%
2	3,2%	2		3	
3	0,0%	2		3	
4	10,6%	5		5	
5	0,0%	0		2	
6	0,0%	6		5	
7	2,9%	0		1	
8	0,0%	3		1	
9	3,3%	9		7	

Tab. 3.8 – Frequenza dei tipi di tempo associati al rischio di eventi estremi (%), e probabilità che accada almeno un evento estremo nel mese di Novembre 2012 e nel relativo mese climatologico (1981-2010). Dati da stazione CFR di Grosseto.

- Sintesi dei risultati

L'analisi a ritroso dell'evento alluvionale del '66 effettuata attraverso i tipi di tempo è risultata avere una probabilità di accadimento di circa il 30% (Fig. 3.53) superiore al periodo climatologico di riferimento, mentre per gli altri 3 episodi alluvionali non è emerso alcun rischio aggiuntivo. Questo evidenzia come l'analisi del rischio a livello mensile sia ben correlata all'alluvione del '66, mentre le alluvioni del Magra, del Serchio e dell'Albegna, pur essendo state di notevole entità, sono caratterizzate da legami spazio-temporali con le precipitazioni profondamente diverse da quella dell'Arno. Le dimensioni del bacino idrografico, le condizioni di saturazione del suolo in funzione delle precipitazioni pregresse e l'intensità delle precipitazioni sono tutti fattori che concorrono all'accadimento di un evento alluvionale, fattori che in buona parte possono essere analizzati anche attraverso l'analisi meteo-climatica per tipi di tempo, in particolare approfondendo il tema delle persistenze e delle transizioni.

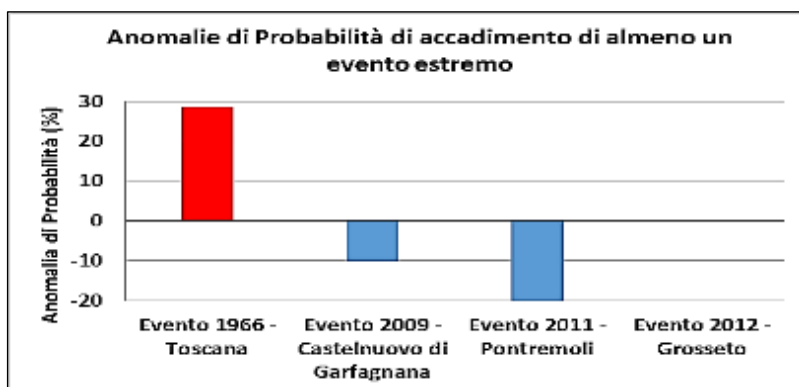


Fig. 3.53 – Anomalie di probabilità di accadimento di almeno un evento estremo di pioggia nelle località interessate dalle alluvioni indagate. Dati da Stazione CFR di Firenze, Castelnuovo di Garfagnana, Pontremoli e Grosseto

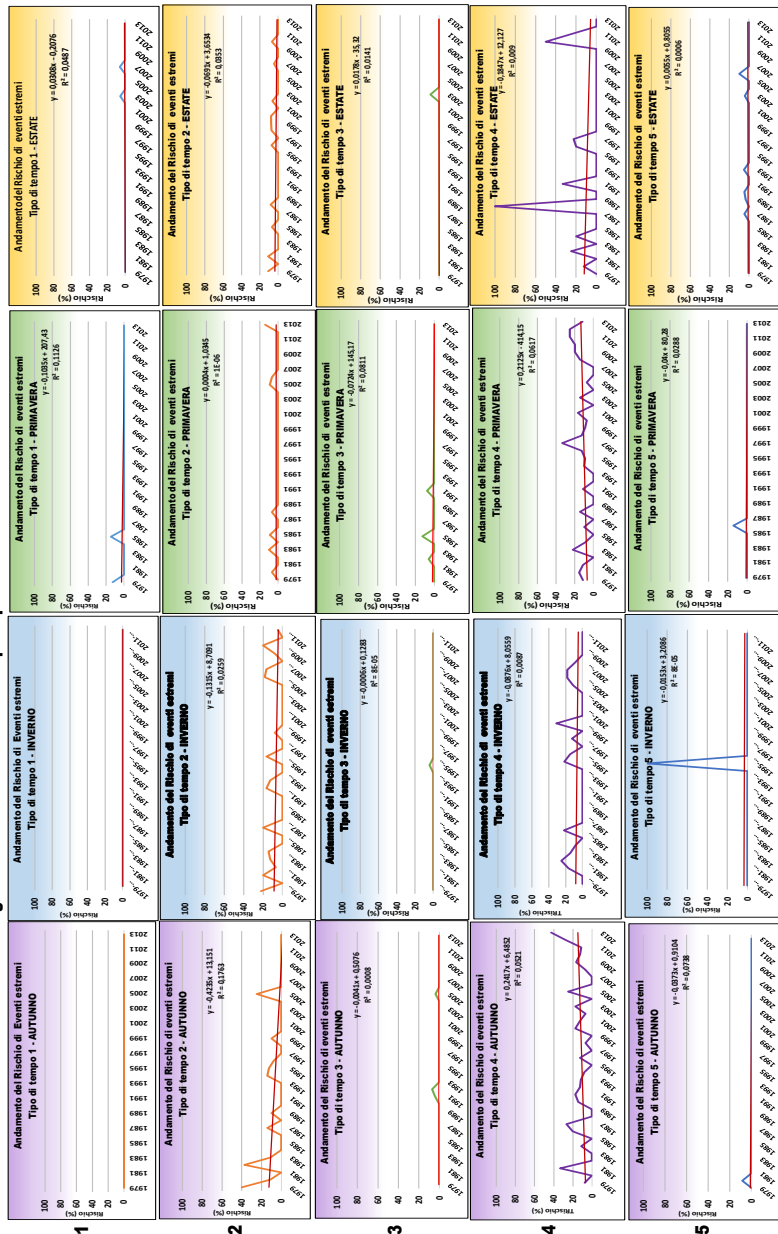
Questo studio ha evidenziato come il calcolo della probabilità di accadimento di un evento precipitativo intenso possa costituire, già allo stato attuale, un ottimo strumento operativo da applicare a previsioni di tipo stagionale, oltre ovviamente a poter fornire informazioni generali sulla circolazione atmosferica e stime quantitative di anomalia termica e pluviometrica, sia a scala europea che a scala regionale.

L'utilizzo delle classificazioni dei tipi di tempo offrono una metodologia di indagine innovativa (in parte descritta nel presente volume) rivolta anche allo studio dei fenomeni precipitativi intensi legati ad eventi alluvionali, consentendo di evidenziare non solo i tipi di circolazione più predisposti al rischio, ma anche eventuali trend legati alle dinamiche che governano i cambiamenti climatici in atto. La metodologia di indagine condotta ha mostrato una delle potenzialità applicative delle classificazioni dei tipi di tempo, in grado di descrivere e quantificare, anche in termini probabilistici, il rischio che un determinato tipo di circolazione atmosferica possa determinare eventi intensi/estremi di precipitazione in un dato periodo.

3.4 Tipi di tempo e analisi dei trend del rischio di precipitazioni intense

Nelle figure 3.54, 3.55, 3.56 e 3.57 si va ad investigare la presenza di eventuali trend del rischio di eventi estremi per ciascun tipo di tempo. Quest'analisi, condotta separatamente per ciascuna stagione, vuole quindi indicare eventuali variazioni delle caratteristiche dei vari tipi di tempo legate ai recenti cambiamenti climatici. L'analisi, che richiede ulteriori approfondimenti circa la significatività del trend stesso, mostra tuttavia come, anche in questo caso, sia il tipo di tempo 4 a mostrare i trend più evidenti nella variazione del rischio di eventi intensi/estremi. In particolare, si registra un aumento del rischio in tutte le stagioni per la stazione di Pontremoli, mentre per Firenze si ha un aumento nella stagione autunnale e una diminuzione in estate. Segnali meno evidenti si ottengono per gli altri tipi di tempo.

