

ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITA' DI BOLOGNA

SCUOLA DI SCIENZE

CORSO DI LAUREA IN SCIENZE AMBIENTALI

Variabilità naturale del clima italiano e
cambiamenti climatici durante la stagione
calda dal 1981 al 2010

Tesi di laurea in Struttura e Dinamica dell'Atmosfera e
dell'Oceano

Relatore
Prof.ssa Nadia Pinardi

Presentata da
Beatrice Gottardi

Correlatore
Dott. Stefano Materia

Sessione Anno Accademico 2016-2017
22 Settembre 2017

*"[...] tout le malheur des hommes
vient d'une seule chose, qui est de
ne pas savoir demeurer en repos
dans une chambre."
Blaise Pascal*

Abstract:

Il clima italiano, come quello globale, è soggetto ad un riscaldamento. Negli ultimi 150 anni circa si è riscontrato un trend positivo delle temperature associato all'aumento di CO₂ dovuto principalmente all'attività antropica. L'innalzamento delle temperature implica un aumento degli eventi meteorologici estremi, tra i quali le perturbazioni e le ondate di calore, aumentandone la frequenza e l'intensità.

Questo studio ha come obiettivo l'analisi climatica della penisola italiana durante il trentennio che va dal 1981 al 2010, in particolare durante il periodo dal primo maggio al 30 settembre (stagione calda). Si osserverà la naturale variazione climatica stagionale italiana. In particolare si presterà maggior attenzione alle anomalie di temperatura (TOC-Temperatura media delle Ore Calde) con speciale riferimento alle ondate di calore.

Il territorio italiano è caratterizzato da una notevole differenziazione delle caratteristiche climatiche dovuta principalmente alla vicinanza o meno dal mare e alla quota. Anche le TOC e le anomalie osservate si distinguono tra alta quota, Nord, Cento e Sud Italia.

I dati analizzati provengono da bollettini meteorologici di 15 stazioni del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare distribuite sul territorio nazionale e sono stati elaborati con un software sviluppato in Python. Calcolando i valori di riferimento sul trentennio in esame, come l'andamento del clima e la media stagionale, si possono osservare le variazioni e le anomalie giornaliere delle TOC.

I risultati di questo lavoro mostrano un aumento delle temperature (fino a circa 0,5°C a decennio) e delle ondate di calore (fino a 6 giorni a decennio) in tutta la penisola, ma con minor impatto nella zona meridionale. Il mar Mediterraneo a causa della sua attività termoregolatrice riesce a tamponare le temperature che per brevi periodi superano valori anomali. In questo modo oltre a mitigare il clima a livello stagionale, il mare riesce a rallentare il riscaldamento eccessivo delle zone costiere ed, a scala più ampia, del Sud Italia.

Inoltre come caso studio si sono volute osservare nel dettaglio le anomalie giornaliere durante l'anno più freddo (1984) e l'anno più caldo (2003) del trentennio. Questa parte d'analisi ha effettivamente confermato l'assenza delle ondate di calore durante la stagione calda del 1984 e la presenza di episodi di durata fino a 20 giorni nel 2003.

L'aumento delle ondate di calore e di altri eventi estremi, causati dall'innalzamento delle temperature, sono una minaccia degna d'attenzione per la salute e il benessere delle persone e per l'economia di interi stati. Per questo il clima e le sue variazioni dovrebbero essere soggetto di studi sempre più approfonditi: per comprenderne sia le caratteristiche sia le origini, al fine di poter essere maggiormente preparati a eventuali adattamenti.

INDICE

Abstract:	5
1. Introduzione	9
1.1 Cenni sul clima italiano	12
1.1.1 Il clima in Italia nel trentennio 1981-2010.....	14
1.1.2 La stagione calda nel trentennio 1981-2010.....	16
1.1.3 Metodi di misura.....	17
1.2 Obiettivi	18
2. Dati e metodologia	19
2.1 Stazioni Synop e Metar	19
2.1.1 Localizzazione delle stazioni meteo.....	20
2.1.2 Dati mancanti.....	21
2.2 Analisi dei dati	22
2.2.1 Metodo di analisi.....	22
2.2.2 Indici e raggruppamento dei dati.....	25
3. Risultati	27
3.1 Analisi climatica delle 15 stazioni	27
3.1.1 Ciclo annuale	27
3.1.2 Stagione calda (maggio-settembre).....	30
3.2 Andamento annuale delle anomalie durante la stagione calda	31
3.2.1 Trend.....	32
3.3 Caso studio: anomalie giornaliere delle stagioni calde 1984 e 2003	35
3.3.1 Studio degli eventi di ondate di calore negli anni 1984 e 2003	39
3.4 Ondate di calore nel trentennio	41
3.4.1 Andamento del numero di eventi in relazione alla durata	42
4. Discussione	43
5. Conclusioni	46
6. Bibliografia	48
7. Appendici	50
I. Funzione firstlistread	50
II. Funzione finallist4climate	51

1. Introduzione

Lo studio del clima è motivato dalla convergenza d'interessi economici, sociali e scientifici. La conoscenza delle caratteristiche climatiche del territorio, nei suoi diversi aspetti, supporta i processi decisionali nella pianificazione di tutti i settori produttivi, per ridurre i rischi ambientali e ottimizzare i benefici economici e sociali. In particolare, per aree densamente popolate come quella mediterranea, esiste una maggiore sensibilità riguardo ai possibili rischi dovuti ai cambiamenti climatici.

Le criticità di un clima in continuo mutamento possono essere molteplici. Forse quella che a lungo termine causerebbe maggiori disagi sia economici sia sociali è rappresentata dalla disponibilità di risorse idriche. In un mondo in cui l'acqua scarseggia, si genererebbero danni alle coltivazioni e intere città sarebbero costrette alla migrazione. Le alluvioni e le frane, entrambe conseguenza di precipitazioni intense e persistenti, sono altre minacce potenzialmente incrementate dal cambio climatico. Le zone costiere, densamente popolate, possono essere soggette a variazioni nelle intensità delle perturbazioni e all'innalzamento del livello assoluto del mare.

L'estate del 2003 è stata la più calda degli ultimi 500 anni nell'area mediterranea, provocando siccità (M. Rebetz, 2006) e un aumento nel tasso di mortalità su gran parte del territorio europeo (J. M. Robine, 2008). Le ondate di calore, da quel momento, sono state considerate una minaccia degna di particolare attenzione per la salute e il benessere delle persone e per l'economia di interi stati.

Ogni anno gli eventi a scala più piccola, come grandinate, perturbazioni e trombe d'aria, si manifestano con frequenza ed intensità crescente: è importante capire come i fenomeni a larga scala possano influire sul clima locale così da poterlo comprendere meglio e poter eseguire delle previsioni. (P. Lionello, 2006)

Molto spesso, nel linguaggio comune, le parole tempo (meteorologico o atmosferico) e clima si usano come sinonimi, non distinguendo le differenze esistenti tra i due termini; pertanto è opportuno chiarirne il significato. Anche se sono tra loro collegati, in quanto gli elementi che li caratterizzano sono gli stessi, essi sono concettualmente differenti, sia per quanto riguarda il tempo cronologico entro il quale vengono analizzati, sia per il metodo di analisi che viene utilizzato.

In senso ampio, il tempo rappresenta l'insieme delle condizioni meteorologiche (temperatura, pressione e umidità atmosferica, venti, nuvolosità, precipitazioni, ecc.), che avvengono nella troposfera (strato più basso dell'atmosfera, i primi 10 km circa), in un determinato momento (che può essere di minuti, di ore o anche di uno o più giorni) e in un dato luogo (scala locale, regionale, nazionale, ecc.). In ogni caso, il tempo atmosferico è una realtà fisica direttamente osservabile e misurabile, istante per istante, che evolve con continuità in modo molto complesso, e che è certamente regolato dalle leggi della fisica (E. Rosini, 1988).

D'altro canto nel corso della storia si sono aggiunte numerose descrizioni del concetto di clima ed ognuna tende a porre l'accento su aspetti diversi a seconda del settore scientifico nella quale viene applicata (meteorologico, biologico, ecologico, agronomico, ecc.). Senza voler entrare nel merito delle singole definizioni di illustri climatologi, riportiamo solo quella dell'Organizzazione Meteorologica Mondiale (OMM/WMO): "Il clima è definito come la sintesi delle condizioni meteorologiche in una determinata area, caratterizzata da statistiche di lungo periodo (valori medi, varianza, probabilità dei valori estremi ecc.) degli elementi meteorologici in quell'area" (WMO, 1992). Questa definizione, facendo riferimento ad un periodo lungo (almeno 20-30 anni) e introducendo i concetti propri della statistica, indica che il clima non è una quantità fissa e che non è riconducibile al solo valore medio. Esso, invece, deve essere inteso come variazione a più lungo periodo dei fenomeni meteorologici e, quindi, la sua analisi deve necessariamente essere centrata sulla variabilità e sulla dispersione della serie di dati meteorologici rispetto ad un valore medio. (S. Esposito, 2015)

Oltre che nei bollettini meteo, anche nel linguaggio comune o nei media si usa spesso il concetto di "valore normale", "media climatica", "normale climatica" o semplicemente "norma" quando, ad esempio, si afferma che: "la temperatura media mensile è stata superiore al normale" oppure "la pioggia dello scorso anno è stata inferiore alla norma". Il significato di questi termini, tutti sinonimi, si può far risalire al 1935 quando l'allora Organizzazione Meteorologica Internazionale (precursore dell'attuale OMM) propose, per gli studi climatologici, il trentennio 1901-1930 come "periodo climatico normale" per valutare le caratteristiche climatiche di una località (WMO, 2012). Successivamente l'OMM ha

confermato come “norma” i valori medi di osservazioni meteorologiche (dal 1° gennaio al 31 dicembre) calcolati per un periodo uniforme e relativamente lungo di tre decenni consecutivi. A livello internazionale è importante mantenere lo stesso periodo di riferimento, affinché le informazioni sul clima siano coerenti anche oltre i confini di un singolo Paese. Attualmente, le medie dei dati climatici calcolate per i seguenti periodi consecutivi: 1° gennaio 1901-31 dicembre 1930, 1° gennaio 1931-31 dicembre 1960, 1° gennaio 1961- 31 dicembre 1990, sono chiamate “normali climatologiche” (abbreviato: Cli.No.). Nel 2011, l’OMM ha confermato l’uso del periodo 1961- 1990 come Cli.No. fino al 2021, cioè fino a quando il trentennio 1° gennaio 1991-31 dicembre 2020 diventerà il nuovo periodo di base (WMO, 2012).

Accanto al periodo standard 1961-1990, l’OMM ha ritenuto opportuno utilizzare altri periodi di riferimento (normali), aggiornati ogni 10 anni (WMO, 2007). In tal modo, il trentennio 1981-2010 rappresenta il periodo base in corso fino al 2021: in presenza di un clima che cambia, esso descrive più fedelmente il clima presente e può rappresentare meglio il clima del futuro più prossimo.

Il clima globale varia dall’inizio della storia geologica della Terra. Questo si riflette nelle oscillazioni paleoclimatiche delle ere glaciali (alternate da episodi interglaciali caratterizzati da temperature più calde). La più recente era glaciale è stata datata a tre milioni di anni fa, tuttora in corso, e, attualmente, la Terra si trova in un periodo interglaciale iniziato circa 12000 anni fa. L’alternanza ciclica di periodi glaciali e interglaciali è strettamente legata ai movimenti dell’orbita dell’asse terrestre (cicli di Milankovich) che segnano la durata dei periodi interglaciali tra i 15 e i 20 mila anni. Tuttavia l’inizio della rivoluzione industriale (circa 1850) ha influenzato notevolmente l’evolversi del clima. I livelli di anidride carbonica in atmosfera sono maggiori del 40% circa rispetto al periodo pre-industriale, (A. Kazi, 2016), dando luogo ad un aumento delle temperature nel corso degli anni successivi.

La CO₂, presente in atmosfera è un gas serra. I gas serra (come anche metano (CH₄), ozono (O₃), vapore acqueo (H₂O) ed altri) sono trasparenti alla radiazione solare in entrata sulla Terra, ma riescono a trattenere, in maniera consistente, la radiazione infrarossa emessa dalla superficie terrestre, dall’atmosfera e dalle nuvole. Questa loro proprietà causa il fenomeno noto come effetto serra. Caso particolare è l’anidride carbonica (CO₂), che pur non avendo un elevato “potenziale serra” (avendo una struttura lineare con i tre atomi in fila O-C-O che sfavorisce l’immagazzinamento e l’emissione delle onde infrarosse), è tuttavia molto più abbondante in atmosfera rispetto ad altri gas a maggior potenziale serra (CH₄) e per questo è

considerato uno dei maggiori responsabili dell'effetto serra. Questo fenomeno permette la vita sulla terra intrappolando il calore che tenderebbe spontaneamente a dissolversi nello spazio. Ma se il bilancio radiativo terrestre in entrata e in uscita non si eguaglia, la temperatura atmosferica aumenta. La concentrazione in atmosfera della CO₂ è regolata naturalmente (attività biologica e solubilità negli oceani) ma le emissioni legate all'attività umana (utilizzo di energia fossile, deforestazione) disequilibrano l'intero sistema (C.D. Keeling, 1978).

1.1 Cenni sul clima italiano

Poiché fortemente condizionati dagli andamenti meteorologici, l'agricoltura, il turismo, i trasporti e molteplici altri settori devono essere strutturati in relazione alle condizioni climatiche in un contesto regionale come l'Italia. La produzione di energia (idroelettrica, eolica e solare), la realizzazione di infrastrutture, la progettazione in edilizia e la stessa ricerca scientifica non possono prescindere dalla conoscenza degli elementi climatici. La gestione complessiva delle risorse del territorio (anche al fine di prevenzione e difesa), il monitoraggio degli ecosistemi e la stessa salvaguardia della sicurezza e della salute umana possono essere meglio pianificati se sono note le caratteristiche del clima, specialmente per quanto riguarda i fenomeni estremi quali, ad esempio, le piogge alluvionali, la siccità prolungata, le ondate di calore o di freddo. Il grafico in Figura 1 mostra un significativo aumento delle temperature medie a livello globale e locale, con un trend generalmente simile a quello osservato sulla regione italiana.

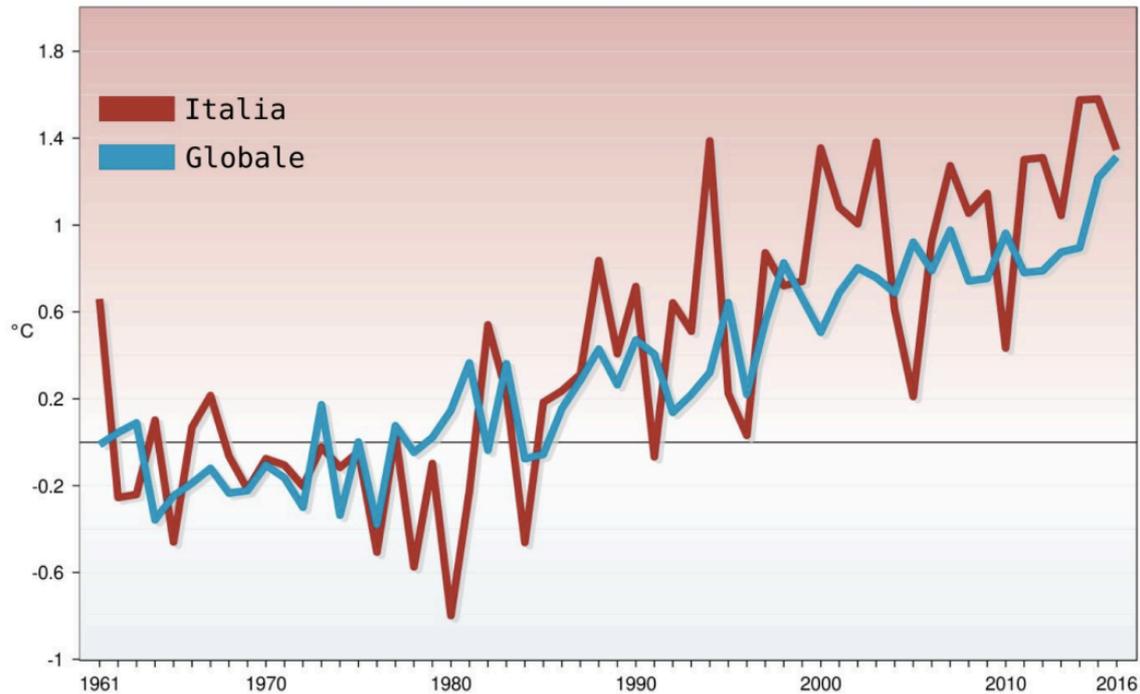


Figura 1: Anomalie della temperatura media globale (Fonte: NCDC/NOAA) e in Italia rispetto ai valori Cli.No. 1961-1990 (Fonte: ISPRA-Area Climatologia Operativa)

È documentato che nel ventesimo secolo il clima italiano è stato contraddistinto da un aumento delle temperature medie senza precedenti ed una tendenza ad un clima più secco (M. Brunetti L. B., 2004). Dagli anni '80 si è osservata una correlazione negativa tra l'aumento di temperatura e le precipitazioni (M. Brunetti M. M., 2000). Studi osservano che durante il periodo 1865-1996 le temperature massime (Tmax) e minime (Tmin) sia annuali che stagionali soprattutto per l'Italia centrale e meridionale mostrano un trend significativamente positivo. (M. Brunetti L. B., 2000)

Con i recenti dati, si è ipotizzato statisticamente che i cambiamenti climatici saranno accompagnati da episodi di eventi estremi (D.R. Easterling, 2000). Ad esempio si sta già manifestando un aumento delle ondate di calore sul territorio nazionale dal 1961: in particolare, come anticipato, l'anno 2003 è stato soggetto ad un'anomalia molto pronunciata, e dall'inizio degli anni 90 si è registrato un numero di giorni con ondate di calore superiore alla media (Fig. 2).