Trend stagionale del rischio di eventi di precipitazione estrema - FIRENZE - PCT9 - MSLP



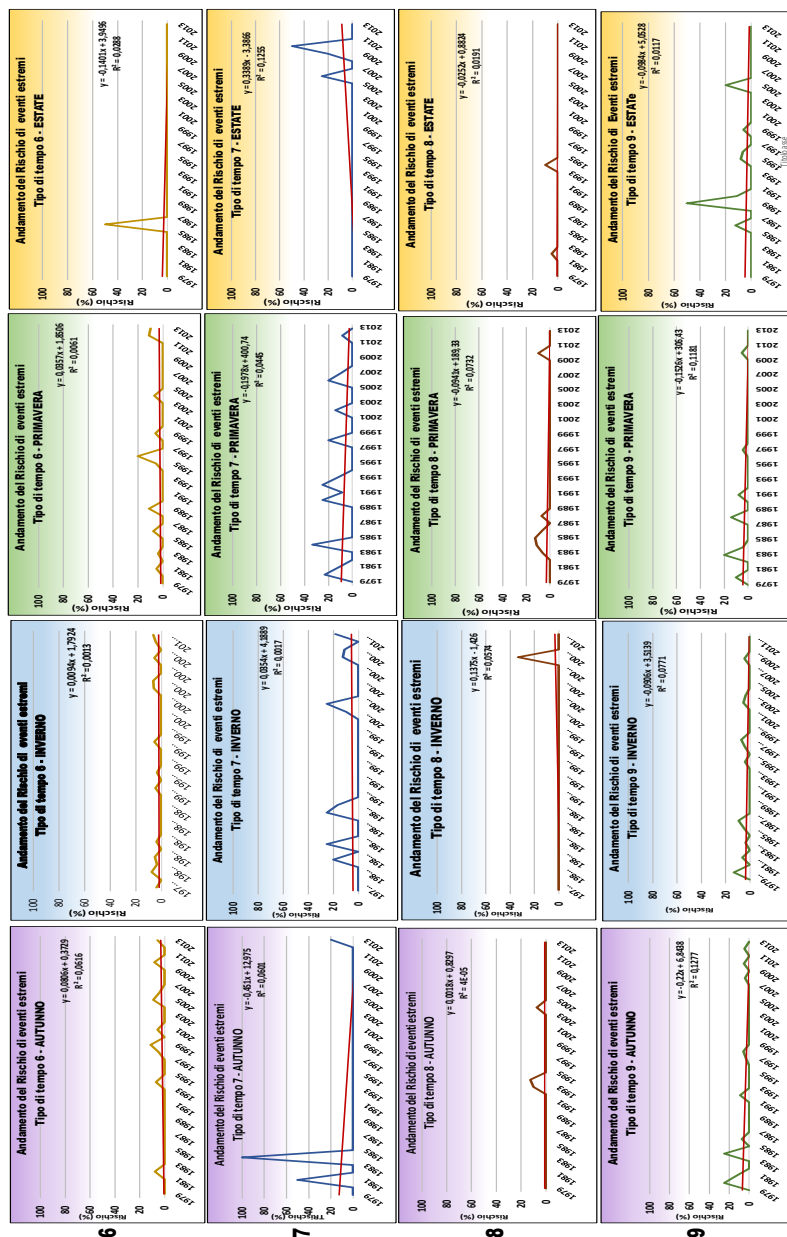
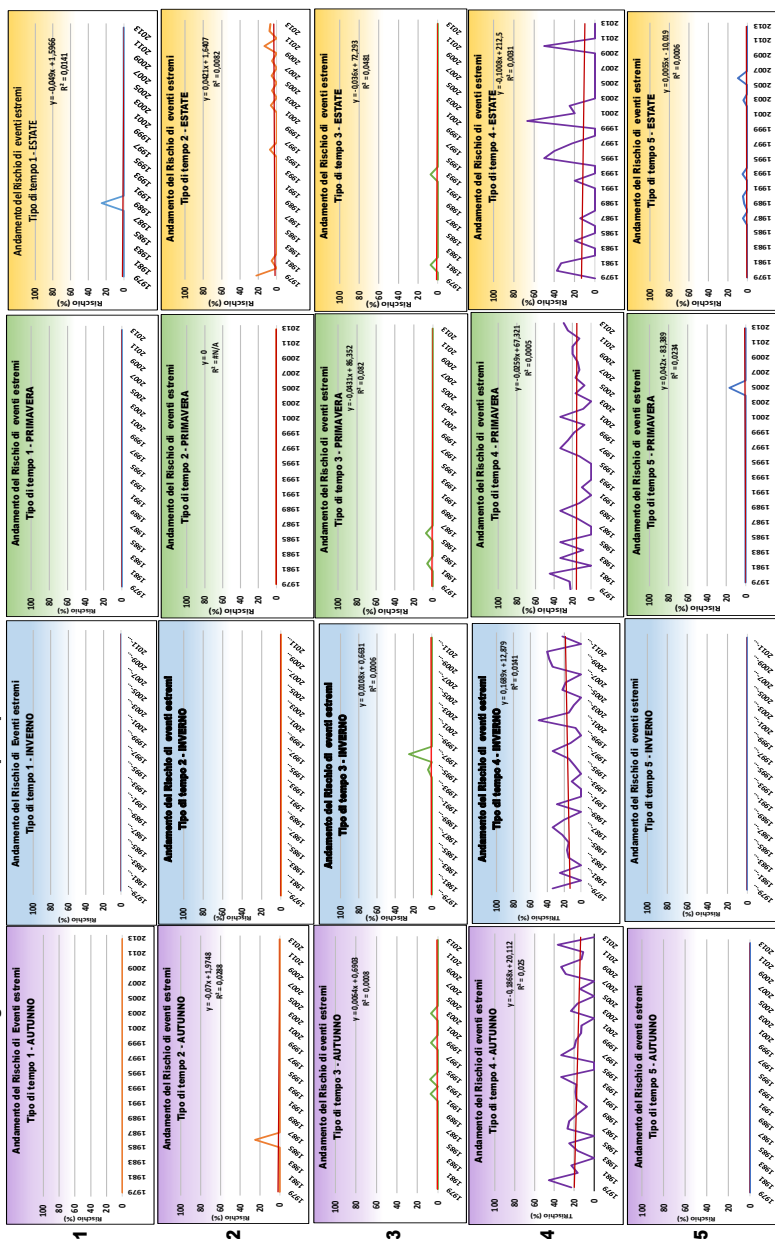


Fig. 3.54 - Analisi stagionale del trend del rischio di eventi di precipitazione intensa, per ciascun tipo di tempo (classificazione PC79 - MCS19). Dati da stazione CFR di Firenze (1979-2013)

Trend stagionale del rischio di eventi di precipitazione estrema - CASTELNUOVO DI GARFAGNANA - PCT9 - MSLP



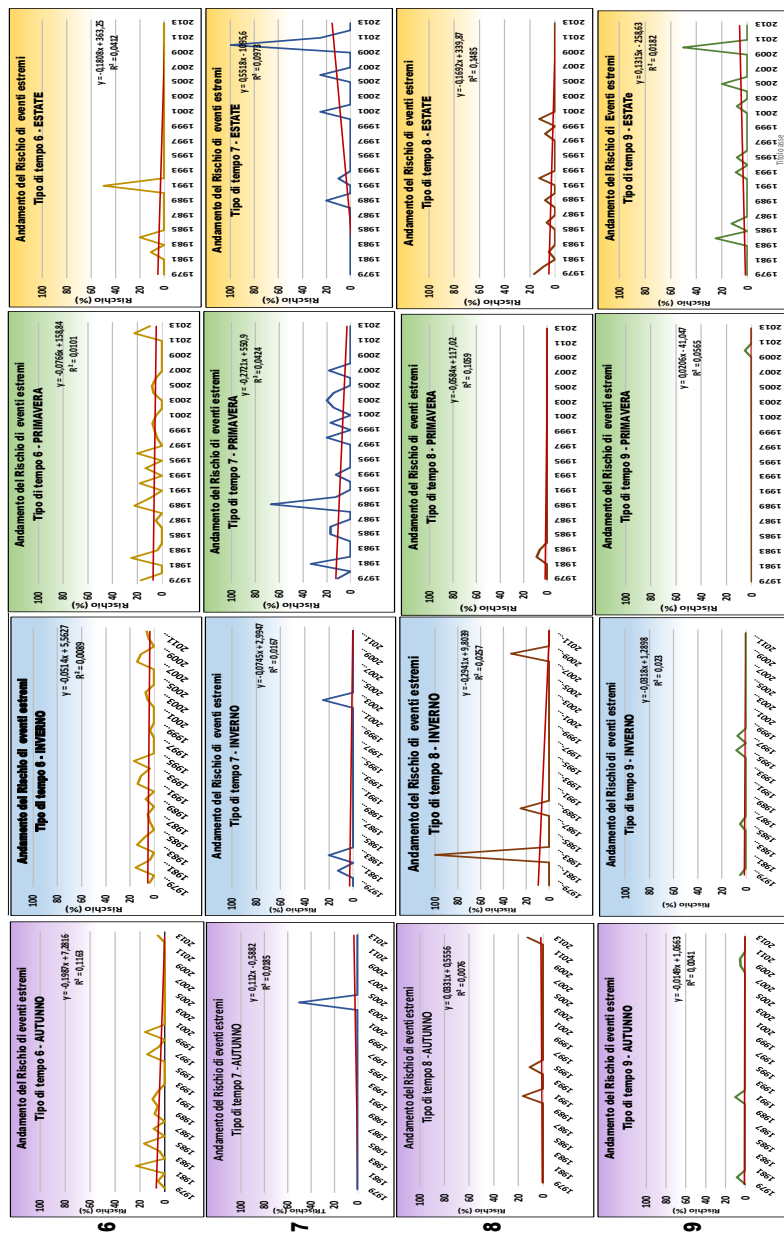
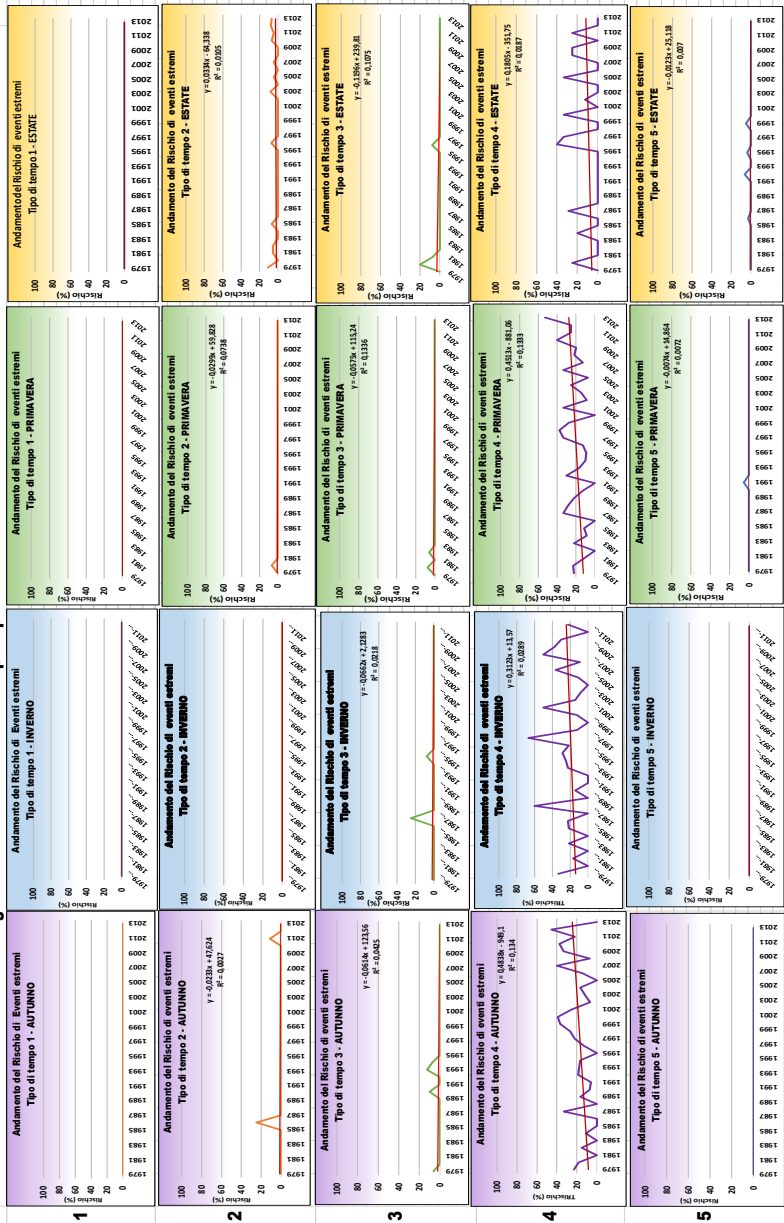


Fig. 3.55 - Analisi stagionale di trend del rischio di eventi di precipitazione intensa, per ciascun tipo di tempo (classificazione PCT9 - MSLP). Dati da stazione CRI di Pontremoli (1979-2013)

Trend stagionale del rischio di eventi di precipitazione estrema - PONTREMOLI - PCT9 - MSLP



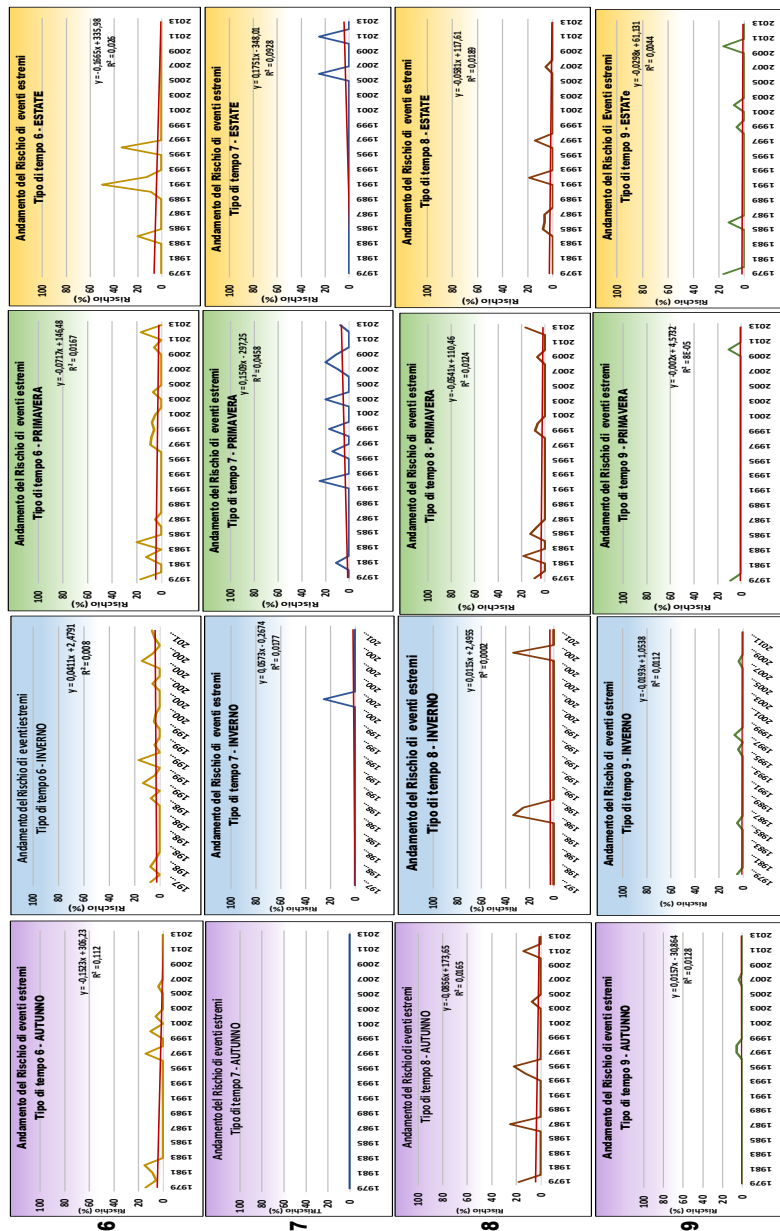
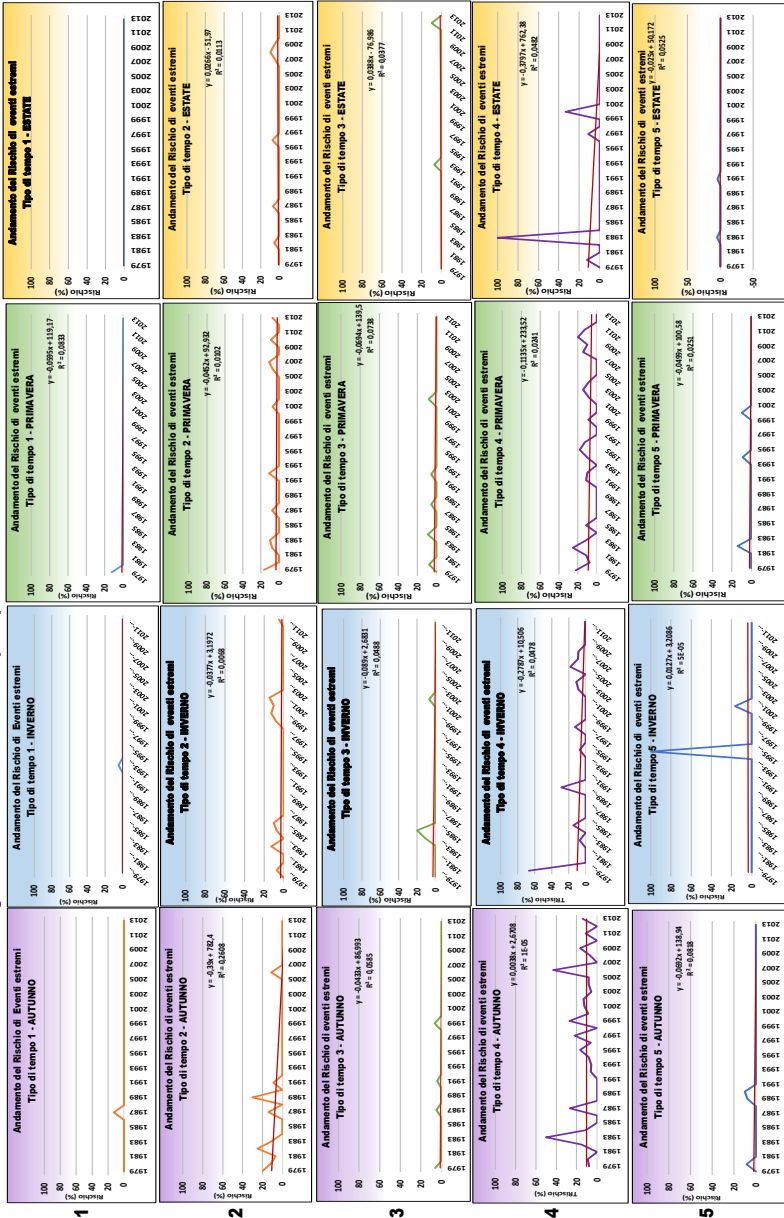