Ci sono quindi evidenze di un aumento di eventi estremi ambientali non solo a livello globale ma anche nella nostra penisola; pertanto, è importante che si approfondiscano gli studi sull'evoluzione del clima italiano al fine di poter essere maggiormente preparati a eventuali adattamenti.

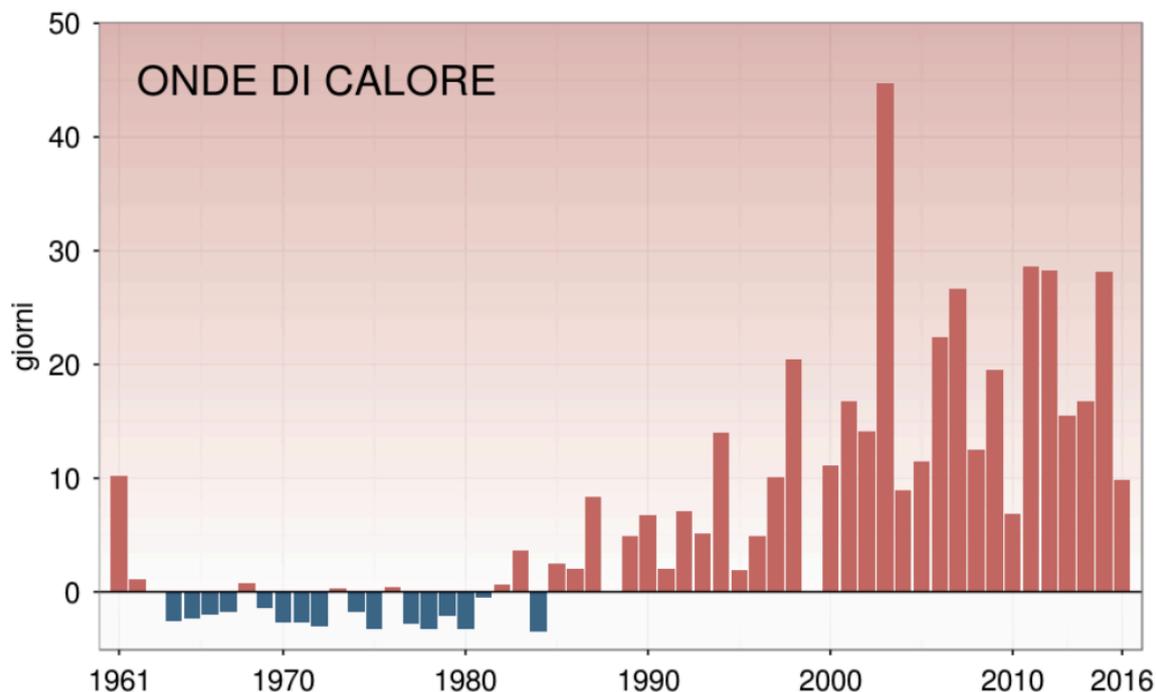


Figura 2: Anomalie medie annuali del numero di giorni con ondate di calore (WSDI) in Italia rispetto al valore Cli.No 1961-1990 (Fonte: ISPRA-Area Climatologia Operativa)

1.1.1 Il clima in Italia nel trentennio 1981-2010

In generale si osserva nel trentennio 1981-2010 che la temperatura media annua italiana decresce all'aumentare della latitudine mentre le precipitazioni aumentano, inoltre si ha una maggiore escursione termica giornaliera (mediata stagionalmente) nella zona di Centro Italia (M. Brunetti M. M., 2000) e (S. Esposito, 2015).

Osservando esclusivamente le temperature medie, sono state riscontrate numerose anomalie (Fig. 2). Questi andamenti si riflettono nel calcolo delle temperature massime annuali. Nel trentennio in questione sono degni di attenzione gli anni 1984 e 2003 in quanto rispettivamente il più freddo e il più caldo della serie. Questi due anni sono riportati a confronto in Figura 3, dove si può osservare la distribuzione delle temperature massime annuali sulla penisola.

Il territorio italiano negli studi climatologici è generalmente diviso in almeno 3 macrozone: Nord, Centro e Sud. All'interno delle suddette macrozone, gli eventi meteorologici presentano un comportamento e uno sviluppo che dipendono da fattori caratterizzanti il luogo (dal rilievo orografico, dalla distanza dal mare o grandi bacini idrici e dalla copertura del suolo). Questi fattori determinano variazioni locali di tipo sistematico del segnale climatico e sono elaborati dalle reti di osservazione meteorologiche, portando ad ulteriori zonazioni climatiche osservabili alle differenti scale spaziali.

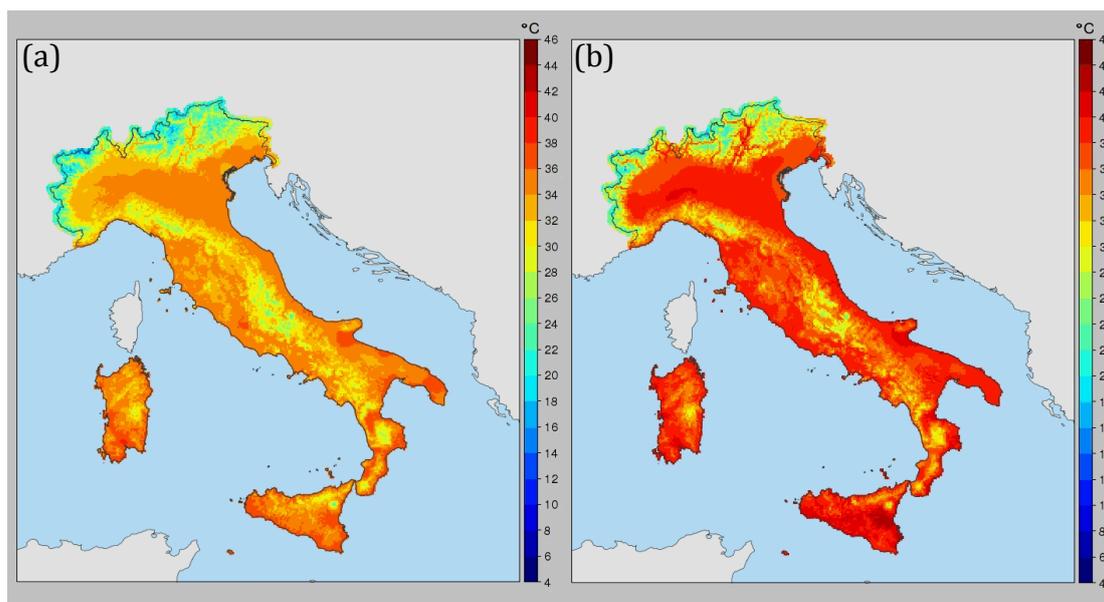


Figura 3: Distribuzione delle temperature massime annuali in Italia nel 1984 (a) e nel 2003 (b)

(Fonte: ISPRA Ambiente)

Si è inoltre osservato che, nelle aree urbane, le temperature dei siti cittadini sono in prevalenza più elevate dei corrispondenti siti extra-urbani. In generale, le differenze maggiori tra siti urbani e siti extra-urbani si hanno per le temperature minime (ad eccezione di città costiere). Tuttavia, si registrano valori più simili per le massime evidenziando una tendenza delle città a mantenersi calde nelle ore serali e notturne, mentre nei siti extra-urbani la temperatura diminuisce più marcatamente (Legambiente, 2007). Quando un'area urbana risulta sufficientemente estesa, e particolarmente in condizioni di tempo stabile (ventilazione debole e nuvolosità scarsa), tende a crearsi la cosiddetta "isola di calore", una vera e propria bolla d'aria calda che sovrasta la città. In prossimità della superficie si manifesta con una forte differenza tra la temperatura dell'aria della parte centrale della città e quella delle zone rurali circostanti (Legambiente, 2007). Le caratteristiche del fenomeno dipendono dal tipo di urbanizzazione (maggiore o minore presenza di aree verdi, tipi di pavimentazione stradale, diverse coperture degli edifici, ecc.). Quando invece il tempo è perturbato, la ventilazione, la

ridotta o assente insolazione o, in certa misura, le precipitazioni, rendono più uniforme il campo termico, per cui l'isola di calore tende a distruggersi (Legambiente, 2007).

1.1.2 La stagione calda nel trentennio 1981-2010

Per quanto riguarda la stagione calda nel trentennio 1981-2010, è stato osservato che l'andamento delle temperature medie estive riflette quello delle massime annuali (F. Desiato et al., 2017). La stagione calda dell'anno 1984 è stata quella più fredda del periodo 1981-2010 mentre nel 2003 le temperature erano molto più alte rispetto al valore Cli.No. 1961-1990. Nel grafico in Figura 4 si può infatti notare con chiarezza l'anomalia fredda di circa $-0,5^{\circ}\text{C}$ per il 1984 e il picco di 4°C superiore al valore di riferimento per l'estate 2003 (Desiato et al., 2017).

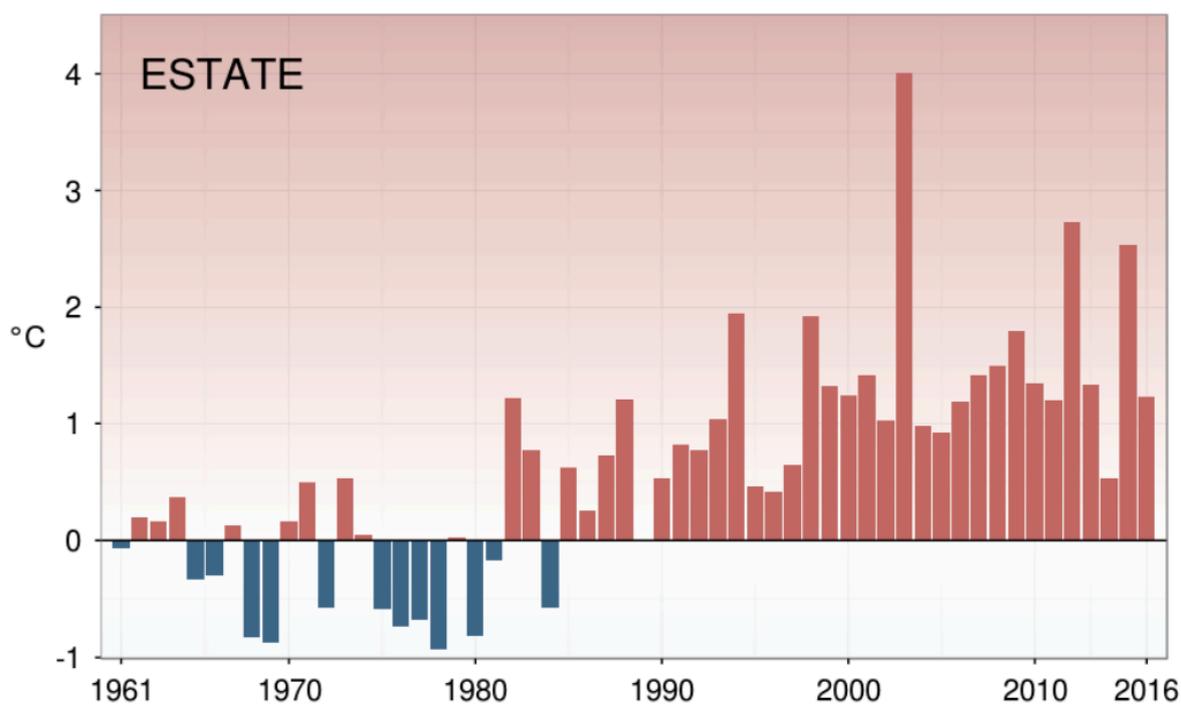


Figura 4: Anomalie della temperatura media estive in Italia rispetto al valore Cli.No. 1961-1990 (Fonte: ISPRA-Area Climatologia Operativa)

1.1.3 Metodi di misura

La strumentazione utilizzata per la misura delle diverse grandezze climatiche ha subito, nel corso degli anni, una spiccata evoluzione tecnologica che ha consentito di migliorare la precisione della misura e ha reso più tempestiva e veloce la raccolta e l'immagazzinamento dei dati.

Come generalmente avviene per gli studi climatici, il dato di partenza è di tipo puntuale e proviene da stazioni meteorologiche più o meno omogeneamente distribuite sul territorio di analisi, spesso appartenenti a più reti di rilevamento, in grado di assicurare una idonea serie storica.

Esistono enti e diverse reti costituite da punti di monitoraggio sia pubbliche sia private che in Italia hanno distribuito numerosi sistemi di monitoraggio meteorologico.

L'Organizzazione Meteorologica Mondiale ha definito degli standard sull'installazione, il posizionamento e sui metodi di acquisizione dati per assicurare la miglior rilevazione dei parametri meteorologici. (World Meteorological Organization, WMO, 2014)

La rete di Stazioni d'osservazione del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare gestisce un complesso sistema di osservazione, costituito da:

- stazioni di superficie presidiate;
- stazioni di superficie automatiche;
- stazioni per la rilevazione dei parametri atmosferici in quota.

Il presente studio si concentrerà esclusivamente sulle stazioni di superficie.

Le osservazioni meteo per l'aviazione utilizzano uno specifico codice conosciuto con la sigla METAR (METeorological Aerodrome Report, ossia "rapporto di routine delle condizioni meteo per aviazione"). Inoltre esiste quello per lo studio della condizione atmosferica su più vasta scala e si definisce come SYNOP (Surface synoptic observations, ossia "osservazioni sinottiche di superficie"). Con un linguaggio stringato ed essenziale vengono registrati i seguenti parametri meteorologici (valori misurati ad un tempo fissato di osservazione):

- vento (in direzione ed intensità);
- visibilità orizzontale;
- portata visuale di pista; (la distanza in metri alla quale il pilota di un velivolo può vedere la pista -solo per le stazioni METAR-)
- fenomeni in atto;
- nuvolosità;

- temperatura dell'aria;
- temperatura di rugiada (utile per ricavare l'umidità relativa);
- valore di pressione ridotto in atmosfera standard al livello del mare.

L'aggiornamento di queste informazioni è di norma (quasi) in tempo reale, intorno alle ore intere o ai 20 e ai 50 minuti di ciascuna ora, per gli aeroporti per i quali è previsto un rilevamento semi-orario su base H24 oppure ad orario alba-tramonto (Aeronautica Militare, 2015). Questi rapporti consistono in gruppi di numeri e barre, attraverso cui si descrive lo stato del tempo rilevato dalla stazione.

I messaggi METAR¹ si distinguono da quelli SYNOP² poiché i primi sono costituiti da un codice alfanumerico mentre i secondi solamente da numeri. Si riporta a scopo esplicativo una stringa di entrambe le tipologie:

```
METAR:  LIML 100850Z 11006KT 4000 BR FEW030 SCT065 SCT250 23/14 Q1013
SYNOP:  AAXX  13064   41312   32559   21107   10275   20219   40105   82400
          333     20260   59006   82625
```

1.2 Obiettivi

Il principale obiettivo di questo lavoro è di osservare un particolare aspetto della naturale variabilità del clima italiano ponendo particolare interesse al periodo che va dal 1 maggio al 30 settembre (stagione calda) durante il trentennio 1981-2010. In particolare si utilizzerà come indice di studio la temperatura media delle ore calde (comprese tra le ore 12:00 e 18:00) che denoteremo come *TOC*.