Fig. 3.55- Analisi stagionale del trend del rischio di eventi di precipitazione intensa, per ciascun tipo di tempo (classificazione PTG3 - MSU). Dati da stazione CRA di Pontenelli (1979-2013)

Trend stagionale del rischio di eventi di precipitazione estrema - GROSSETO - PCT9 - MSLP



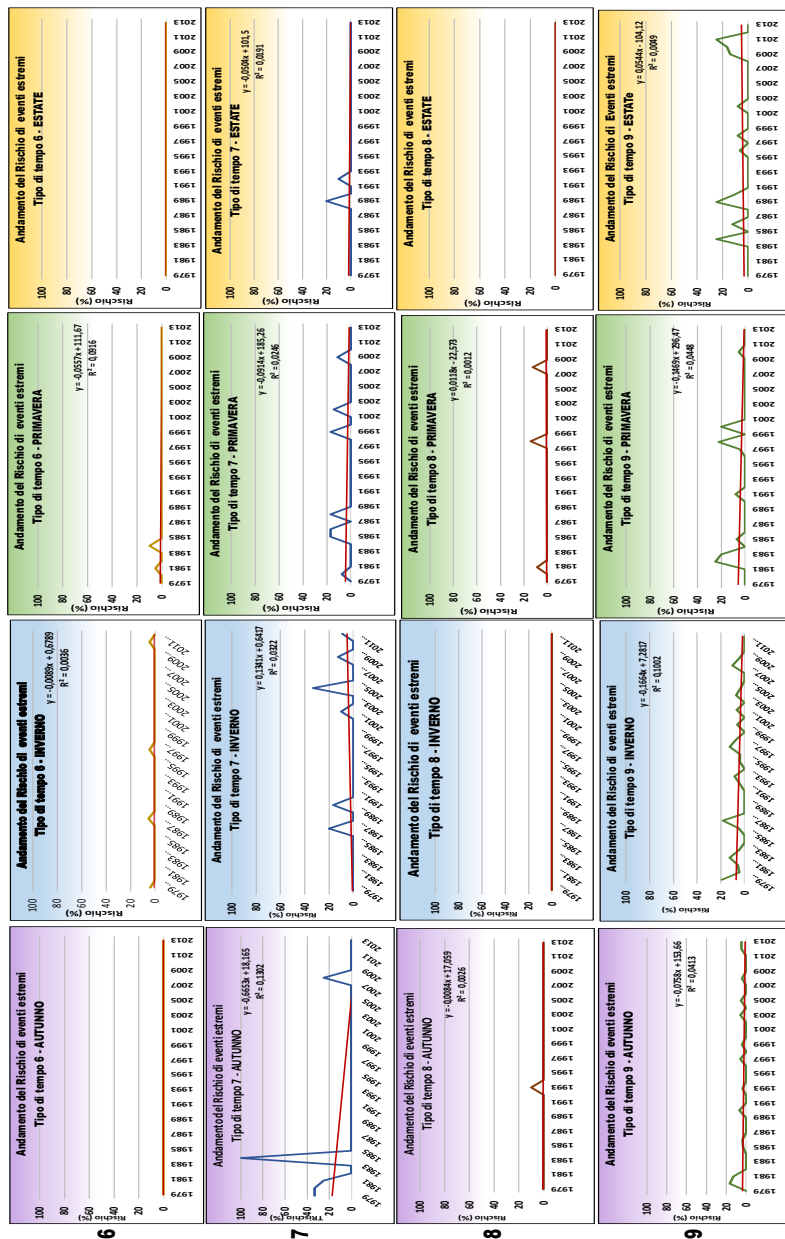


Fig. 3.57 - Analisi stagionale del trend del rischio di eventi di precipitazione intenso, per ciascun tipo di tempo (classificazione PCT9 - NSU). Dati da stazione CFA di Grosseto (1979-2013)

3.5 Analisi delle relazioni tra i tipi di tempo e gli eventi di precipitazione intensa associati ai principali episodi alluvionali/forti allagamenti, in Toscana

La presente indagine descrittiva-esplorativa si presenta come fase introduttiva e propedeutica ad uno studio sinora solo in parte esplorato, che ha visto mettere in relazione i tipi di tempo con gli eventi alluvionali accaduti in Toscana dal 1955 al 2015. Lo studio si è basato essenzialmente sul mettere in relazione, per ciascun giorno, il tipo di tempo della classificazione PCT9 con gli eventi di forte precipitazione da cui sono scaturiti i principali episodi alluvionali/forti allagamenti elencati in tabella 3.9 (che riprende i dati di tabella 2.1). L'indagine è stata allargata anche ai tipi di tempo relativi al giorno precedente all'evento, seguendo l'ipotesi che ci sia un legame temporale (detto anche "lag") tra tipi di circolazione ed il relativo impatto al suolo. Dall'elaborazione dei dati di tabella 3.2 si evince che il tipo di tempo 4 è la circolazione atmosferica maggiormente legata agli eventi di forte precipitazione tra il 1955 e il 2015: il 47% di tali eventi sono prodotti dal tipo di tempo 4, di cui il 21% persistono per almeno due giorni consecutivi.

Evento	Giorno	Mese	Anno	Tipo di Tempo (Lag_0)	Tipo di Tempo (Lag_1)	Province
1	27	12	1951	4	4	Provincia di Grosseto
2	3	11	1956	4	8	Varie zone della Toscana
3	4	11	1956	7	4	Varie zone della Toscana
4	21	11	1959	8	6	Provincia di Siena
5	22	11	1959	4	8	Provincia di Siena
6	18	1	1971	4	7	Provincia di Firenze
7	19	1	1971	4	4	Provincia di Firenze
8	23	1	1971	7	7	Provincia di Pistoia
9	24	1	1971	7	7	Provincia di Pistoia
10	7	6	1971	7	7	Provincia di Livorno
11	13	10	1971	6	3	Provincia di Grosseto
12	14	10	1971	7	6	Provincia di Grosseto
13	10	9	1972	7	6	Province di Lucca e Massa-Carrara
14	11	9	1972	5	7	Province di Lucca e Massa-Carrara
15	31	1	1974	3	3	Provincia di Grosseto
16	1	2	1974	3	3	Provincia di Grosseto
17	3	3	1974	4	7	Provincia di Grosseto
18	4	3	1974	4	4	Provincia di Grosseto
19	28	1	1978	4	1	Provincia di Pistoia
20	29	1	1978	7	4	Provincia di Pistoia
21	30	1	1978	7	7	Provincia di Pistoia
22	8	1	1979	8	9	Provincia di Pistoia
23	9	1	1979	4	0	Provincia di Pistoia
24	11	1	1979	7	6	Provincia di Lucca
25	12	1	1979	2	7	Provincia di Lucca
26	3	11	1980	9	9	Provincia di Arezzo
27	4	11	1980	9	9	Provincia di Arezzo
28	5	11	1980	9	9	Provincia di Arezzo
29	6	11	1980	7	9	Provincia di Arezzo
30	8	11	1982	4	3	Varie zone della Toscana
31	9	11	1982	4	4	Varie zone della Toscana
32	10	11	1982	4	4	Varie zone della Toscana
33	11	11	1982	9	4	Varie zone della Toscana
34	12	11	1982	4	9	Varie zone della Toscana
35	13	11	1982	6	4	Varie zone della Toscana
36	24	8	1983	4	9	Provincia di Livorno
37	25	8	1983	4	4	Provincia di Livorno
38	5	9	1984	2	4	Provincia di Livorno
39	23	9	1984	6	6	Provincia di Grosseto
40	24	9	1984	6	6	Provincia di Grosseto
41	3	10	1984	4	6	Province Prato, Firenze, Grosseto e Pisa
42	4	10	1984	4	4	Province Prato, Firenze, Grosseto e Pisa
43	26	8	1985	2	4	Varie zone della Toscana
44	30	10	1985	9	9	Provincia di Livorno
45	1	3	1986	3	3	Provincia di Livorno
46	17	6	1986	1	3	Varie zone della Toscana
47	18	6	1986	5	1	Varie zone della Toscana
48	19	6	1986	0	0	Varie zone della Toscana
49	24	8	1987	4	8	Province di Lucca e Massa-Carrara
50	25	8	1987	8	4	Province di Lucca e Massa-Carrara
51	10	10	1987	4	3	Varie zone della Toscana
52	11	10	1987	4	4	Varie zone della Toscana
53	29	10	1987	3	3	Provincia di Pisa
54	21	11	1987	2	2	Varie zone della Toscana
55	22	11	1987	1	2	Varie zone della Toscana
56	23	11	1987	4	1	Varie zone della Toscana
57	24	11	1987	4	4	Varie zone della Toscana
58	25	11	1987	4	4	Varie zone della Toscana
59	2	7	1989	2	8	Provincia di Firenze
60	3	7	1989	9	2	Provincia di Firenze
61	4	7	1989	3	9	Provincia di Firenze

Evento	Giorno	Mese	Anno	Tipo di Tempo (Lag_0)	Tipo di Tempo (Lag_1)	Province
62	11	7	1989	5	5	Province di Firenze e Pisa
63	16	7	1989	9	6	Provincia di Siena
64	25	11	1990	4	6	Provincia di Pistoia
65	12	10	1991	4	4	Varie zone della Toscana
66	13	10	1991	4	4	Varie zone della Toscana
67	15	11	1991	4	4	Varie zone della Toscana
68	9	5	1992	6	7	Provincia di Lucca
69	30	10	1992	4	6	Province di Firenze e Prato
70	31	10	1992	9	4	Province di Firenze e Prato
71	8	10	1993	4	4	Provincia di Pisa
72	19	5	1995	6	8	Provincia di Lucca
73	30	9	1995	4	6	Province di Massa-Carrara e Prato
74	22	10	1999	7	4	Provincia di Massa-Carrara
75	20	11	2000	4	7	Provincia di Lucca
76	4	9	2002	8	3	Provincia di Livorno
77	23	9	2003	8	8	Provincia di Massa-Carrara
78	29	10	2004	4	4	Provincia di Arezzo
79	5	11	2005	9	8	Provincia di Siena
80	6	11	2005	3	9	Province di Siena e Grosseto
81	15	11	2005	4	8	Province di Siena e Grosseto
82	24	12	2009	4	8	Province di Lucca e Massa-Carrara
83	25	12	2009	6	4	Province di Lucca e Massa-Carrara
84	5	10	2010	4	4	Provincia di Prato
85	31	10	2010	4	6	Provincia di Massa-Carrara
86	1	11	2010	4	4	Provincia di Massa-Carrara
87	2	11	2010	9	4	Provincia di Massa-Carrara
88	3	11	2010	1	9	Provincia di Massa-Carrara
89	24	10	2011	3	3	Province di Lucca e Massa-Carrara
90	25	10	2011	4	3	Province di Lucca e Massa-Carrara
91	7	11	2011	4	4	Provincia di Livorno
92	11	11	2012	4	4	Province di Massa-Carrara e Grosseto
93	12	11	2012	9	4	Province di Massa-Carrara e Grosseto
94	28	11	2012	4	4	Provincia di Massa-Carrara
95	14	12	2012	4	4	Varie zone della Toscana
96	15	12	2012	6	4	Varie zone della Toscana
97	19	1	2013	4	2	Varie zone della Toscana
98	20	1	2013	4	3	Varie zone della Toscana
99	11	3	2013	7	6	Province di Lucca Firenze e Pisa
100	12	3	2013	7	7	Province di Lucca Firenze e Pisa
101	13	3	2013	4	7	Province di Lucca Firenze e Pisa
102	29	3	2013	4	7	Province di Pistoia, Prato, Massa-Carrara e Lucca
103	30	3	2013	4	4	Province di Pistoia, Prato, Massa-Carrara e Lucca
104	29	9	2013	4	3	Provincia di Siena e Grosseto
105	5	10	2013	4	3	Province di Livorno, Grosseto e Siena
106	20	10	2013	8	8	Varie zone della Toscana
107	21	10	2013	5	8	Varie zone della Toscana
108	17	1	2014	4	6	Province di Massa-Carrara, Lucca e Pistoia
109	18	1	2014	4	4	Province di Massa-Carrara, Lucca e Pistoia
110	31	1	2014	4	4	Varie zone della Toscana
111	10	2	2014	4	6	Varie zone della Toscana
112	11	2	2014	2	4	Varie zone della Toscana
113	21	7	2014	2	8	Province di Lucca e Pisa
114	22	7	2014	2	2	Province di Lucca e Pisa
115	19	9	2014	4	3	Province di Pisa e Firenze
116	20	9	2014	6	4	Province di Pisa e Firenze
117	14	10	2015	4	6	Provincia di Grosseto
118	5	11	2014	4	4	Province di Massa-Carrara
119	1	9	2015	3	9	Provincia di Firenze
120	24	8	2015	8	8	Province di Pisa e Siena
121	13	10	2015	4	9	Varie zone della Toscana
122	14	10	2015	9	4	Varie zone della Toscana

Tab. 3.9 – Principali eventi alluvionali/forti allagamenti in Toscana dal 1948 al 2015 (dal '48 al '90 i dati sono raccolti dal Servizio Geologico Nazionale – Catenacci, 1992; dal '91 al 2015 dati elaborati dal consorzio LaMMA e CFR) associati al tipo di tempo (PCT9) relativo al giorno stesso (Lag_0) e al giorno precedente (Lag_1). In rosso sono evidenziati i 4 eventi esaminati in dettaglio nel presente volume.

Nella figura 3.58 viene messo in evidenza il tipo di circolazione che precede il tipo di tempo 4: nel 45% dei casi il tipo di tempo 4 è proprio preceduto da sé stesso e nel 76% è preceduto da circolazioni “piovose” o con caratteristiche cicloniche (ovvero il 4, 6, 7, 9 e 2). Non vi è dubbio sul fatto che questa caratteristica stia proprio alla base di eventi precipitativi severi che stanno alla base di alluvioni, ma ulteriori approfondimenti verranno condotti in futuro per analizzare le dinamiche che regolano la successione delle varie circolazioni atmosferiche attraverso una dettagliata analisi delle persistenze e delle transizioni.

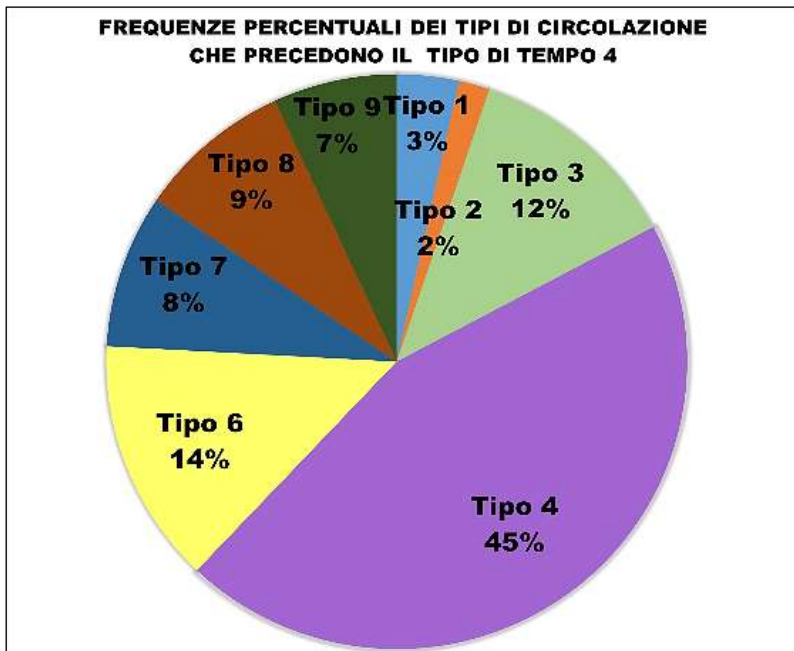


Fig. 3.58 – Frequenza percentuale dei tipi di tempo che precedono l'evento di precipitazione intensa che si è verificato in corrispondenza del tipo di tempo 4

Dal grafico di figura 3.59 è possibile osservare che gli eventi di precipitazione intensa associata ad episodi alluvionali o forti

allagamenti che dal 1955 hanno interessato nello stesso giorno gran parte del territorio toscano, sono stati 33 su 122. La provincia che ha subito più episodi è Massa-Carrara con 56 eventi (di cui il 57% sono stati determinati dal tipo di tempo 4), seguita da quella di Lucca e da quella di Grosseto; per quest'ultima risultano un totale di 51 eventi, di cui il 55% si sono verificati col tipo di tempo 4. Il numero elevato di eventi alluvionali o forti allagamenti determinati da eventi di forte precipitazione accaduti in provincia di Grosseto, dove i cumuli annui di pioggia e il numero medio di eventi di precipitazione estrema (secondo la climatologia 1981-2010) sono tra i più bassi dell'intera regione, sono probabilmente legati a caratteristiche morfologiche della zona e/o precipitazioni brevi ma intense. Su questo aspetto verranno effettuati ulteriori indagini e approfondimenti.