Si studieranno inoltre i trend delle temperature sul territorio nazionale rispetto alle 4 macro-aree climatiche (Nord, Centro, Sud e Alta Quota).

Un'applicazione interessante per questo lavoro può essere quella di fornire un supporto nella pianificazione e nella programmazione a medio e lungo termine nel settore agricolo e negli altri reparti produttivi.

¹ <http://weather.unisys.com/wxp/Appendices/Formats/METAR.html>

² <http://weather.unisys.com/wxp/Appendices/Formats/SYNOP.html>

2. Dati e metodologia

In questo studio è stata eseguita un'analisi dei dati provenienti da stazioni meteorologiche dell'Aeronautica Militare, dislocate uniformemente sul territorio italiano.

L'analisi è stata strutturata in vari passaggi: inizialmente si è svolta un'osservazione del clima a livello generale sull'intero territorio italiano, in seguito ci si è concentrati sulla stagione estiva ed in particolare sulle ore più calde della giornata, infine si è ristretta l'indagine in macrozona, raggruppando i dati per area a profilo climatico simile. Inoltre, mantenendo la suddivisione territoriale, un focus specifico è stato dedicato a momenti storici di particolare interesse climatico, il 1984 e il 2003 come descritto nel capitolo precedente.

2.1 Stazioni Synop e Metar

Le stazioni meteorologiche dalle quali provengono i dati analizzati sono 5 stazioni METAR e 10 stazioni SYNOP del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare. Queste tipologie di stazioni sono collocate sulla superficie terrestre e dalla loro posizione inviano i dati raccolti alla sede centrale di riferimento (ad esempio il CNMCA³). Ogni stazione è geolocalizzata attraverso i valori di latitudine, longitudine e quota ed è denominata con un codice univoco.

Le stazioni METAR sono situate all'interno o nelle vicinanze degli aeroporti ed i dati che esse inviano vengono utilizzati principalmente per lo svolgimento delle pratiche quotidiane di regolazione, monitoraggio e comunicazione aeroportuali (Aeronautica Militare, 2015). Per questo loro uso tecnico è necessario che la loro acquisizione dati sia precisa e molto frequente. Infatti, l'orario di emissione dei bollettini METAR può essere "orario" o "semiorario", in base al tipo di traffico che sostiene l'aeroporto.

³ Centro Nazionale di Climatologia e Meteorologia Aeronautica.

Tabella 1: Dati di riferimento alle stazioni meteorologiche

LATITUDINE [°]	LONGITUDINE [°]	QUOTA [m]	LUOGO	STAZIONE	NUM.
46.83	10.60	1461	PASSO RESIA	synop 16008	1
45.57	11.53	38	VICENZA	metar LIPT	2
45.2	7.65	302	TORINO CASELLE	metar LIMF	3
44.53	11.29	38	BOLOGNA	metar LIPE	4
44.42	8.92	44	GENOVA SESTRI	synop 16120	5
43.62	13.36	12	FALCONARA	synop 16191	6
43.10	12.51	208	PERUGIA	metar LIRZ	7
41.81	12.25	5	ROMA FIUMICINO	synop 16242	8
41.63	13.28	193	FROSINONE	metar LIRH	9
41.13	16.90	10	BARI PALESE	synop 16270	10
41.05	15.23	1085	TREVICO	synop 16263	11
40.65	17.95	14.5	BRINDISI	synop 16310	12
40.02	15.28	184	CAPO PALINURO	synop 16320	13
39.35	8.97	29	DECIMOMANNU	synop 16546	14
38.18	13.10	20	PALERMO PUNTA RAISI	synop 16405	15

Le stazioni SYNOP, a differenza delle precedenti, sono state posizionate con lo scopo di raccogliere dati per ragioni di monitoraggio e previsione meteorologica. Sono fittamente localizzate per coprire tutta l'area permettendo una visione ampia e dettagliata del meteo nazionale. Pur essendo numerose, non raccolgono i dati a cadenza semioraria: i rapporti SYNOP, in conformità al loro scopo, sono inviati con frequenza di una, tre o sei ore.

In Tabella 1 sono raccolti i dati, rilasciati attraverso il portale dell'Aeronautica Militare (www.meteoam.it) a seguito di una richiesta per uso scientifico, relativi alle 15 stazioni che hanno misurato i valori di temperatura dall'anno 1981 al 2010.

2.1.1 Localizzazione delle stazioni meteo

È importante per uno studio efficace e preciso sull'andamento del clima che le sorgenti dei dati siano distribuite uniformemente sul territorio e cioè che siano situate in modo da coprire il più possibile l'area in esame. In particolare, a causa della rapida diversificazione climatica, anche a distanza di pochi chilometri sarebbe opportuno utilizzare il maggior numero possibile di postazioni di misurazione.

Come si può notare nella Figura 5 le 15 stazioni in esame sono dislocate uniformemente sul territorio italiano. Sono ripartite sia sulla costa sia nell'entroterra, a quota variabile (vedi Tabella 1). In Figura 5 è stata assegnata ad ogni stazione meteo un'etichetta numerica corrispondente a quella utilizzata in Tabella 1.

Nel capitolo di analisi dati verrà chiarita la suddivisione di queste stazioni nelle macrozone.

2.1.2 Dati mancanti

A causa della differenza di acquisizione tra i due tipi di stazioni, al fine di ottenere una sequenza di dati uniforme sono stati necessari un controllo e l'esclusione di alcuni dei valori.

Nelle stazioni METAR sono stati filtrati i dati escludendo i valori acquisiti al trentesimo minuto di ogni ora, poiché, per ragioni metodologiche e statistiche, è necessario che tutti i dati di temperatura acquisiti si riferiscano allo stesso orario (le stazioni SYNOP hanno frequenza trioraria).

Successivamente, al fine di focalizzare le osservazioni climatiche sulle temperature delle ore più calde della giornata (durante il periodo estivo), si sono considerate solo le acquisizioni comprese nella fascia oraria 12:00-18:00⁴.

A questo punto, ad ogni stazione erano attribuiti dei dati relativi agli stessi orari per ogni giorno del trentennio 1981-2010. Questo è valido a meno di eventuali mancanze o errori nell'acquisizione della singola stazione. Infatti, è possibile che si manifestino dei guasti o che la stazione sia momentaneamente scollegata per manutenzione. Inoltre è possibile che una misurazione non vada a buon fine per la difficoltà nel rilevare il dato⁵.

Dai dati si nota che nei primi anni l'acquisizione è meno regolare, in quanto inizialmente le stazioni meteo non erano sempre attive soprattutto la notte, quando l'interesse nella rilevazione era minore. Con l'avanzare degli anni, grazie allo sviluppo tecnologico nel settore e con il prolungarsi delle attività socio-economiche durante tutte le 24 ore della giornata, le pratiche di rilevazione si sono fatte più accurate.

Attualmente, queste stazioni sono sempre più monitorate e alcune sono spesso presidiate da personale tecnico che è pronto a rimediare ad eventuali anomalie riscontrate.

Inoltre, per quanto riguarda il trentennio in studio, complessivamente non ci sono stati degli intervalli di dati mancanti che hanno ostacolato il compimento di un'analisi affidabile, specialmente nella fascia oraria di interesse (12:00-18:00).



Figura 5: Localizzazione delle stazioni meteorologiche

⁴ Per avere una sequenza uniforme di dati provenienti da tutte le 15 stazioni si è deciso di scegliere una frequenza di acquisizione trioraria: 12:00, 15:00, 18:00.

⁵ Valore registrato: "n.d." (cioè *not determined*) al posto del valore di temperatura misurato.

2.2 Analisi dei dati

Per tracciare i grafici che mostrano l'andamento del clima delle 15 stazioni sono state utilizzate diverse funzioni matematiche e statistiche.

I valori di temperatura a disposizione sono espressi in gradi Celsius e sono associati ad una data e ad una ora di emissione. L'ora di emissione è in formato standard UTC⁶ e di seguito è riportata la citazione della legenda presente nei file contenenti i dati.

Le ore indicate sono riferite al tempo medio di Greenwich (U.T.C.). Criteri di conversione:
 Ora U.T.C. + 1 = Tempo medio Europa Centrale
 Ora U.T.C. + 2 = Ora legale italiana

2.2.1 Metodo di analisi

Con lo scopo di evidenziare le tendenze in atto nel clima sul territorio nazionale e di tracciare un quadro generale della loro distribuzione spaziale e/o temporale si è deciso di incentrare l'attenzione e utilizzare come indice l'andamento della Temperatura media nelle Ore Calde della giornata (*TOC*).

Il primo filtraggio dei dati avviene calcolando la media aritmetica delle sole temperature emesse alle ore 12:00, 15:00 e 18:00 per ogni giorno, durante il trentennio.

$$TOC_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_{x,i} \quad [\text{Eq. 1}]$$

TOC_x è la temperatura media delle ore calde nel giorno x (dove $01/01/1981 < x < 31/12/2010$), $T_{x,i}$ è la temperatura i -esima acquisita dalla stazione nelle ore 12:00, 15:00 e 18:00 riferita al giorno x , ed $1 < n < 3$ è il numero delle temperature giornaliere emesse durante le ore calde. In Appendice I è riportato il software Python⁷ sviluppato per determinare le temperature *TOC*.

In questo modo, ad ogni giorno di rilevazione è associata una temperatura *TOC* rappresentabile in un grafico (Fig.6.a) che mostra la periodicità stagionale (il susseguirsi tra estate ed inverno nel corso degli anni). Per eliminare il rumore, dovuto all'alta variabilità di temperatura tra giorni consecutivi, e non significativo per eseguire delle analisi climatiche, è

⁶ Universal Time Coordinated.

⁷ Tipo di linguaggio di programmazione.

stata utilizzata la tecnica della media mobile. In statistica, questo metodo, è utilizzato per l'analisi di serie storiche. Nello specifico, essa è definita come la media aritmetica (può anche essere ponderata) di un determinato periodo di valori nella serie. In questo lavoro il periodo su cui effettuare questo calcolo è di 33 giorni; ad esempio, per la media mobile della *TOC* del 01/08 verranno considerate nel calcolo i valori di *TOC* dal 16/07 al 17/08 corrispondenti a 16 giorni prima e 16 giorni dopo il giorno in esame, più il giorno stesso. Se si fosse interessati a valutare la variazione interannuale e pluridecennale su un intervallo di tempo più lungo (150 anni o più), l'analisi potrebbe essere eseguita con una media mobile su un periodo di un anno intero oppure di 5 anni. Questo metodo permette di includere in un valore, specifico di un determinato momento, l'influenza di eventi appena passati e futuri. Si dice perequazione statistica ed indica un'operazione di *smoothing* o lisciamiento dei dati, cioè una correzione della distribuzione per appiattare i picchi.

In questo modo, si è potuto determinarne il movimento tendenziale (una trend line) della serie storica con:

$$MM_x = \frac{1}{k} \sum_{i=-m_1}^{m_2} TOC_{x+i} \quad [Eq. 2]$$

L'[Eq. 2] esprime la funzione per determinare la media mobile al giorno x (MM_x): m_1 è il numero di giorni precedenti a x , m_2 è il numero di giorni successivi a x (nel caso in esame sia m_1 che m_2 valgono 16), e $k = m_1 + m_2 + 1$ è il periodo o l'ordine della media mobile, ed equivale al numero degli addendi (quindi $k = 33$). Gli addendi corrispondono ai valori di *TOC* al giorno $x + i$ calcolati con l'[Eq. 1].

Una volta filtrati e revisionati i dati, abbiamo proceduto con l'analisi vera e propria.

Per ottenere la linea che includa le informazioni della serie temporale di tutto il trentennio in questione, che si chiamerà climatologica, bisogna calcolare per gli stessi giorni dell'anno un'ulteriore media aritmetica dei valori $MM_{x-esimi}$ per tutti i trent'anni di studio (per esempio tutti i 01/08 del trentennio). Inoltre viene calcolata la deviazione standard, σ_{C_x} , per ottenere il range di incertezza associato ad ogni valore medio (C_x : clima al giorno x). In Appendice II viene riportato il codice sviluppato per la determinazione della climatologia.

$$C_x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N MM_{x,i}, \sigma_{C_x} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (MM_{x,i} - C_x)^2}{N - 1}} \quad [Eq. 3]$$

dove $1 < N < 30$ ed indica il numero di anni presi in considerazione per il calcolo del clima. Il risultato di un'analisi statistica è sempre affetto da un errore. La sua ampiezza (lo

scostamento tra il dato calcolato e il dato reale) non è la stessa in tutti i siti o nei differenti intervalli temporali ma è tanto maggiore quanto maggiore è la variabilità meteorologica (Fig. 7) (S. Esposito, 2015).

Determinata la climatologia, si possono elaborare molteplici riflessioni e considerazioni tecniche in relazione ad anni specifici o aree geografiche ristrette.

Se ad esempio si prendono in considerazione una o più stazioni meteorologiche ravvicinate, e si osserva l'andamento delle serie temporali dei valori $MM_{x-esimi}$ (30 serie annuali dal 1981 al 2010), è possibile osservare come la temperatura varia annualmente rispetto all'andamento del clima in quell'area territoriale (Fig. 8a, 8b, 8c, 8d).

Per osservare con maggior chiarezza possibili anomalie, queste analisi sono state eseguite nel periodo tra il primo maggio e il 30 settembre, di modo da poter osservare con più attenzione non solo l'andamento delle temperature delle ore più calde della giornata ma anche durante il periodo più caldo dell'anno.

Di seguito [Eq.4] viene presentata l'equazione della media stagionale, M_s , dove N rappresenta il numero di giorni dal 1 Maggio al 30 Settembre.

$$M_s = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N C_{x,i} \quad [Eq. 4]$$

La media stagionale è un valore medio di temperatura calcolato per tutto il trentennio, attribuito ad una o più stazioni meteo. Questo valore viene preso di riferimento per osservare lo scostamento delle temperature giornaliere TOC , ossia la differenza del valore osservato da quello considerato normale climatica del trentennio, ed è definito come anomalia.

$$A_{x,y} = (TOC_{x,y} - C_x) + M_s \quad [Eq. 5]$$

L'equazione [Eq.5] mostra come calcolare l'anomalia, $A_{x,y}$, riferita al giorno x dell'anno y (con $1981 < y < 2010$). Come descritto si tratta di un valore di temperatura che indica di quanti gradi °C la $TOC_{x,y}$ (al giorno x dell'anno y) differisce dal clima, C_x , calcolato per lo stesso giorno. Viene quindi espressa come quantità di discostamento dalla "norma" (la media stagionale M_s).

Calcolando per una determinata area la temperatura media della stagione calda per ogni anno, (calcolata sulle serie annuali $MM_{x-esimi}$) si può ottenere un trend annuale delle temperature (Fig. 9a, 9b, 9c e 9d). Questo grafico mostrerà se esiste una crescita o decrescita delle temperature TOC durante il trentennio.

Per quantificare l'anomalia delle temperature *TOC* giornaliere per un determinato anno rispetto alla media stagionale calcolata con l'[Eq 3], si è concentrata l'analisi sugli anni 1984 e 2003, gli anni rispettivamente più freddo e più caldo del trentennio in esame.

Inoltre sono state analizzate le ondate di calore del 2003, cioè sono stati determinati i periodi superiori a tre giorni dove la *TOC* è maggiore della media stagionale di una quantità pari ad una deviazione standard. Per eseguire questa indagine è stata calcolata la deviazione standard per la media stagionale riferita al clima, per ogni regione geografica determinata [Eq. 6].

$$\sigma_{Ms} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (C_{x,i} - Ms)^2}{N - 1}} \quad [Eq. 6]$$

2.2.2 Indici e raggruppamento dei dati

È opportuno dare spazio ad un approfondimento circa la scelta dell'indice *TOC* studiato in questo lavoro. Come si è precisato più volte questo indice rappresenta la temperatura media delle ore calde della giornata. In particolare l'analisi si è voluta concentrare nel periodo più caldo dell'anno compreso tra il primo maggio e il 30 settembre. Questa "stagione calda" è anche associata alla stagione di crescita e sviluppo della vegetazione. Se le temperature massime e quindi anche le temperature medie giornaliere nelle ore più calde della giornata (*TOC*) aumentano, maggiore sarà lo stress subito dalle piante proprio nel periodo annuale dello sviluppo (Shushi Peng, 2013). Il ciclo vitale biologico è intervallato da periodi di quiescenza, quando le temperature si fanno più rigide e la disponibilità di risorse scarseggia, e fasi di sviluppo vegetativo, fioritura, germinazione, quando le ore di luce solare e i nutrienti nel suolo aumentano. Però questo ciclo è in primo luogo estremamente sensibile alla disponibilità di acqua ed alla temperatura dell'ambiente esterno. Infatti, la mancanza della prima e l'aumento eccessivo della seconda, porterebbero molto probabilmente a favorire la desertificazione piuttosto che una foresta rigogliosa o un raccolto abbondante. Per questo, i fattori climatici che contraddistinguono le varie zone corrispondenti alle diverse latitudini sono decisivi nella caratterizzazione dei paesaggi naturali.