Al contrario la provincia che subisce meno eventi di alluvione o forti allagamenti è quella di Arezzo (con 38 episodi). In tutte le provincie il tipo di tempo 4 è la circolazione atmosferica che determina il maggior numero di eventi di forte precipitazione associati a episodi alluvionali/forti allagamenti (oltre il 50% in ciascuna area geografica), ma è la provincia di Prato che detiene il primato con oltre il 62 % di eventi di forte precipitazione associati al tipo di tempo 4.

Interessanti sono anche le considerazioni sulla stagionalità degli eventi alluvionali/forti allagamenti che si possono trarre osservando la Fig. 3.60. Possiamo infatti affermare che la maggior parte degli eventi avvengono in autunno di cui il 24% a Ottobre, il 21% a Novembre e l'11% a Settembre. Dal grafico emerge anche che le frequenze per inverno ed estate sono simili, rispettivamente il 20% e il 19%, mentre sono quasi assenti in primavera (solo il 5% a Marzo). Ulteriori studi potranno approfondire questi risultati.

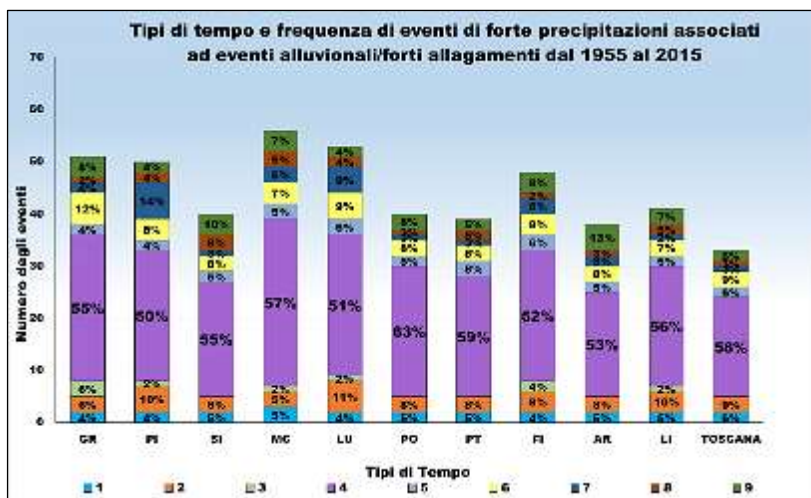


Fig. 3.59 – Frequenza percentuale degli eventi di forte precipitazione per ciascun tipo di tempo in relazione alle frequenze degli episodi alluvionali/forti allagamenti (elencati in tabella 2.1), per ciascuna are geografica

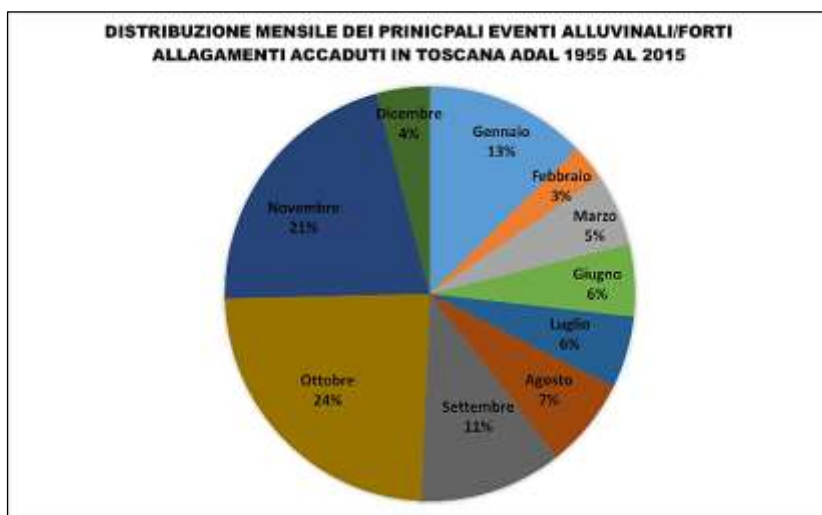


Fig. 3.60 – Distribuzione mensile dei principali eventi alluvionali/forti allagamenti. Dati da tabella 2.1

Da quanto rilevato possiamo affermare, l'esistenza di una relazione tra i tipi di tempo e il verificarsi di eventi forte precipitazione che nel passato hanno determinato ingenti danni al territorio toscano: in modo particolare il tipo di tempo 4, oltre a presentare un elevato rischio di eventi estremi (come visto nel paragrafo precedente) mostra una predisposizione a determinare eventi alluvionali o forti allagamenti in Toscana. Questo conferma l'utilità delle classificazioni dei tipi di tempo a descrivere in modo appropriato sia la precipitazione media che gli estremi pluviometrici, mostrando un'ottima separazione tra le diverse circolazioni.

CONCLUSIONI

La Toscana, si pone al centro di una delle aree (quella del Mediterraneo) più soggette agli effetti del cambiamento climatico, non solo perché esposta alle correnti atlantiche umide sempre più spesso portatrici di fenomeni intensi di pioggia, ma anche perché caratterizzato da un territorio sempre più vulnerabile alle frane e alluvioni anche a causa dell'uso intensivo e incontrollato dei suoli divenuti ormai sempre più incapaci di assorbire le grandi quantità di pioggia, facendo così registrare ogni anno ingenti danni in termini economici, sociali, ambientali e purtroppo anche di vite umane. Al fine di mettere a punto uno strumento operativo in grado di far fronte agli effetti del cambiamento climatico in atto, in questo lavoro viene utilizzato lo strumento dei "tipi di tempo" per verificare la propensione di certe circolazioni atmosferiche a causare eventi alluvionali sulla regione Toscana, consentendo di evidenziare non solo i tipi di circolazione più predisposti al rischio, ma anche eventuali trend, fornendo così ulteriori indicazioni relativamente alle dinamiche che governano i cambiamenti climatici in atto.

L'utilizzo delle classificazioni dei tipi di tempo come strumento di indagine, ha mostrato ottimi risultati non solo a descrivere e caratterizzare bene le precipitazioni al suolo sul territorio toscano, individuando le circolazioni atmosferiche che portano più precipitazioni, ma ha mostrato un'ottima separazione nei tipi di tempo anche in relazione alle precipitazioni intense. Scendendo nel dettaglio, l'analisi ha portato all'individuazione di un tipo di tempo fortemente a rischio di precipitazioni intense: il tipo di tempo 4, la cui configurazione sinottica è caratterizzata da un centro di bassa pressione tra Golfo Ligure e alto Tirreno con intenso flusso di correnti umide proveniente da tutto il quadrante sud-occidentale sulla

Toscana. Tale circolazione risulta spesso scarsamente evolutiva a causa dell'azione di blocco esercitata dalla presenza di un robusto campo di alta pressione sull'area dei Balcani, determinando non solo intense precipitazioni, ma anche la persistenza delle stesse. L'analisi ha dimostrato che, tale configurazione, oltre a presentare un elevato rischio di eventi estremi di pioggia, mostra una predisposizione a determinare anche eventi alluvionali/forti allagamenti in Toscana: il 47% di questi episodi accaduti dal 1955 al 2015 si verificano con il tipo 4, di cui il 21% persistono per almeno due giorni consecutivi. Tale predisposizione è legata in molti casi anche alle forti correnti di Libeccio a cui spesso si associano forti mareggiate lungo le coste toscane, impedendo il normale deflusso delle acque fluviali a mare durante i periodi di piena e contribuendo così all'esondazione dei fiumi.

L'analisi delle 4 alluvioni prese in esame ha mostrato alcune differenze sostanziali tra quelle che hanno interessato grandi bacini idrografici (come quello dell'Arno nel 1966) e quelle che hanno interessato bacini più piccoli. Mentre per i bacini idrografici di grande estensione le esondazioni sono riconducibili ad anomale frequenze (elevate) delle circolazioni favorevoli a piogge importanti su un periodo piuttosto lungo (anche 30 giorni), per le alluvioni che riguardano i bacini idrografici più piccoli è sufficiente che tali tipi di circolazione si presentino per pochi giorni consecutivi (anche un solo giorno in alcuni casi) in prossimità dell'evento. Tutto questo è sicuramente legato alle caratteristiche del bacino preso in esame e ai suoi tempi di corruzione.

Interessanti sono anche le considerazioni sulla stagionalità degli eventi alluvionali/forti allagamenti determinati dal tipo di tempo 4, che mostrano una maggiore frequenza in autunno piuttosto che in altre stagioni. A livello esplorativo, l'analisi ha evidenziato anche

l'esistenza di forti legami tra le successione di alcuni tipi di circolazione atmosferiche con eventi di forte precipitazione associati a episodi alluvionali; gli eventi alluvionali causati dal tipo di tempo 4 sono preceduti nel 76% dei casi da configurazioni di tipo ciclonico, ovvero da altre eventi precipitativi.

Interessanti spunti vengono forniti anche dall'analisi dei trend delle varie circolazioni atmosferiche che probabilmente si legano ai recenti cambiamenti climatici. In modo particolare il trend in aumento della frequenza del tipo di tempo 4, quello più propenso a causare eventi alluvionali, suggerisce un crescente rischio di alluvioni anche nel prossimo futuro. Ulteriori approfondimenti sui trend potranno aumentare la nostra conoscenza relativamente alle dinamiche che governano i cambiamenti climatici.

Tutti questi risultati hanno fornito diversi spunti di indagine che potranno essere approfonditi in un prossimo futuro. Particolarmente interessante è l'utilizzo dei tipi di tempo all'interno di un innovativa metodologia delle previsioni stagionali o a lungo termine; queste previsioni non si limiteranno infatti a fornire informazioni sulle anomalie termiche e pluviometriche, bensì anche al rischio/probabilità di precipitazioni intense, periodi siccitosi, nevicate e ondate di calore, informazioni che costituirebbero senz'altro un valore aggiunto nella gestione delle risorse idriche, agroforestali ed energetiche, nonché alla gestione delle emergenze e delle attività connesse alla Protezione Civile.

BIBLIOGRAFIA

- A.A.V.V., 2009. *Report sull'evento alluvionale registrato nei giorni 24-25 Dicembre 2009 nel Bacino del Fiume Serchio*. Centro Funzionale della Regione Toscana.
<http://www.cfr.toscana.it/supports/download/eventi/report_evento_alluvionale_serchio_2009-12-25.pdf>
- A.A.V.V., 2011. *Report evento meteo-idrologico del giorno 25 Ottobre 2011. Focus sul bacino toscano del fiume Magra*. Centro Funzionale della Regione Toscana.
<http://www.cfr.toscana.it/supports/download/eventi/report_evento_24_26_ottobre_2011_lunigiana.pdf>
- A.A.V.V., 2012. *Report eventi meteo-idrologici dei giorni 10, 11 e 12 Novembre 2012, sull'evento alluvionale registrato nella Toscana Nord-Occidentale e sulla Provincia di Grosseto*. Centro Funzionale della Regione Toscana.
<http://www.sir.toscana.it/supports/download/eventi/report_evento_alluvionale_10-11-12_novembre_2012.pdf>
- A.A.V.V., 2015. *Rischio alluvioni in Toscana: Precipitazioni ed effetto al suolo*. <<http://www.regione.toscana.it/-/seminario-rischio-alluvioni-in-toscana-precipitazioni-ed-effetti-al-suolo>>
- AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME SERCHIO, 2010. *Piano di gestione del Rischio di Alluvioni del distretto idrografico pilota del fiume Serchio*. <http://www.autorita.bacinoserchio.it/pianodigestione_alluvioni>
- AZZARI M. 2006. *Atlante GeoAmbientale della Toscana*. Novara: Istituto De Agostini.
- BARTOLINI G., MAGNO R., VALLORANI R., PETRALLI M. & MASSETTI L. (eds), 2006. *Il clima che cambia*. Firenze, Consorzio LaMMA.

BARTOLINI G. & DI STEFANO V., 2012. *Mediterranean warming is especially due to summer season. Evidences from Tuscany (central Italy)*. Theor Appl Climatol, 107:279–295. DOI 10.1007/s00704-011-0481-1

BARTOLINI G., MORABITO M., CRISCI A., GRIFONI D., TORRIGIANI T., PETRALLI M., MARACCHI G. & ORLANDINI S., 2008. *Recent trends in Tuscany (Italy) summer temperature and indices of extremes*. International Journal of Climatology, (28): 1751–1760. DOI: 10.1002/joc.1673

BARTOLINI G., GRIFONI D., TORRIGIANI T., VALLORANI R., MENEGUZZO F. & GOZZINI B., 2014. *Precipitation changes from two long-term hourly datasets in Tuscany, Italy*. International Journal of Climatology. DOI: 10.1002/joc.3956

BARTOLINI G., BETTI G., CRISCI A., GOZZINI B., GRIFONI D., **IANNUCILLI M.**, MESSERI A., MESSERI G., MORABITO M., VALLORANI R., & MARACCHI G., 2016. *An optimized weather type classification scheme for italian peninsula based on COST733*. Poster – Conference European Meteorological Society – Trieste.

BECK C. & PHILIPP A., 2010. *Evaluation and comparison of circulation type classifications for the European domain*. Physics and Chemistry of the Earth, (35): 374–387.

BECK C., PHILIPP A. & STREICHER F., 2013. *The effect of domain size on the relationship between circulation type classifications and surface climate*. International Journal of Climatology, DOI: 10.1002/joc.3688.

BRODERICK C., & FEALY R. 2014. *An analysis of the synoptic and climatological applicability of circulation type classifications for Ireland*. International Journal of Climatology. DOI: 10.1002/joc.3996.

BRUNETTI M., MAUGERI M., NANNI T. & NAVARRA A., 2002a. *Droughts and extreme events in regional daily Italian precipitation series*. International Journal of Climatology, (22): 543–558.

BRUNETTI M., MAUGERI M., & NANNI T., 2002b. *Atmospheric circulation and precipitation in Italy for the last 50 years*. International Journal of Climatology, (22): 1455-1471

BRUNETTI M. et al., 2004. *Acquisizione, esame critico ed analisi di serie storiche italiane per lo studio delle variazioni del clima*. Progetto CLIMAGRI.

BRUNETTI M., MAUGERI M., MONTI F. & NANNI T., 2006. *Temperature and precipitation variability in Italy in the last two centuries from homogenised instrumental time series*. International Journal of Climatology, (26): 345-381.

BUZZI A. & TIBALDI S., 1978. *Cyclogenesis in the lee of the Alps: a case study*. Quart. J. Met. Soc. (174): 271-287.

CARLI B., CAVARETTA G., COLACINO M. & FUZZI S. (eds), 2007. *Clima e Cambiamenti Climatici, le attività di ricerca del CNR*. Roma, Consiglio Nazionale delle Ricerche.

CATENACCI V., 1992. *Memorie descrittive della Carta Geologica d'Italia. Il dissesto geologico e GeoAmbientale in Italia dal dopoguerra al 1990*. Roma. Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato.

CASADO M. & PASTOR M., 2013. *Circulation types and winter precipitation in Spain*. International Journal of Climatology, DOI: 10.1002/joc.3860.

CORIGLIANO A., 2015. *Meteorologia. Volume 1. L'atmosfera: costituzione, struttura e proprietà*. Cremona, Ronca Editore.

CORTEMIGLIA G., 2006. *La variabilità del clima locale relazionata ai fenomeni di cambiamento climatico globale*. Bologna, Pàtron Editore.

CORTESI N., GONZALEZ-HIDALGO J., TRIGO R. & RAMOS A., 2013. *Weather types and spatial variability of precipitation in the Iberian Peninsula*. International Journal of Climatology, DOI: 10.1002/joc.3866.

CORTESI N., TRIGO R., GONZALEZ-HIDALGO J. & RAMOS A., 2013. *Modelling monthly precipitation with circulation weather types for a dense network of stations over Iberia*. Hydrology and Earth System Sciences, (17): 665–678.

FERNÁNDEZ-MONTES S., SEUBERT F.S., RODRIGO F., RASILLA ÁLVAREZ D.F., HERTIG E., ESTEBAN P. & PHILIPP A. 2014. *Circulation types and extreme precipitation days in the Iberian Peninsula in the transition seasons: Spatial links and temporal changes*. Atmospheric Research. (138): 41–58.

FCCC, 2015. *Framework Convention on Climate Change. Adoption of the Paris agreement*. Parigi, WMO – ONU.

FORMENTINI G., GOBBI A., GRIFFA A. & RANDI P., 2006. *Temporalità e tornado*. Milano. Alpha Test.

GENESIO L., VACCAI L., MAGNO R., MARACCHI G., FERRARI R., CRISCI A., BOTTAI L., 2006. *I diagrammi del clima in Toscana*. Firenze, IBIMET CNR-Regione Toscana.

GIULIACCI M., GIULIACCI A. & CORAZZON P., 2007. *Prevedere il tempo con internet*. Milano, Alpha Test.