In particolare, nell'emisfero nord, la variazione della temperatura gioca un ruolo fondamentale poiché è il fattore climatico di maggiore rilevanza nell'equilibrio fra ciclo biologico e ciclo stagionale. Ad alte latitudini, se questa aumentasse, a causa del cambio climatico, provocherebbe un'espansione del periodo vegetativo della pianta e il rinvigorismento delle aree coperte di vegetazione. Si verrebbero a sostituire foreste decidue,

tipiche di climi temperati, con conifere e steppe boreali. Dal punto di vista agroalimentare invece si favorirebbero le condizioni per raccolti più ricchi e diversificati. Allo stesso tempo, a causa della scarsa umidità nel suolo, a medie e basse latitudini (Sud Italia, Mediterraneo meridionale, Nord Africa), aumenterebbe la desertificazione coinvolgendo sia zone rurali che naturali. (A. Anav, 2011)

Di seguito viene approfondita la suddivisione geografica del territorio nelle 4 macrozone. I dati provenienti da più stazioni meteorologiche ma dislocate in regioni climatiche approssimativamente affini, vengono raggruppati per studiare l'andamento di temperatura su scala più vasta. In questo caso, si riporta in Tabella 2 la suddivisione scelta.

In aggiunta alle tre macrozone più conosciute Nord, Centro e Sud, si è deciso di separare le due stazioni situate in alta quota in quanto i valori da esse misurate a causa della loro posizione si discostano visibilmente dalle stazioni a latitudini simili.

Tabella 2: Raggruppamento dati per regioni climatiche affini

LATITUDINE [°]	QUOTA [m]	LUOGO	STAZIONE	NUM.	REGIONE
45.57	38	VICENZA	metar LIPT	2	Nord
45.20	302	TORINO CASELLE	metar LIMF	3	
44.53	38	BOLOGNA	metar LIPE	4	
44.42	44	GENOVA SESTRI	synop 16120	5	
43.62	12	FALCONARA	synop 16191	6	Centro
43.10	208	PERUGIA	metar LIRZ	7	
41.81	5	ROMA FIUMICINO	synop 16242	8	
41.63	193	FROSINONE	metar LIRH	9	
41.13	10	BARI PALESE	synop 16270	10	Sud
40.65	14.5	BRINDISI	synop 16310	12	
40.02	184	CAPO PALINURO	synop 16320	13	
39.35	29	DECIMOMANNU	synop 16546	14	
38.18	20	PALERMO PUNTA RAISI	synop 16405	15	
46.83	1461	PASSO RESIA	synop 16008	1	Alta Quota
41.05	1085	TREVICO	synop 16263	11	

3. Risultati

I grafici ottenuti attraverso quest'analisi mostrano con chiarezza le differenze climatiche sia spaziali sia temporali.

Spostandosi da Nord a Sud della penisola si osserva una progressiva tendenza ad un aumento delle temperature. Inoltre durante gli anni esaminati i risultati mostrano un trend che indirizza verso il riscaldamento climatico.

3.1 Analisi climatica delle 15 stazioni

Allo scopo di ottenere un quadro generale è interessante mettere a confronto tutte le stazioni per osservarne le caratteristiche climatiche che dipendono esclusivamente dalla loro ubicazione sul territorio.

3.1.1 Ciclo annuale

Il ciclo annuale è caratterizzato dal riscaldamento e il raffreddamento della superficie terrestre dovuto al susseguirsi delle stagioni. Questo andamento non è uguale in tutti i luoghi della terra: se si fa riferimento ad una zona costiera essa sarà sottoposta ad un'influenza climatica distinta rispetto ad una zona di alta montagna.

Nella Figura 6, sono mostrati i cicli stagionali delle quindici stazioni: il grafico di Figura 6.a mostra i valori medi giornalieri di *TOC* per il trentennio di riferimento, denotati come "clima grezzo", in Figura 6.b sono riportati gli stessi dati, trattati con la tecnica della media mobile per il periodo di 33 giorni.

La scala di colori utilizzata offre una panoramica generale del cambiamento delle condizioni climatiche da Nord (rosso) a Sud (rosa).

Nella Figura 6.a si può osservare l'andamento delle *TOC* nel corso dell'anno: il grafico rappresenta l'alta variabilità delle temperature tra giorni adiacenti. Nonostante i dati siano stati mediati sui trent'anni, e quindi si siano rimossi gli effetti dovuti a condizioni meteo passeggere (come i temporali estivi che abbassano la temperatura anche di molti gradi in poche ore), si può notare una variabilità delle *TOC* di 2 o 3 °C (che caratterizza il rumore della linea).

Nella Figura 6.b, in tutte le 15 serie annuali, si osserva un picco negativo corrispondente al giorno 29 febbraio: esso è dovuto al fatto che, casualmente, le settimane attorno alla fine di febbraio durante gli anni bisestili del trentennio (1984, 1988, 1992, 1996, 2000, 2004, 2008) sono state caratterizzate da temperature più fredde rispetto ad una media complessiva su tutti i 30 anni, invece rappresentata per tutti gli altri giorni della serie.

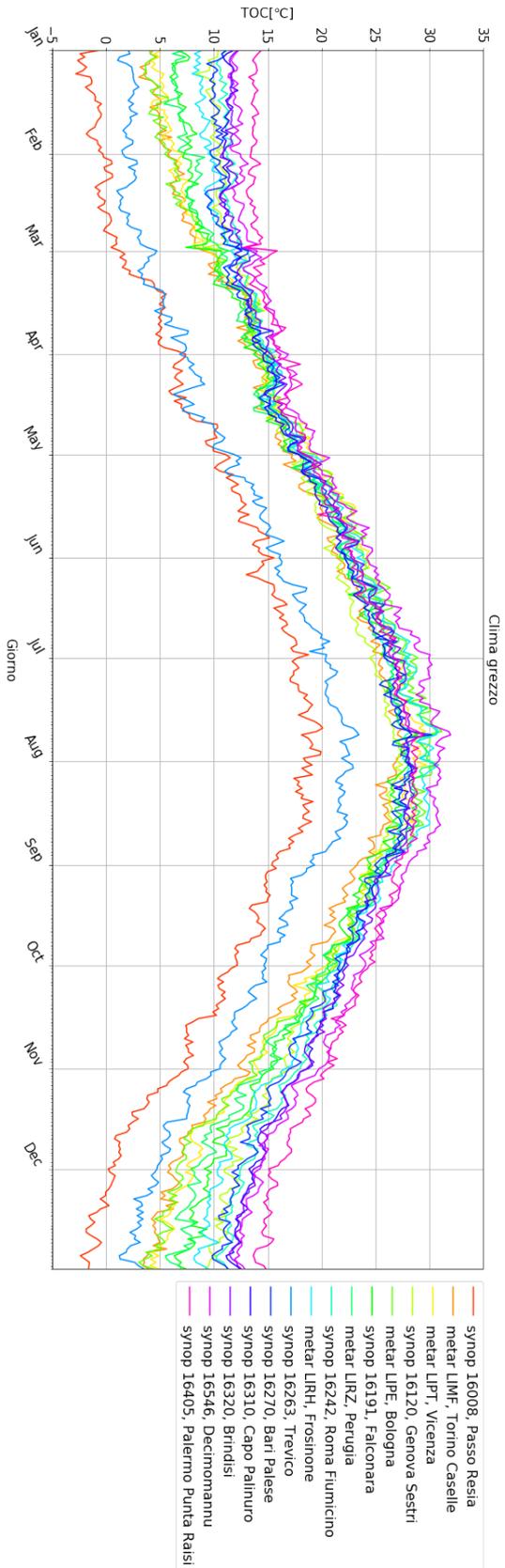


Figura 6.a: Andamento giornaliero del clima grezzo delle 15 stazioni

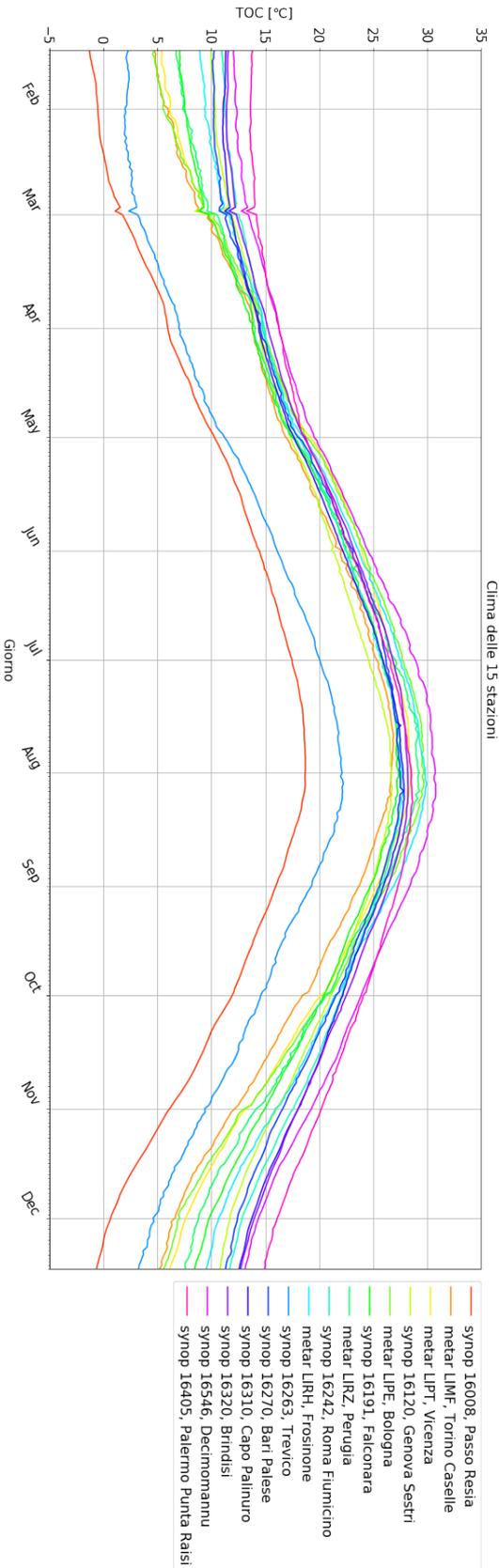


Figura 6.b: Andamento giornaliero del clima delle 15 stazioni

3.1.2 Stagione calda (maggio-settembre)

Nella Figura 7 è mostrata nel dettaglio (rispetto alla Figura 6.b) la condizione climatica nazionale sul periodo più caldo dell'anno, compreso tra il primo maggio e il 30 settembre, riferita al trentennio 1981-2010. Le fasce rispettive ad ogni serie temporale corrispondono ad un intervallo d'errore di una deviazione standard [Eq. 3].

Anche in questo caso la scelta di colori sfuma dal viola al giallo per permettere una visione della distribuzione delle stazioni (dalla più alta alla più bassa latitudine).

In modo particolare si osserva che l'andamento della climatologia per la stazione di Punta Raisi (linea gialla) presenta una media *TOC* durante la stagione calda inferiore a molte località del nord, nonostante sia la stazione più meridionale della serie. Per ciò che riguarda il periodo maggio-settembre non ci sono quindi forti differenze tra nord, centro e sud. È evidente che però i massimi di temperatura delle stazioni sul mare (ad esempio Genova e Punta Raisi) sono ritardati e la curva è più piatta. Per quanto riguarda invece le stazioni di montagna, l'andamento delle *TOC* si allontana molto dagli altri in quanto le temperature sono inferiori di una decina di gradi rispetto alle altre stazioni.

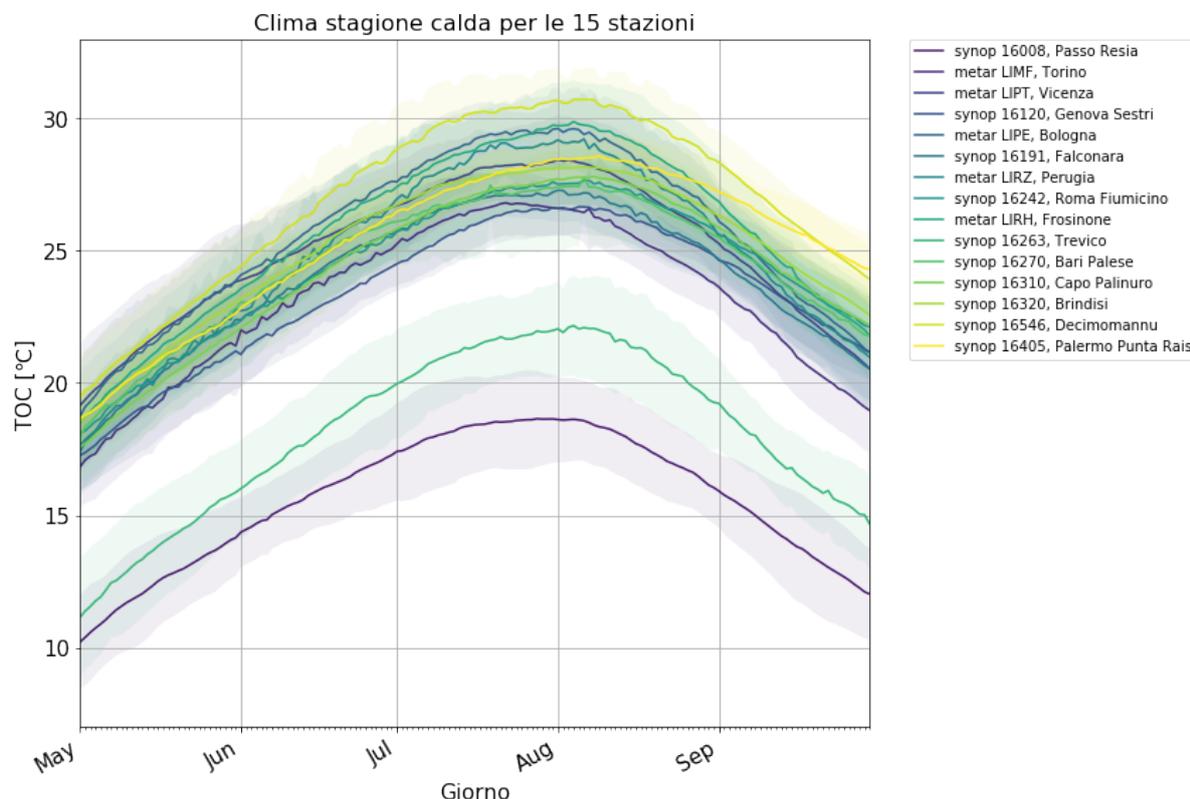


Figura 7: Clima della stagione calda per le 15 stazioni. La fascia intorno alla curva rappresenta l'errore definito dalla deviazione standard.

3.2 Andamento annuale delle anomalie durante la stagione calda

Questa sezione è dedicata allo studio della distribuzione spatio-temporale dell'andamento delle *TOC* in confronto alla curva del clima.

Per osservare come le *TOC* variano durante il trentennio è necessario confrontare l'andamento giornaliero per ogni anno con la media climatica calcolata. Nella Figura 8 è rappresentato l'andamento del clima (linea nera) calcolato sulla stagione calda, in relazione alle serie giornaliere delle *TOC*, determinate per ogni anno del trentennio e sottoposte alla media mobile (di colore graduale dal blu al giallo).

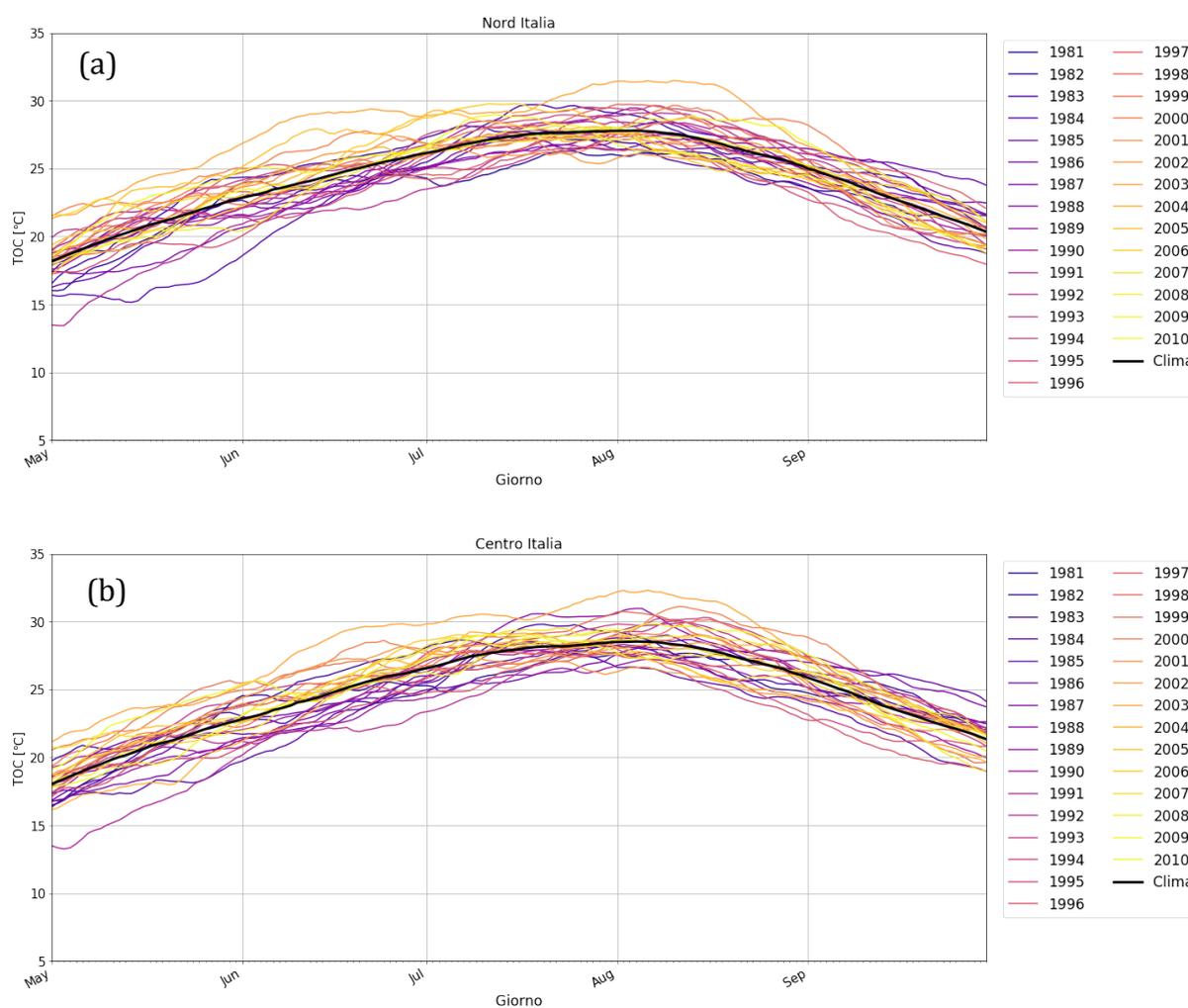


Figure 8.a e 8.b: Andamento giornaliero della TOC per la stagione calda nel corso del trentennio 1981-2010 per le macrozone (a) Nord Italia e (b) Centro Italia. Serie giornaliere (linee colorate) a confronto con la linea della climatologia (in nero)

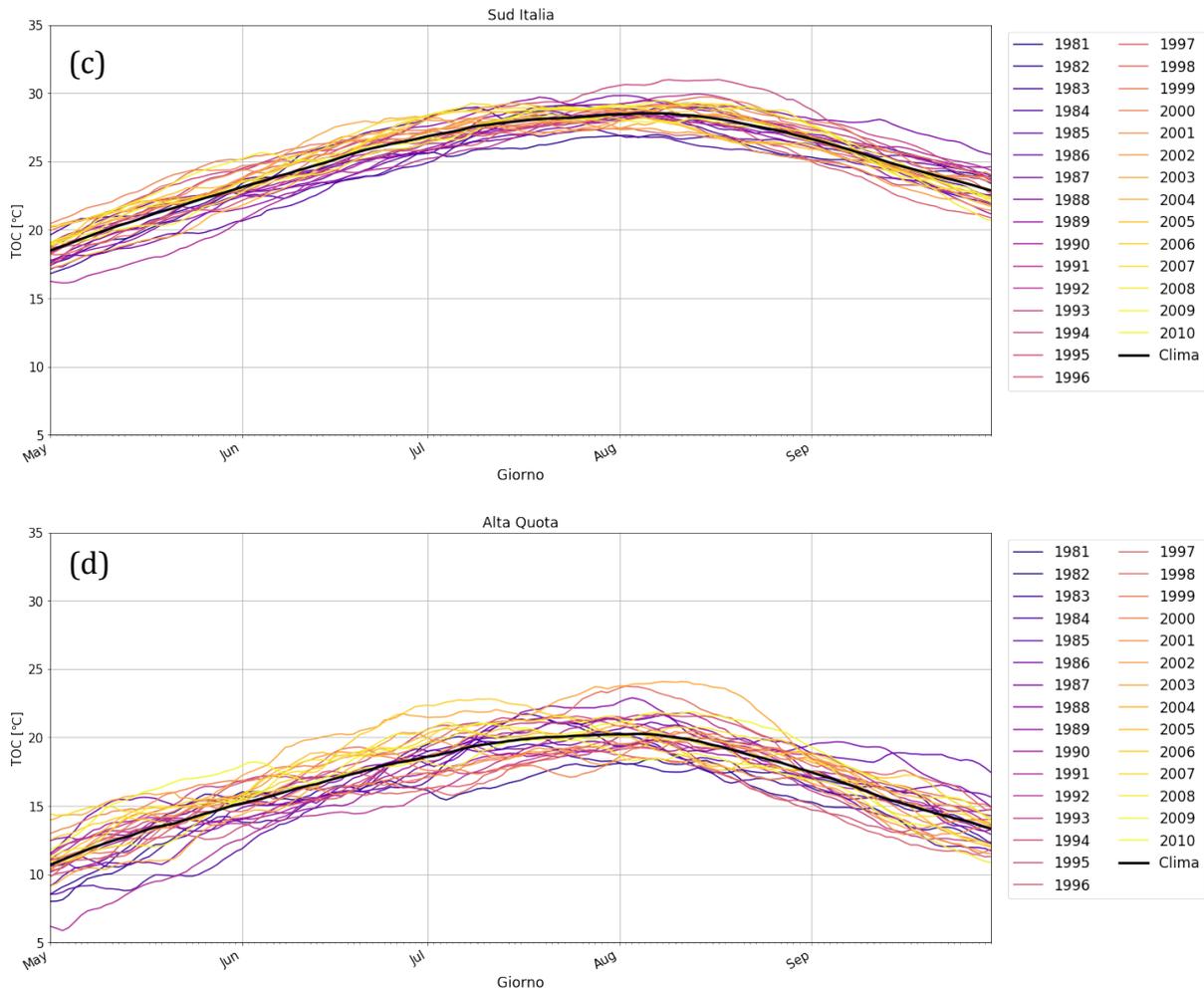


Figure 8.c e 8.d: Andamento giornaliero della TOC per la stagione calda nel corso del trentennio 1981-2010 per le macrozone (c) Sud Italia e (d) Alta Quota. Serie giornaliere (linee colorate) a confronto con la linea della climatologia (in nero)

Le 15 stazioni sono state suddivise nelle 4 macrozone di interesse: Figura 8.a per il Nord Italia, Figura 8.b per in Centro Italia, Figura 8.c per il Sud Italia e Figura 8.d per le due stazioni in Alta Quota.

In Figura 8.c, si nota una differenza rispetto agli altri tre grafici: la variabilità delle temperature sia nel corso dell'anno (lungo la serie giornaliera) sia tra un anno e l'altro (tra serie giornaliere di anni diversi) è minore.

3.2.1 Trend

Mantenendo le stesse zonazioni, si è deciso di dare una visione più chiara del cambiamento annuale della temperatura. Posizionando in un grafico le medie stagionali per ogni anno e

confrontandole con la media climatica del trentennio, è possibile osservarne l'andamento e le anomalie.

Il grafico ottenuto mostra due linee: quella rosa rappresenta l'andamento annuale delle anomalie delle *TOC* (valori delle medie stagionali per ogni anno sottratti alla media climatica), quella blu è una regressione lineare dei punti calcolati. In tutte e quattro le figure (Figure 9.a, 9.b, 9.c e 9.d) il fit ha pendenza positiva. In Tabella 3, per ognuno dei 4 grafici, verranno riportati i valori delle medie stagionali, il coefficiente angolare (a) della linea di tendenza ($y = ax + b$) e il coefficiente di correlazione R^2 .

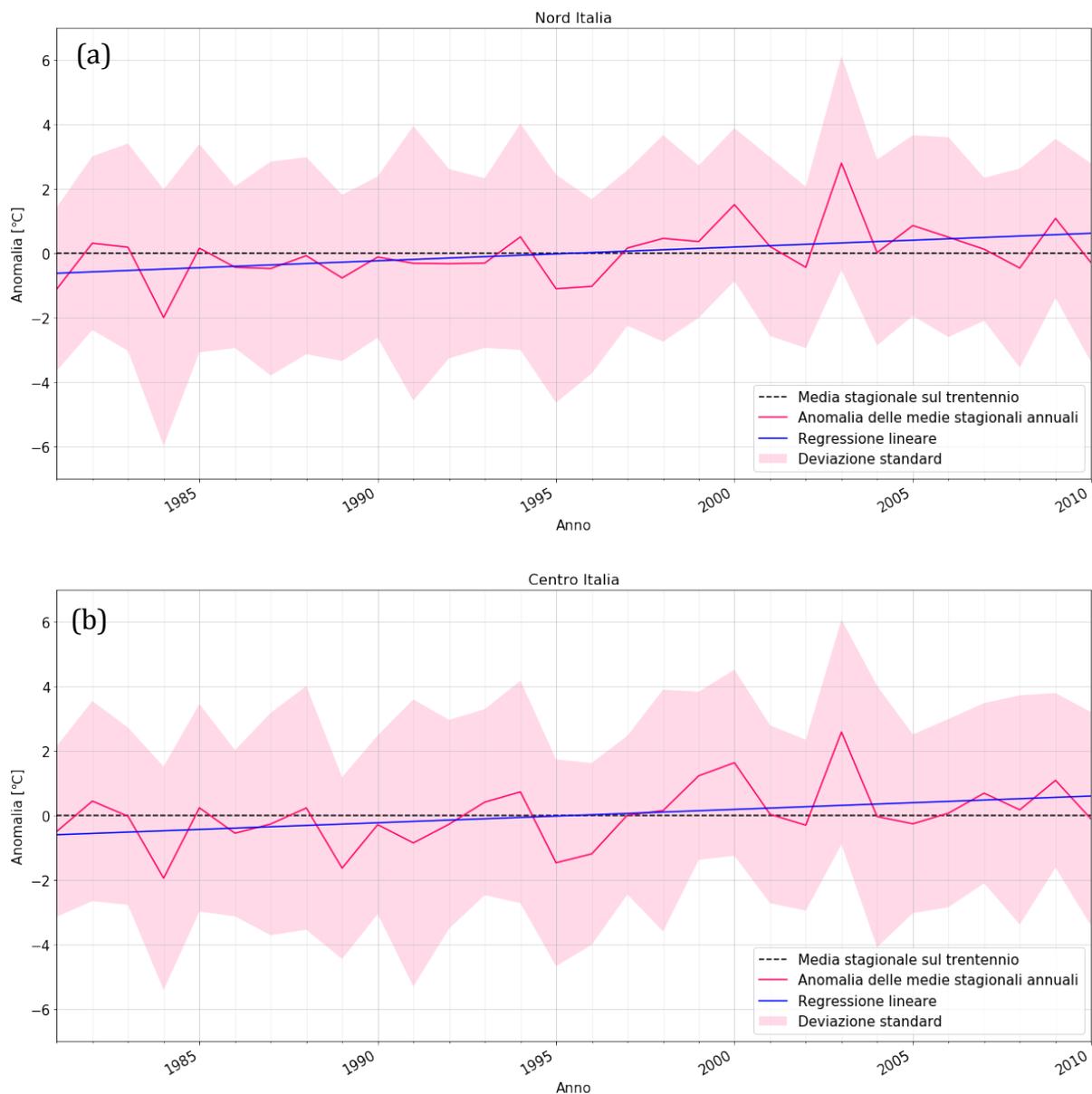


Figure 9.a e 9.b: Anomalie annuali delle medie climatiche stagionali rispetto al Cli.No del trentennio (in rosa: linea la media stagionale, rosa chiaro la deviazione standard) e regressione lineare dei punti (in blu) per le macrozone (a) Nord Italia e (b) Centro Italia.

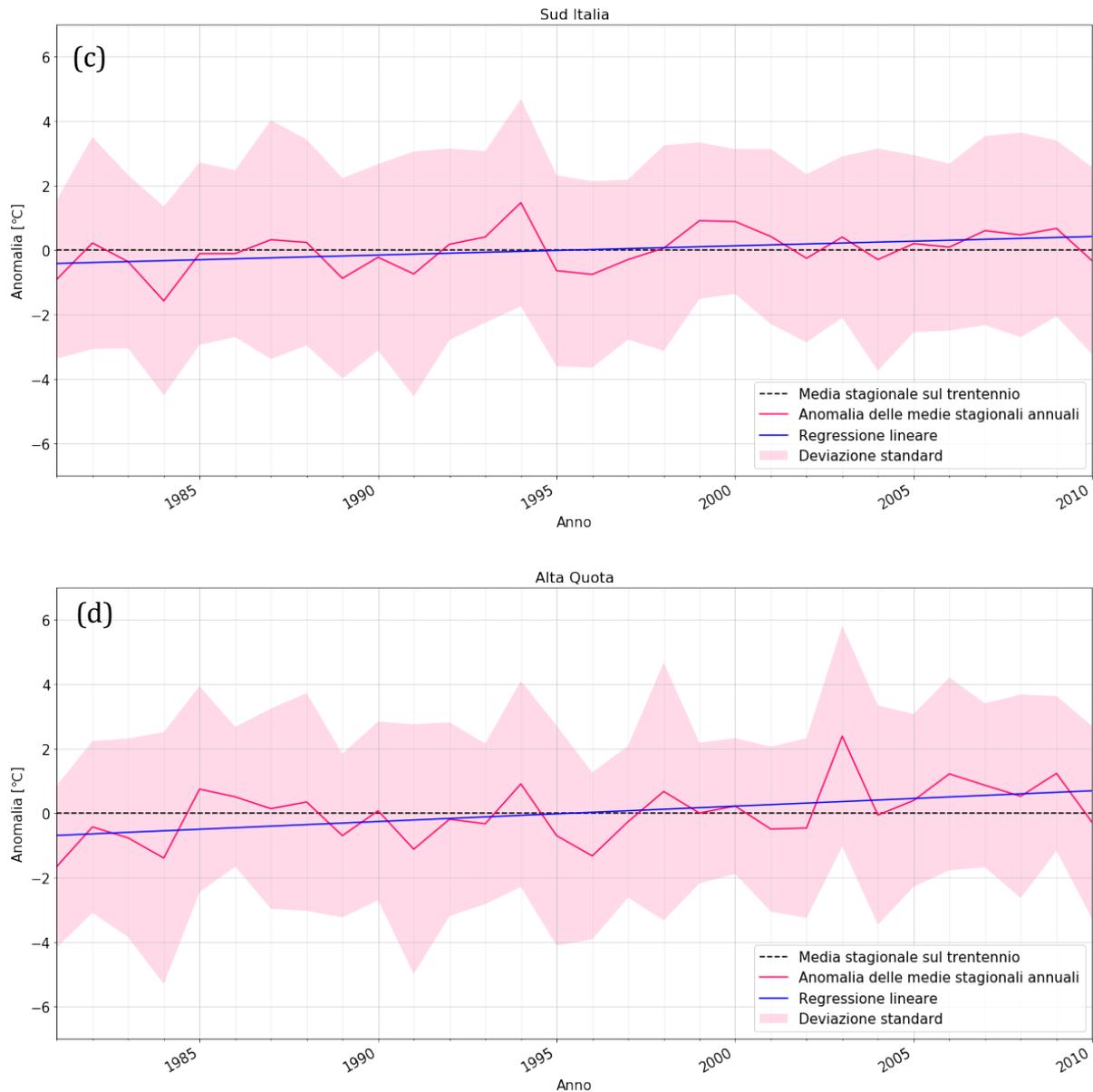


Figure 9.c e 9.d: Anomalie annuali delle medie climatiche stagionali rispetto al Cli.No del trentennio (in rosa: linea la media stagionale e rose chiaro la deviazione standard) e regressione lineare dei punti (in blu) per le macrozone (c) Sud Italia e (d) Alta Quota

In ogni grafico, si notano il 1984 come anno più freddo e il 2003 come anno più caldo del trentennio (ad eccezione del Sud Italia). In Figura 9.c è rappresentato un trend positivo con crescita inferiore rispetto a quello calcolato nelle altre tre figure.