GIULIACCI M. GIULIACCI A., CORAZZON P., 2016. *Manuale di meteorologia*. Milano, Alpha Test.

GOZZINI B. & MARACCHI G., 2010. *Il cambiamento climatico e il territorio*. Firenze, “Toscana, L’uomo e l’Ambiente”, 4-9.

HAYLOCK m.r., N. HOFSTRA N., KLEIN TANK A. M. G. KLOK E.J., JONES P.D. & NEW M., 2008. *A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950–2006*. Journal of Geophysical Research, (113). Doi:10.1029/2008JD010201.

HUTH R., BECK H., & TVEITO O., 2010. *Preface of classifications of atmospheric circulation patterns—theory and applications*. Phys.Chem.Earth. (35): 307–308. doi: 10.1016/j.pce.2010.06.005.

HUTH R., BECK C., PHILLIPP A., DEMUZERE M., USTRNUL Z., CAHYNOVÁ M., et al., 2008. *Classifications of atmospheric circulation patterns: recent advances and applications*. Trends Dir. Clim. Res. Ann. N.Y. Acad. Sci. 1146,105–152. doi: 10.1196/annals.1446.019.

HUTH R. 2010. *Synoptic-climatological applicability of the circulation classification from the COST733 collection: First result*. Physics and Chemistry of the Earth, (35): 388–394.

HUTH R., BECK C., & KUCEROVÀ M., 2015. *Synoptic-climatological evaluation of the circulation pattern over Europe*. International Journal of Climatology. DOI: 10.1002/joc.4546.

IANNUCILLI M., 2012. *Fattori bioclimatologici e infortuni sul lavoro. Studio su un campione di immigrati in Toscana*. Atti del Convegno "La Geografia del nuovo millennio". Roma, VALMAR, 79-82.

IPCC, 2015. *Climate change 2014: Synthesis Report*. WMO, Ginevra.
ISOLA M., 2015. *Il Fiume Arno. Storia sconosciuta della mitigazione delle piene*. Firenze, Tipografia del Consiglio Regionale.

LAMARRE D. & PAGNEY P., 2002. *Climi e Società*. Novara, De Agostini.
LEONE U., 2007. *Nuove politiche per l'ambiente*. Roma, Carrocci.

LOUVIN R., 2016. *COP-21: chiamata alle armi (del diritto) per salvare il clima*. "Nimbus" – Società Meteorologica Italiana, (75): 52-56.

MARACCHI G., 2008. *Il clima e il tempo. Clima Territori e tradizioni in Toscana*. Edifir Edizione Firenze.

MARIANI L. & PIAZZA A., 1998. *Previsioni meteo: come potrebbero essere utilizzate dalla protezione civile*. Nimbus – Società Meteorologica Italiana, (21-22): 113-116.

MERCALLI L., 1998. *Alluvioni inevitabili*. Nimbus – Società Meteorologica Italiana, (21-22): 7-23.

MESSERI A., MORABITO M., MESSERI G., BRANDANI G., PETRALI N., GRIFONI D., CRISI A., GENSINI G., ORLANDINI S., 2015. *Weather-Related Flood and Landslide Damage: A Risk Index for Italian Regions*. PLOS ONE. DOI: 10.1371/journal.pone.0144468.

MORABITO M., IANNUCILLI M., CRISI A., CAPECCHI V., BALDASSERONI A., ORLANDINI S., & GENSINI G., 2014. *Air temperature exposure and outdoor occupational injuries: a significant cold effect in Central Italy*. Occupational and Environmental Medicine (OEM), 2014 Oct; 71(10):713-6.

PASCAL A., 2011. *Storia del clima. Dal Big Bang alle catastrofi climatiche*. Roma, Donzelli Editore.

PANZIERA L., GIOVANNINI L., LAITI L. & ZARDI D., *The relation between circulation types and regional Alpine climate. Part I: synoptic climatology of Trentino*. International Journal Of Climatology, 35: 4655–4672. DOI: 10.1002/joc.4314

PHILIPP A., BARTHOLY J., BECK C., ERPICUM. M., ESTEBAN P., FETTWEIS X., HUTH R., JAMES S., JOURDAIN S., KREIENKAMP F., KRENNER T., LYKODIS S., MICHALIDES S., PIANKO P., RASILLA A. SCHIEMAN R., SPEKAT A., TYMVIOS FS., 2010. *Cost733cat – A*

database of weather and circulation type classifications. Physics and Chemistry of the Earth, (35): 360–373.

PHILIPP A., PHILIPP A., BECK C., ESTEBAN P., KREIENKAMP F., KRENNERT T., LOCHBIHLER K., LYKOUTIS S., KLUCZYNSKA K., POST P., RASILLA ALVAREZ D., SPEKAT A., and STREICHER F., 2014. *Cost733class-1.2. User guide*. <http://cost733.geo.uni-augsburg.de/download/cost733class-1.2/cost733class_userguide.pdf>

PINNA M., 1996. *Le variazioni del clima. Dall'ultima grande glaciazione alle prospettive per il XXI secolo*. Milano, Franco Angeli.

PINNA S., 2006. *Le piogge intense in Toscana*. Pisa, Felici Editore.

PINNA S., 2014. *La falsa teoria del clima impazzito*. Pisa, Felici Editore.

RAMOS A., BARRIOPEDRO D., & DUTRA E. 2015. *Circulation weather types as a tool in atmospheric, climate, and environmental research*. Frontiers in Environmental Science, 3: (44)

REITER E., 1969. *Le correnti a getto. Come intervengono nella meteorologia*. Bologna, Zanichelli.

STRAHLER A. N., 1984. *Geografia Fisica*. Padova: Piccin.

TVEITO O.E., 2010. *An assessment of circulation type classifications for precipitation distribution in Norway*. Physics and Chemistry of the Earth, 35 395–402.

VISCONTI G., 2005. *Clima estremo. Un'introduzione al tempo che ci aspetta*. Milano, Boroli Editore.

WILKS D.S., 2006. *Statistical methods in the atmospheric sciences*. California (U.S.A.), Elsevier.

RINGRAZIAMENTI

Angotti Franco: Distretto Rotary 2071 (Toscana)

Professore Emerito dell'Università di Firenze

Bartolini Giorgio: Previsore Meteo - Consorzio LaMMA

Betti Giulio: Previsore Meteo - Consorzio LaMMA

Crisci Alfonso: Istituto di Biometeorologia (IBIMET- CNR)

Comodo Nicola: Distretto Rotary 2071 (Toscana)

Professore Emerito dell'Università di Firenze

Giani Eugenio: Presidente del Consiglio Regionale della Toscana

Maracchi Gianpiero: Presidente dell'Accademia dei Georgofili

Professore Emerito di Climatologia
dell'Università di Firenze

Messeri Alessandro: Centro interdipartimentale di Bioclimatologia

(CIBIC) - Dipartimento di Scienze delle Produzioni
Agro-alimentari e dell'Ambiente (DISPAA)
dell'Università di Firenze

Messeri Gianni: Ricercatore Istituto di Biometeorologia (IBIMET-CNR)

Previsore Meteo - Consorzio LaMMA

Morabito Marco: Istituto di Biometeorologia (IBIMET- CNR)

Centro interdipartimentale di Bioclimatologia (CIBIC)

Rispoli Arrigo: Governatore del Distretto Rotary 2071 (Toscana)

a.r. 2014-15

Vallorani Roberto: Previsore Meteo - Consorzio LaMMA



Maurizio Iannuccilli. Geografo, laureato con lode. Master Universitario di secondo livello in "Sistemi Informativi Geografici (GIS) per il monitoraggio e la gestione del territorio" svolto presso l'Università di Firenze e l'Istituto Geografico Militare. Borsista di Ricerca presso il Consorzio LaMMA (Regione Toscana - CNR). Vincitore del concorso pubblico finalizzato ad

una collaborazione esterna di ricerca presso il CIBIC (Centro Interdipartimentale di Bioclimatologia) dell'Università di Firenze. Finalista "Premio AGAT (Associazione Geografica per l'Ambiente e il Territorio dell'Università di Roma "La Sapienza") per tesi di laurea in Geografia", con pubblicazione. Coautore di un articolo scientifico su rivista internazionale e coautore di un poster presentato nell'ambito della 16th Conferenza EMS (European Meteorological Society). Le sue attività riguardano la Geografia, la Climatologia, la Cartografia e lo studio delle relazioni tra l'uomo e l'ambiente. Attualmente l'attività di ricerca è orientata all'analisi delle Classificazioni dei Tipi di Tempo per lo studio dei Cambiamenti Climatici e dei loro effetti sul territorio.



REGIONE TOSCANA
Consiglio Regionale

“Stampato presso la tipografia del Consiglio Regionale ai sensi della L.R. 4/2009”