Tabella 3: Valori calcolati in riferimento alle Figure 9.a, 9.b, 9.c e 9.d. Media stagionale⁸ (M_s), coefficiente angolare per la regressione lineare (a) e coefficiente di correlazione R^2 .

Macrozona	$M_s \pm \sigma_{M_s}$ [°C]	$(a) \cdot 10^{-1}$ [°C/decennio]	R^2
Nord Italia	24 ± 3	4,28	0,184
Centro Italia	25 ± 3	4,14	0,152
Sud Italia	25 ± 3	2,89	0,160
Alta Quota	17 ± 3	4,78	0,230

3.3 Caso studio: anomalie giornaliere delle stagioni calde 1984 e 2003

Il caso studio è stato sviluppato su due livelli distinti, specifici per i due anni e sempre suddivisi nelle 4 macrozone. In primo luogo si sono identificate le anomalie giornaliere rispetto alla media stagionale (calcolata sul trentennio, valore Cli.No.), in seguito, si è svolta un'analisi quantitativa e qualitativa delle anomalie “calde”: le ondate di calore.

Nelle Figure 10 e 11 sono rappresentate le anomalie (linea rossa, asse delle ordinate a destra) della stagione calda per il Nord, Centro, Sud Italia e Alta Quota per entrambi gli anni del caso studio (Fig. 10 riferita al 1984 e Fig.11 riferita al 2003). Le medie stagionali (linee tratteggiate), corrispondono ai valori riportati in Tabella 3 per le corrispettive zone. La climatologia (linea nera, anche riportata in Figura 8) indica l'andamento medio sul trentennio della TOC , che in relazione alla variazione giornaliera di $TOC_{1984,2003}$ (linea verde, asse delle ordinate a sinistra) identifica l'intensità dell'anomalia. Questa viene mostrata appunto con la linea rossa.

In Figura 10 si può vedere come in tutte le 4 macrozone si ha un numero molto basso di anomalie calde in contrapposizione a molte anomalie fredde, questa è un'osservazione attesa in quanto il 1984 è stato l'anno più freddo del trentennio. Questo vale al contrario per le anomalie in Figura 11.

⁸ I valori al decimo di grado sono: Nord Italia $M_s = 24,4^\circ\text{C}$ e $\sigma_{M_s} = 2,7^\circ\text{C}$; Centro Italia $M_s = 24,9^\circ\text{C}$ e $\sigma_{M_s} = 3,0^\circ\text{C}$; Sud Italia $M_s = 25,3^\circ\text{C}$ e $\sigma_{M_s} = 2,8^\circ\text{C}$; Alta Quota $M_s = 16,8^\circ\text{C}$ e $\sigma_{M_s} = 2,7^\circ\text{C}$

Inoltre si può notare che nel Sud Italia le anomalie sono meno intense, presentando picchi meno accentuati in entrambi i casi. Nel 2003 le anomalie calde non sono predominanti e si nota che non è stato un anno eccessivamente caldo rispetto al resto d'Italia: infatti questo si può osservare anche dalla Figura 9.c.

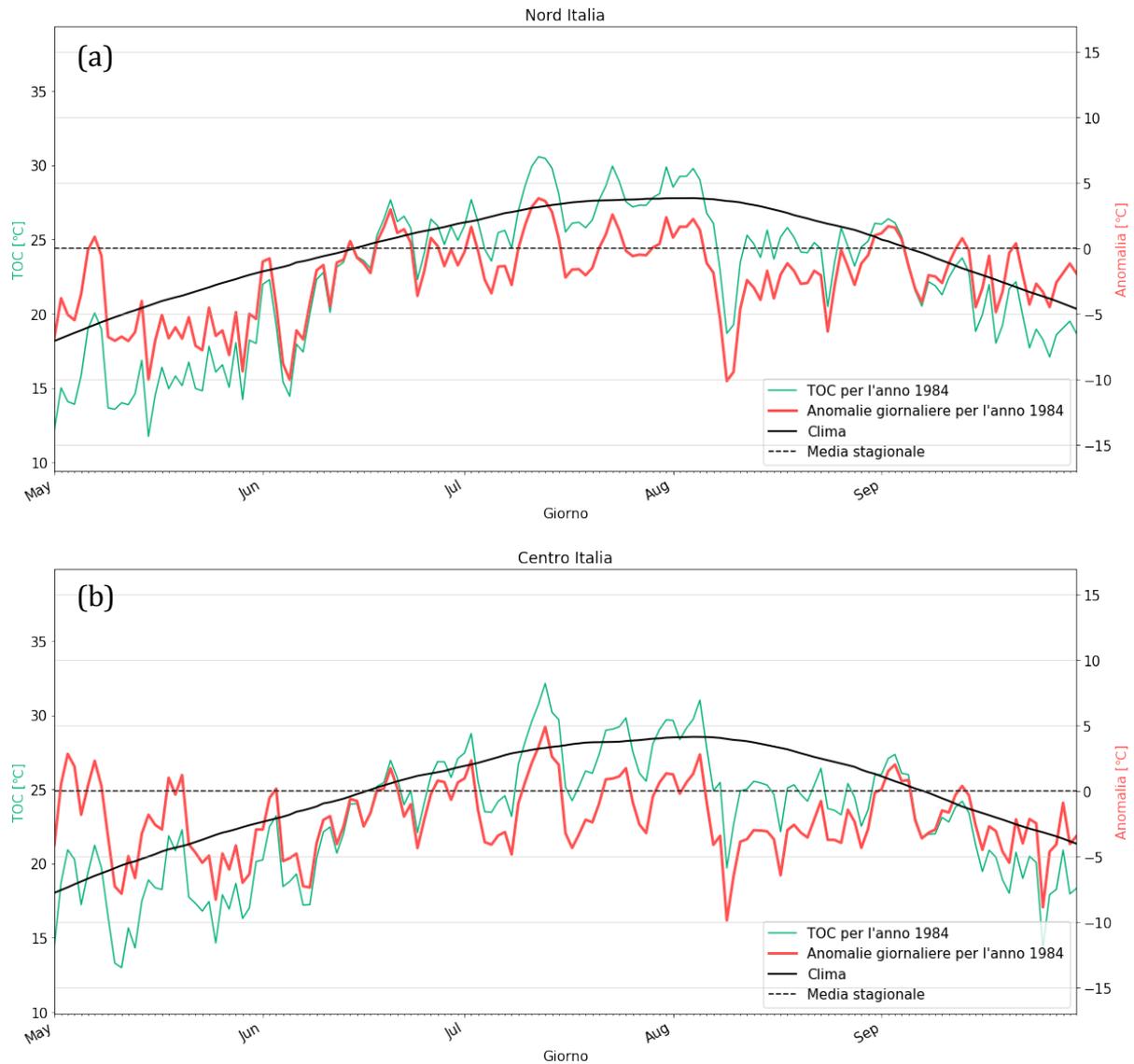


Figure 10.a e 10.b: Anomalie (in rosso) delle TOC (in verde) per l'anno 1984 rispetto al Cli.No del trentennio per le macrozone (a) Nord Italia e (b) Centro Italia

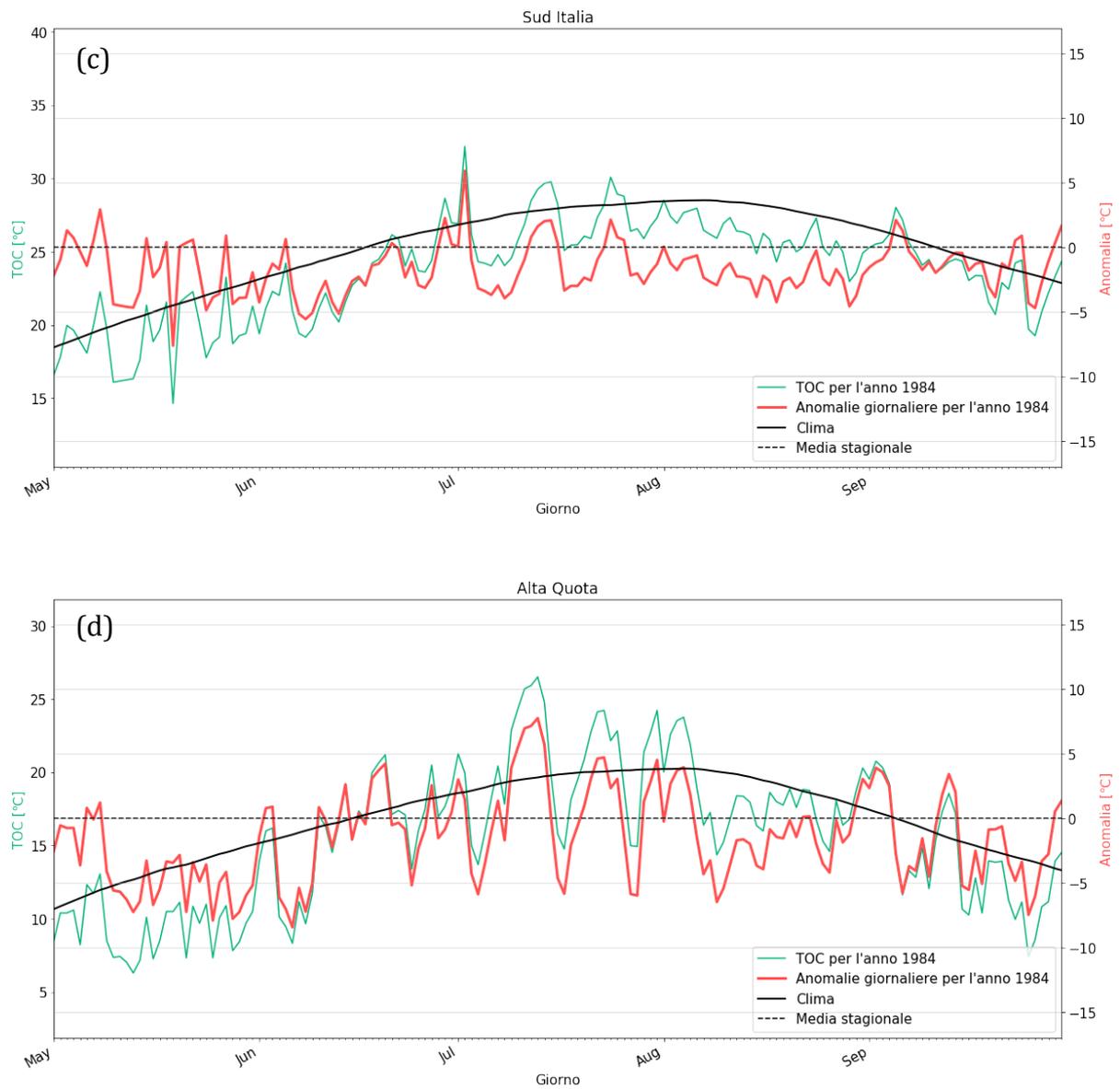


Figure 10.c e 10.d: Anomalie (in rosso) delle TOC (in verde) per l'anno 1984 rispetto al Cli.No del trentennio per le macrozone (c) Sud Italia e (d) Alta Quota

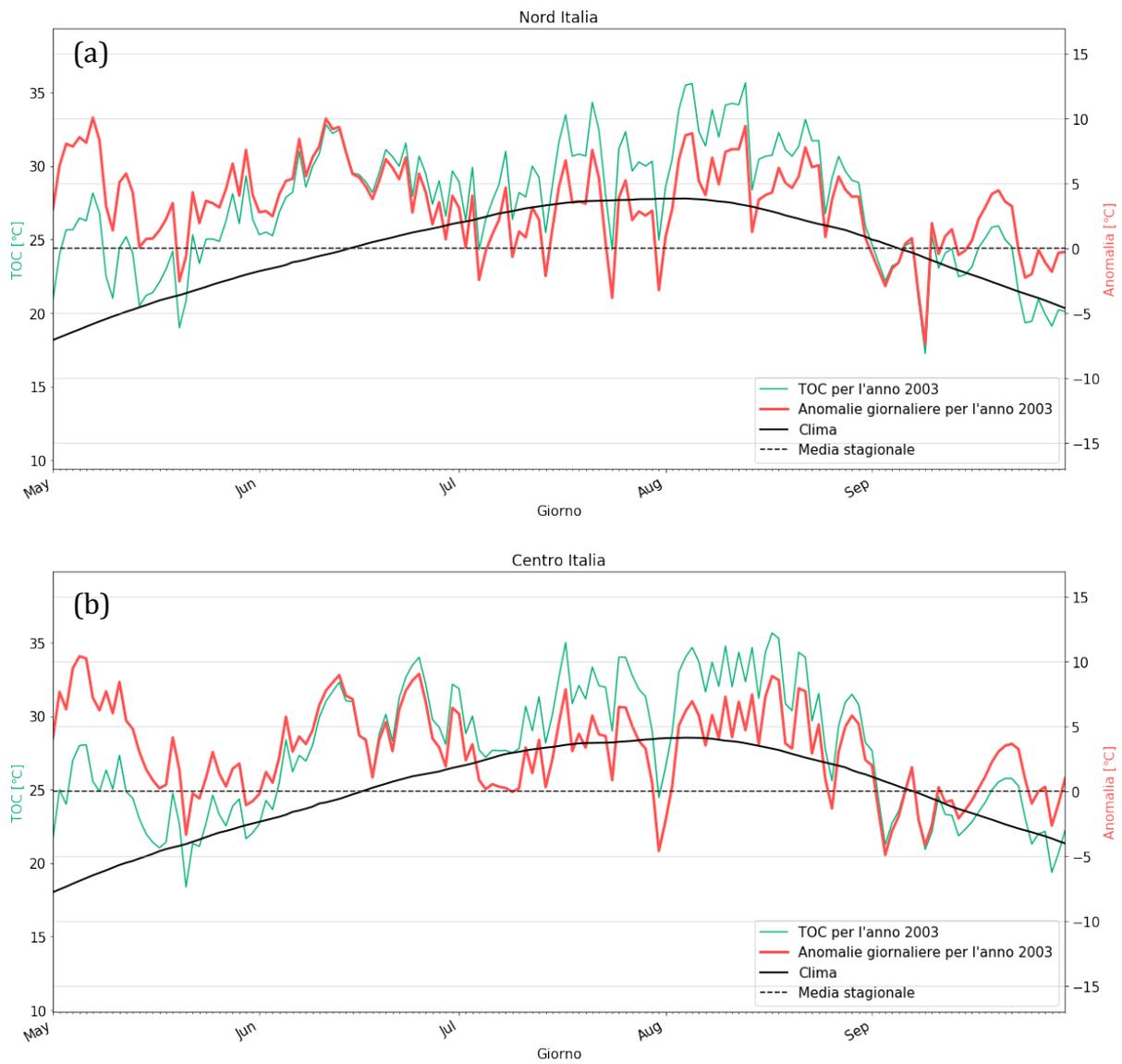


Figure 11.a e 11.b: Anomalie (in rosso) delle TOC (in verde) per l'anno 2003 rispetto al Cli.No del trentennio per le macrozone (a) Nord Italia e (b) Centro Italia

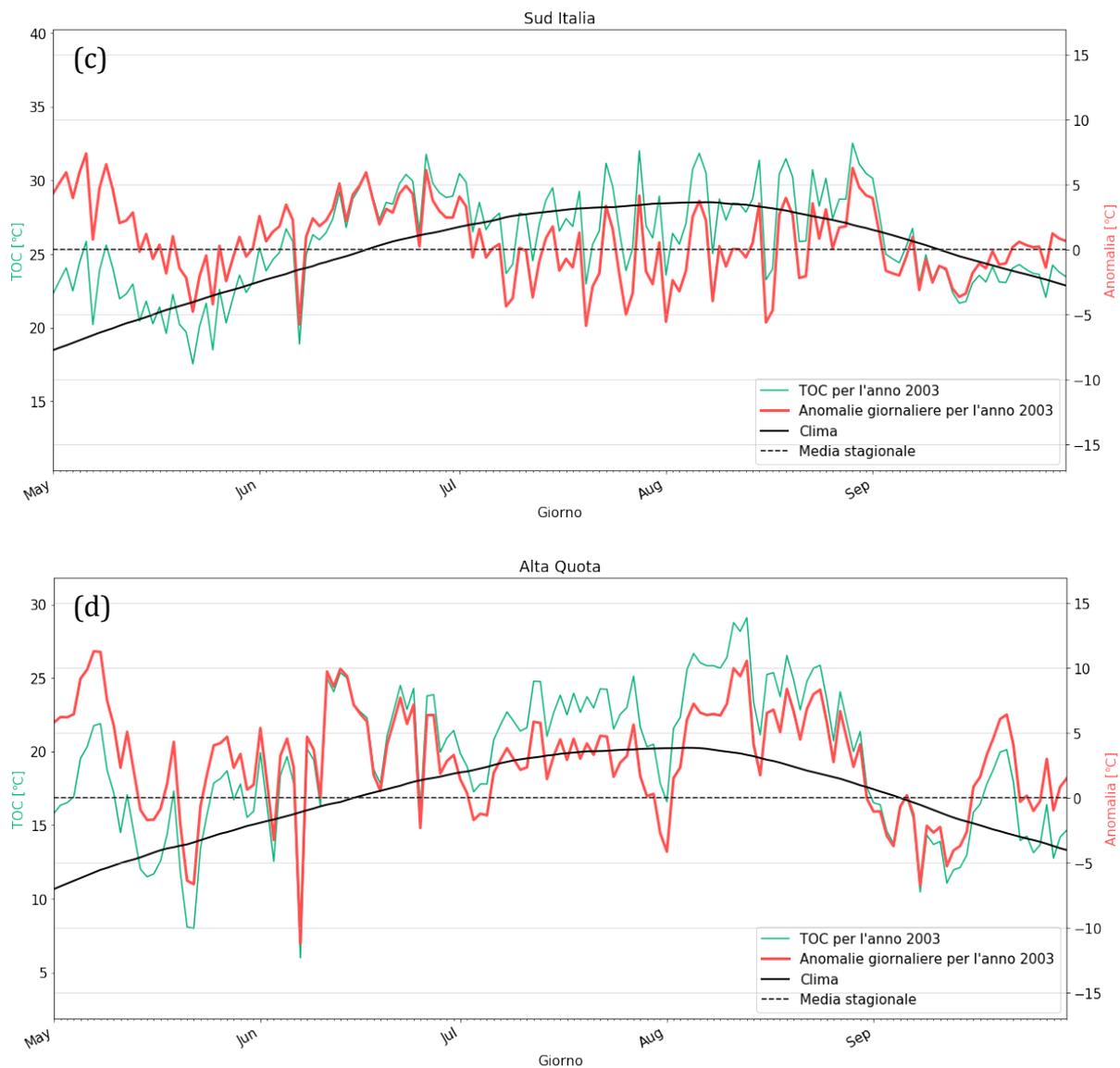


Figure 11.c e 11.d: Anomalie (in rosso) delle TOC (in verde) per l'anno 2003 rispetto al Cli.No del trentennio per le macrozone (c) Sud Italia e (d) Alta Quota

3.3.1 Studio degli eventi di ondate di calore negli anni 1984 e 2003

Per conteggiare e poi riportare in grafico le ondate di calore così come sono state definite, si sono determinati i giorni in cui l'anomalia supera la media stagionale di un valore pari ad una deviazione standard. A titolo esemplificativo si osservi la Figura 12: l'ondata di calore si manifesta quando la linea viola si trova nell'area del grafico situata sopra la fascia grigia. Se il periodo con temperature superiori alla soglia ($S = Ms + \sigma_{Ms}$) è maggiore o uguale a 3 giorni, si considera l'occorrenza di un'ondata di calore. Il numero e la durata delle ondate di calore durante la stagione calda per i due anni del caso studio è molto diverso tra loro: nel

1984 sono accaduti 4 eventi della durata di 3 e 6 giorni (solo nelle stazioni a nord e ad alta quota), mentre per il 2003 i risultati mostrano periodi di ondate di calore anche della durata di 20 giorni consecutivi. Per il 2003, in Tabella 4, viene riportata una panoramica dei giorni di ondate di calore suddivise nelle macro-aree climatiche.

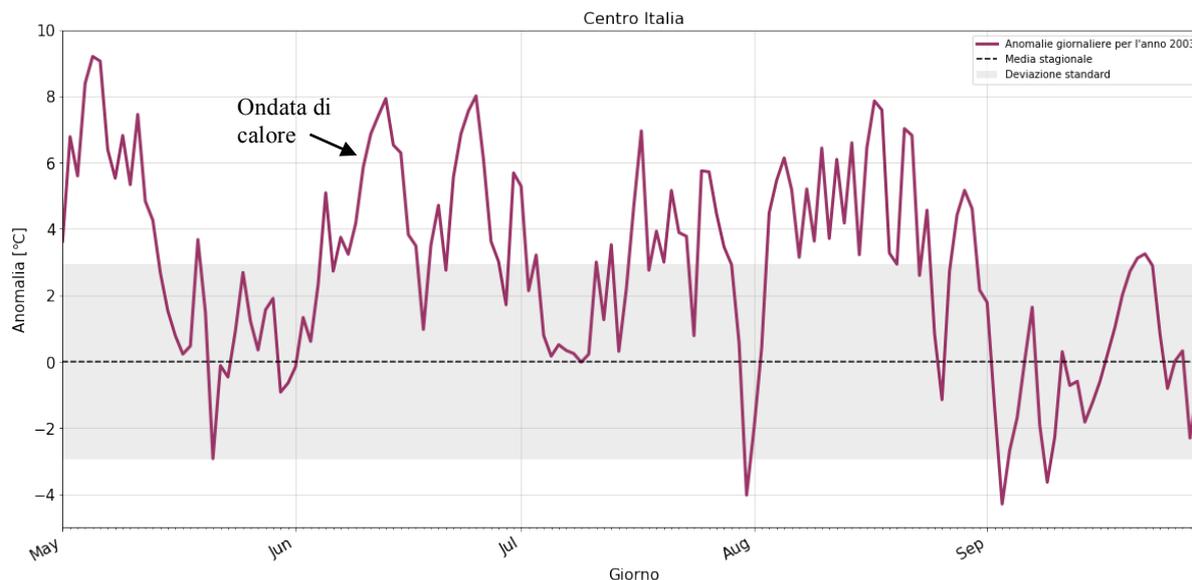


Figura 12: Ondate di calore per l'anno 2003 in Centro Italia. Anomalie giornaliere (linea viola) rispetto alla media stagionale (linea tratteggiata) e deviazione standard (banda grigia)

Tabella 4: Eventi di ondate di calore per l'anno 2003

Macrozona	Giorno d'inizio	Durata in giorni	Giorni totali
Nord Italia	02/05	8	77
	11/05	3	
	24/05	8	
	04/06	20	
	16/07	7	
	03/08	11	
	15/08	10	
	26/08	5	
Centro Italia	18/09	5	60
	01/05	13	
	07/06	11	
	22/06	7	
	19/07	5	
	25/07	4	
Sud Italia	03/08	17	20
	28/08	3	
	01/05	6	
	08/05	3	
	15/06	4	
Alta Quota	22/06	3	55
	29/08	4	
	01/05	10	
	25/05	3	
	11/06	7	
	20/06	5	
	20/07	4	
04/08	11		
16/08	10		
18/09	5		

3.4 Ondate di calore nel trentennio

Come ultima parte dell'analisi, si riportano i grafici dell'andamento annuale delle ondate di calore durante tutto il trentennio. Si è calcolato il numero totale dei giorni di ondata di calore per ogni anno. Mostrando i valori ottenuti in un grafico a barre, si può osservare facilmente come variano questi eventi nel corso del tempo. In particolare in Figura 13, si riportano i risultati ottenuti per le 4 zone territoriali.

Il trend calcolato per il Sud Italia si diversifica rispetto alle altre zone osservate.

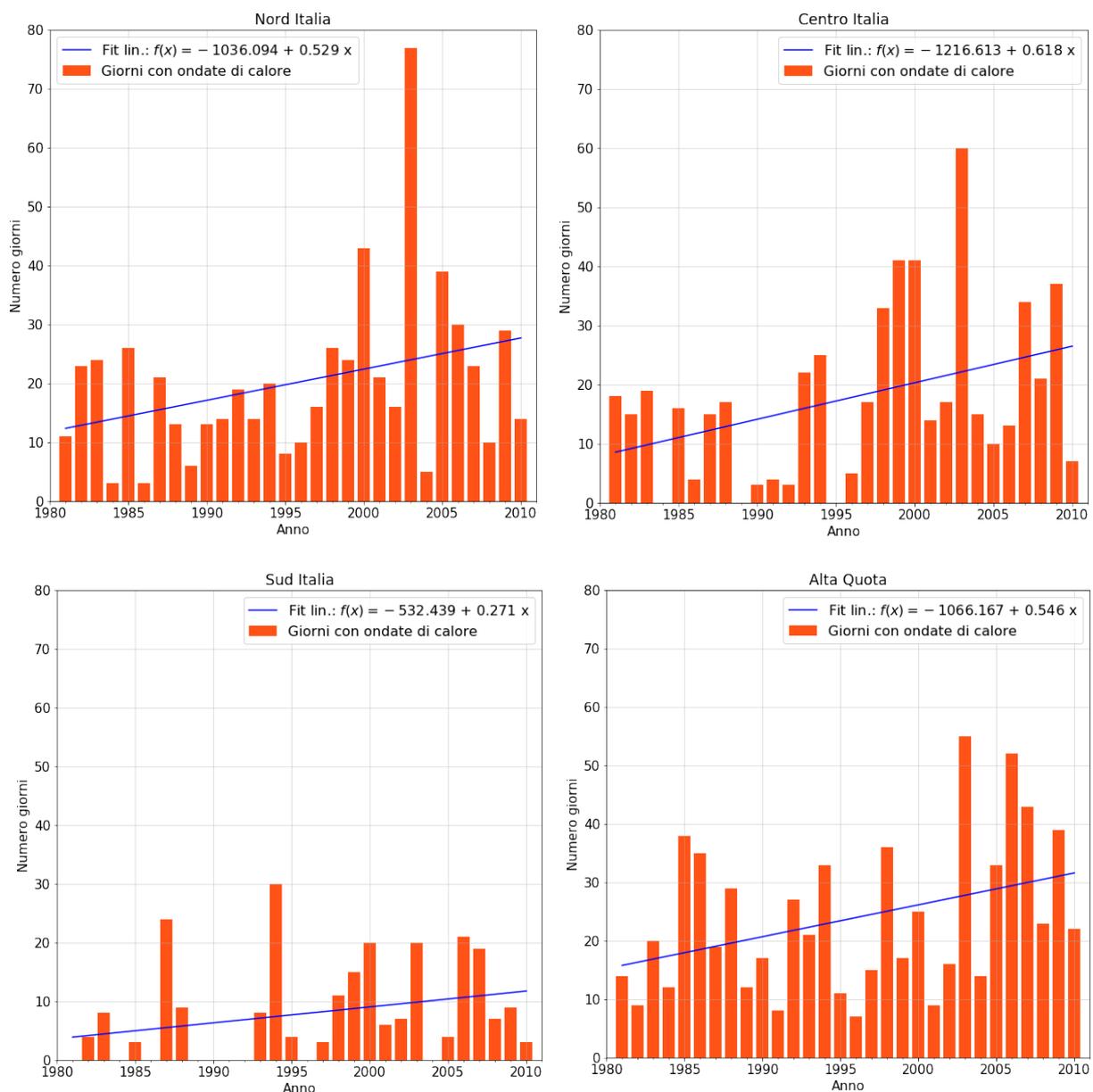


Figura 13: Andamento annuale dei giorni in condizione di ondata di calore durante il trentennio. Valori ottenuti dal raggruppamento dei dati nelle 4 macrozone climatiche (in arancione) e regressione lineare dei dati (in blu).

3.4.1 Andamento del numero di eventi in relazione alla durata

Approfondendo l'analisi sulle ondate di calore nel periodo 1981-2010, si riportano in Figura 14 i risultati dei conteggi degli eventi totali in relazione alla loro durata. Il periodo per un singolo evento varia da 3 a 20 giorni. Il numero degli avvenimenti è decrescente esponenzialmente all'aumentare della durata.

Si nota come nella zona sud le durate e la frequenza degli eventi sia nettamente inferiore rispetto al resto della penisola.

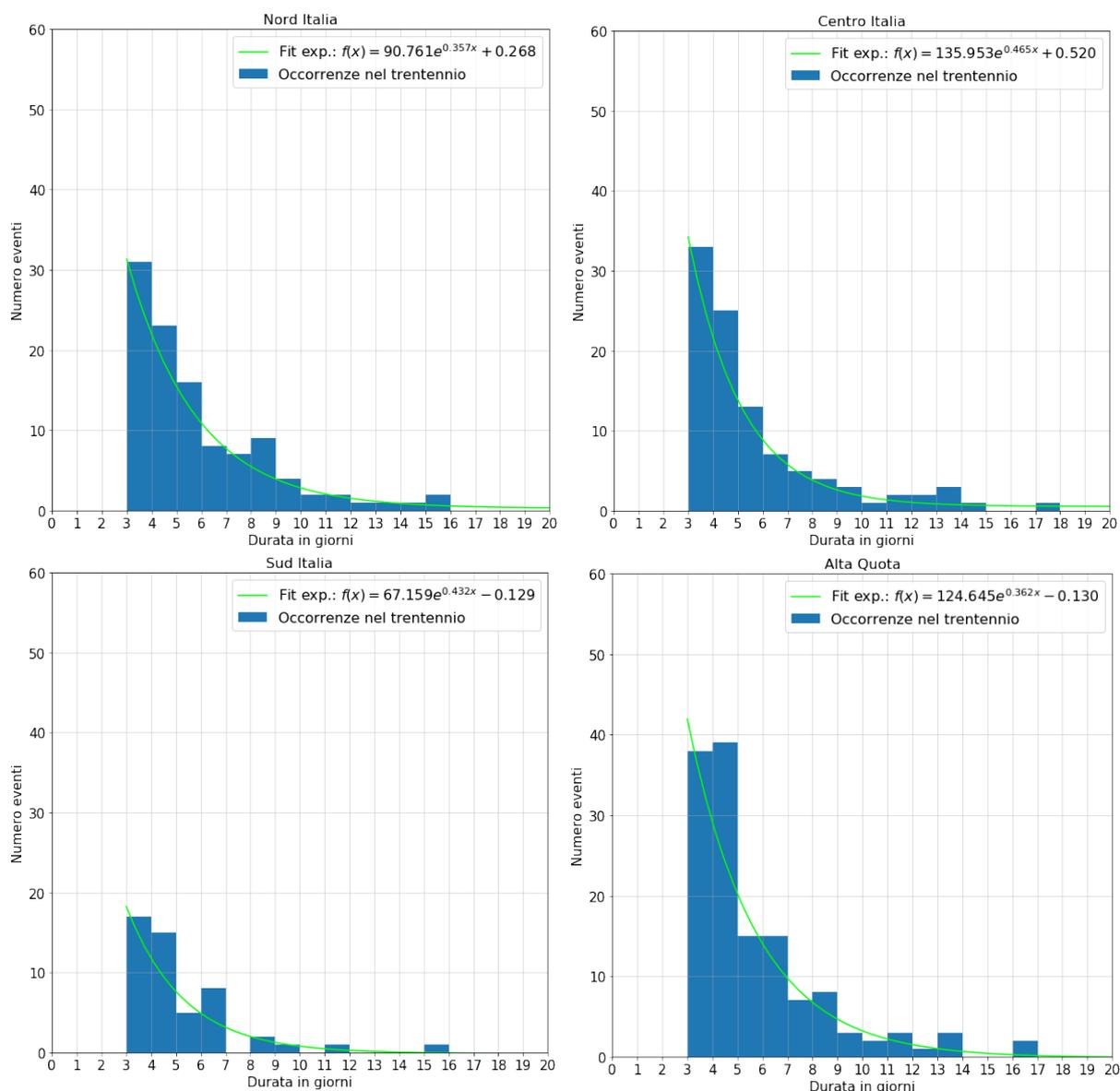


Figura 14: Distribuzione delle occorrenze dei periodi di ondate di calore nel trentennio in funzione alla loro durata per le 4 macro-aree climatiche (in blu) e fit esponenziale dei dati (in verde).

4. Discussione

Complessivamente i risultati ottenuti rispecchiano quelli riscontrati in letteratura. Sulla penisola italiana sono presenti differenti zone climatiche: le variazioni maggiori si sviluppano da Nord a Sud e dalla costa alle quote più alte; il Mar Mediterraneo in particolare influisce con la sua azione termoregolatrice.

Uno dei primi risultati ottenuti (Fig. 6.b) offre una chiara visione di come le stazioni meteo situate vicino al mare, ad esempio nelle provincie di Genova, Palermo e Brindisi, siano esposte ad un clima più mite: grazie all'alta capacità termica, il mare cambia la sua temperatura in modo molto più lento rispetto alla terra emersa; le estati sono più fresche e gli inverni più caldi.

Le TOC nelle stazioni del Passo Resia e di Treviso si discostano molto dalle altre: in particolare i valori calcolati per i mesi estivi differiscono circa di 10°C rispetto a stazioni situate sulla costa a latitudine simile (Fig. 7). Come rapida verifica della buona riuscita del grafico si fa riferimento al fatto che in estate l'atmosfera mantiene generalmente un gradiente verticale di temperatura adiabatico secco. Esso indica la velocità con cui una particella d'aria secca, che si muove verticalmente, si scalda o si raffredda, ed essa non dipende dalla temperatura esterna ma dalla pressione, che con l'aumentare della quota diminuisce sempre. Questo fenomeno implica una diminuzione di temperatura di circa 9,8 °C per ogni chilometro di altezza, le stazioni in quota sono infatti situate ad un'altitudine superiore ai mille metri (Tabella 1).

Per quanto riguarda l'andamento giornaliero delle temperature (Fig. 8) si osserva, nel periodo maggio-giugno, una tendenza delle serie annuali verso temperature più elevate. Per tutte le macro-aree, si nota chiaramente un accumulo di linee di colore giallo (anni più recenti) nell'area del grafico superiore alla linea del clima, mentre sono presenti molte linee tendenti al blu (anni più passati) sotto la medesima linea. Questo potrebbe derivare dal fatto che la tendenza a temperature più calde nei mesi d'inizio estate è dovuta a precedenti inverni più caldi. Con l'avanzare dell'estate però non si nota alcuna variazione annuale apprezzabile. Questo tipo di grafico, seppur permettendo una visione completa del trentennio, non lascia stimare quantitativamente la variazione della temperatura negli anni e se ci siano delle differenze sulle 4 macro-aree climatiche. L'unica caratteristica visibile è la mitigazione del clima in prossimità del mare per il Sud Italia.

Con la successiva serie di grafici (Fig. 9), si può osservare il trend di crescita per tutti i raggruppamenti territoriali. Nello specifico si osserva un riscaldamento maggiore nella zona settentrionale rispetto a quella meridionale. Il coefficiente di regressione lineare calcolato è crescente da Sud a Nord (Tabella 3) anche se, sui dati ottenuti, il coefficiente di correlazione rivela una bassa significatività statistica. In questi grafici si può inoltre notare come effettivamente gli anni 1984 e 2003 siano stati il più freddo e il più caldo del trentennio, in accordo con la letteratura.

Per quanto riguarda il caso studio, i risultati rivelano effettivamente che le anomalie calcolate nei due anni sono nella maggioranza "fredde" per il 1984 e "calde" per il 2003, anche se nella macro-area meridionale è più marcato l'effetto mitigatore del mare sulle anomalie, che quindi sono ridotte rispetto alle altre zone. In particolare, le ondate di calore sono moderate dall'azione termoregolatrice marina: riducendo l'intensità delle anomalie si riduce notevolmente sia il numero di eventi che la loro durata. Un altro dettaglio interessante è che le intense anomalie di una zona vengano riscontrate anche nelle regioni adiacenti: i picchi molto pronunciati sono risultati comuni su più grafici, nello stesso intervallo temporale. Sarebbe interessante studiare il raggio di impatto di un'anomalia in funzione della sua intensità, ma per questo sarebbero necessari più dati provenienti da più stazioni meteo.

Per l'anno 2003 le ondate di calore sono più frequenti e durature al nord (Tabella 4) mentre sono quasi totalmente assenti nel 1984 su tutto il territorio nazionale (Fig. 13). Per quanto riguarda l'Italia meridionale il 2003 non è stato un anno significativo per questo tipo di eventi estremi.

In generale durante tutto il trentennio, il numero di giorni con ondate di calore aumenta, come si può notare dal fit lineare calcolato. Questi risultati ottenuti trovano un riscontro nella

letteratura in riferimento all'intera regione italiana (Fig.2) Si osserva che per la zona sud la crescita è più lenta e nelle zone montuose gli estremi risultano accentuati (Fig.13). Le medie stagionali calcolate su tutto il trentennio per le stazioni in alta quota sono più basse rispetto a quelle delle altre tre aree territoriali. Questo implica che in montagna un'ondata di calore possa essere percepita con intensità maggiore rispetto ad aree a bassa quota. Si può comunque affermare in generale che prevalgono notevolmente gli eventi di breve durata (Fig. 14). Calcolando la linea di *best fit* sui risultati ottenuti si evidenzia che il numero degli eventi decresce esponenzialmente con l'aumentare della loro durata.

5. Conclusioni

L'analisi climatica del periodo dal 1981 al 2010 mostra una tendenza annuale all'aumento delle *TOC* in generale. L'andamento è risultato di maggiore intensità per la zona centro-settentrionale della penisola (fino a circa 0,5 °C a decennio).

L'indice *TOC* riflette l'andamento di altre variabili di temperatura già analizzate in questo campo di studi (*Tmax*, *Tmin*), ma nonostante questo potrebbe mostrarsi interessante per scopi specifici. Questo parametro contiene informazioni legate ad un intervallo di tempo della giornata particolarmente debilitante, e non ad un preciso momento puntuale, quale potrebbe essere quello in cui si misura la temperatura massima. In campo agronomico potrebbe essere più rilevante riconoscere se una pianta subisce temperature eccessivamente elevate durante il periodo più caldo del giorno piuttosto che sapere quale sia la temperatura più alta raggiunta nel corso dell'intera giornata.

Si è constatato inoltre un aumento delle ondate di calore nel corso degli anni (fino a 6 giorni a decennio). Anche in questo caso il Sud Italia non segue il trend delle altre 3 macrozone studiate: le ondate di calore si mantengono quasi invariate. Poiché questi eventi sono di recente sempre più oggetto di studio, sarebbe interessante approfondire il lavoro per determinarne i fattori scatenanti, per poterli prevedere in anticipo.

Per effettuare un'analisi climatica più completa e precisa, sarebbe interessante ampliare la copertura spazio-temporale, aumentando il numero di stazioni e il periodo di studio. Inoltre, i risultati ottenuti si potrebbero sviluppare in modo più dettagliato con il contributo di altre variabili climatiche, in particolar modo le precipitazioni.

6. Bibliografia

WMO . (1992). *International Meteorological Vocabulary* (Vol. 182). Ginevra: WMO/ OMM/BMO.

WMO. (2012). General Meteorological Standards and Recommended Practices. *Technical Regulations, Basic documents, no.2, vol.I*, 49.

WMO. (2007). *The Role of Climatological Normals in a Changing Climate* (Vol. 1377). Geneva: WMO/TD.

World Meteorological Organization, WMO. (2014). *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation: (CIMO guide)* (Vol. 8). WMO.

A. Anav, A. M. (2011). Sensitivity of natural vegetation to climate change in the Euro-Mediterranean area. *CLIMATE RESEARCH* , 46, 277–292.

A. Kazi. (2016). Paleoclimate Changes and Significance of Present Global Warming. In *Handbook of Climate Change Mitigation and Adaptation, Second Edition* (p. 47-60). Springer.

Areonautica Militare. (2015). *Help Metar*. Tratto il giorno 08 13, 2017 da Meteo Areonautica: http://www.meteoam.it/help_metar

C.D. Keeling. (1978). The Influence of Mauna Loa Observatory on the Development of Atmospheric CO₂ Research. In *Mauna Loa Observatory: A 20th Anniversary Report. (National Oceanic and Atmospheric Administration Special Report)* , 36-54.

E. Rosini. (1988). *Introduzione all'agroclimatologia. Parte prima: Le basi della climatologia*. Bologna: ERSA-Servizio Meteorologico Regionale.

D.R. Easterling, G. A. (2000). Climate Extremes: Observations, Modeling, and Impacts. *Science* , 289, 2068-2074.

F. Desiato, G. F., & V. P.-R. (2017). *Gli indicatori del CLIMA in Italia nel 2016*. ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale. ISPRA-Settore Editoria.

J. M. Robine, S. K. (2008). Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *Comptes Rendus - Biologies* , 331, 171-178.

Legambiente. (2007). *Rapporto “Città: il clima è già cambiato”*. Roma.

M. Brunetti, L. B. (2004). Temperature, precipitation and extreme events during the last century in Italy. *Global and Planetary Change* , 40, 141 – 149.

M. Brunetti, L. B. (2000). Trends of Minimum and Maximum Daily Temperatures in Italy from 1865 to 1996. *Theoretical and Applied Climatology* , 66, 49-60.

M. Brunetti, M. M. (2000). Variations of Temperature and Precipitation in Italy from 1866 to 1995. *Theoretical and Applied Climatology* , 65, 165-174.

M. Rebetez, H. M. (2006). Heat and drought 2003 in Europe: a climate synthesis. *Annals of Forest Science* , 63, 569-577.

P. Lionello, P. M.-R. (2006). *Mediterranean Climate Variability*. Elsevier.

S. Esposito, M. C. (2015). *Atlante italiano del clima e dei cambiamenti climatici. Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, Unità di ricerca per la climatologia e la meteorologia applicate all'agricoltura*. Roma.

Shushi Peng, S. P. (2013). Asymmetric effects of daytime and night-time warming on Northern Hemisphere vegetation . *Nature* , 501, 88-92.

7. Appendici

I. Funzione firstlistread

```
#Questa funzione legge il file .csv dei dati meteo (input_file) e
restituisce una lista contenente per ogni giorno del trentennio una TOC
associata (firstlist)
def firstlistread (firstlist,input_file):
    endlne=sum(1 for line in open(input_file))
    endlne-=8
    startline=12
    sec=0
    sommad=0.0
    sumtmax=0.0
    mediad=0.0
#per ogni riga del file esegue tutto il seguente:
    with open(input_file, 'r') as csvfile:
        reader = csv.reader(csvfile)
        body=itertools.islice(reader,startline,endlne)
        ltemp_day=list()
        stmax=list()
        ltime=list()
        tmaxinday=list()
        sameday=list()
        sumsc=list()
        run_mean1=list()
        first=1
#lettura di una riga per volta
        for row in body:
            tmp=row[0]
#separazione delle stringhe lette dal file
            data,tmp2=tmp.split(' ')
            giorno,mese,anno=data.split('/')
            ora,temp,tmp3=tmp2.split(';')
            hh,mm=ora.split(':')
            d=int(giorno)
            m=int(mese)
            y=int(anno)
            date=[y,m,d]
            myday=[d,m]
            day = datetime.date(y,m,d)
#se uguale a n.d. salta la riga, oppure salva il valore della temp.
            if temp == 'n.d.':
                continue
            else:
                temp = float(temp)
                temp=[temp]
#se è la prima temp. del file fissa la data
            if first==1:
```

```

        old_date=date
        old_day=day
        first=0
#se è lo stesso giorno della riga precedente e l'ora è tra quelle segnate:
aggiungi la temp alla lista temperature dello stesso giorno
        if date==old_date:
            if hh+mm=='1200' or hh+mm=='1500' or hh+mm=='1800':
                ltemp_day=ltemp_day+temp
#se la data è diversa (prima riga di un altro giorno) trova la toc
giornaliera, media aritmetica delle temp. delle ore calde, poi svuota la
lista temperature del giorno corrente
        else:
            if ltemp_day!=[]:
                stmax=sum(ltemp_day)
                toc=stmax/len(ltemp_day)
#per ogni giorno associa una toc e salvala in una lista chiamata firstlist
                newline=[old_day,toc]
                firstlist.append(newline)
                ltemp_day=[]
                old_date=date #cambio la data vecchia con la nuova
                old_day=day
#inserisci la temp. delle ore calde della nuova data
                if hh+mm=='1200' or hh+mm=='1500' or hh+mm=='1800':
                    ltemp_day=ltemp_day+temp
#trova TOC giornaliera media nelle ore più calde per l'ultima riga del
file
            if ltemp_day!=[]:
                stmax=sum(ltemp_day)
                toc=stmax/len(ltemp_day)
                newline=[old_day,toc]
                firstlist.append(newline)
    return firstlist

```

II. Funzione finallist4climate

```

#Questa funzione calcola l'andamento climatico durante la stagione calda
in base ad una lista di valori giornalieri di TOC (restituiti dalla
funzione firstlistread)
def finallist4climate (firstlist):
    mylist=list()
    my_final_list=[]
#riordina i valori contenuti nella lista in base alla data
    firstlist.sort(key=lambda x: x[0])
#firstlist contiene più valori di TOC riferiti allo stesso giorno per dati
provenienti da più stazioni meteo: si calcola la media aritmetica di
queste TOC
    olddate=firstlist[0][0]
    samedate=[]
    for row in firstlist:
        currentdate=row[0]

```

```

#se siamo nello stesso giorno crea una lista delle TOC (row[1]),
altrimenti calcola la media e salva il nuovo valore di TOC nella lista
precedentemente svuotata
    if currentdate==olddate:
        samedate.append(row[1])
    else:
        if samedate!=[]:
            t=sum(samedate)/len(samedate)
            samedate=[]
            newline=[olddate,t]
            mylist.append(newline)
            samedate.append(row[1])
        olddate=currentdate
#a questo punto mylist contiene la TOC per tutti i giorni del trentennio
mediata su tutte le stazioni
mydate=mylist[0][0]
year=int(mydate.strftime("%Y"))          #salva l'anno
run_mean=[]
my_list_run_mean=[]
one_day = datetime.timedelta(days=1)
first_day = datetime.date(2012,4,30)
efectivedays=[]
lrunmean=[]
sameday=[]
#fissa la lista dei giorni della stagione calda (01 maggio-30 settembre)
che sono 153 per un anno bisestile (così si include anche il 29 febbraio).
for c in range(153):
    day = first_day + one_day
    newday=day.strftime("%d,%b")
    efectivedays.append(newday)
    first_day = day
# mentre salvo i valori della stagione calda calcolo la media mobile
for row in mylist:
    mydate=row[0]
    myday=mydate.strftime("%d,%b")      #fissa giorno dell'anno
    newyear=int(mydate.strftime("%Y"))  #fissa anno
#se è uno dei giorni caldi crea lista 16 giorni prima e 17 giorni dopo
if myday in efectivedays:
    for rd in range(0,17):
        adday= datetime.timedelta(days=rd)
        correctday=mydate - adday
        lrunmean.append(correctday)
    for rg in range(1,17):
        adday= datetime.timedelta(days=rg)
        correctday=mydate + adday
        lrunmean.append(correctday)
for z in mylist:
    if z[0] in lrunmean:
        run_mean.append(z[1])
if run_mean!=[]:
    sumrun_mean=sum(run_mean)
    run_meanmed=sumrun_mean/len(run_mean)
    new_mean=[myday,run_meanmed]
    my_list_run_mean.append(new_mean)

```

```

        run_mean=[]
        lrunmean=[]
#separazione della lista in liste per anno (per permettere successivamente
la scelta di anni specifici nell'analisi) e calcolo del clima
    my_list_run_mean.sort(key=lambda x:
datetime.datetime.strptime(x[0]+'#2012', "%d,%b#%Y"))
    x=my_list_run_mean[0][0]    #corrisponde al giorno
    y=my_list_run_mean[0][1]    #corrisponde alla TOC con la media mobile
    for obj in my_list_run_mean:
        if obj[0] == '01,Oct':
            break
        if obj[0] == '28,Apr':
            continue
        else:
#crea la lista delle temp. dello stesso giorno dell'anno: 30 valori; se il
giorno cambia, calcola la media delle temp. del giorno precedente e la
deviazione standard
            if x==obj[0]:                #fissa il giorno
                y=obj[1]
                sameday.append(y)
            else:
                sumtmax=sum(sameday)
                tmaxmed=sumtmax/len(sameday)
                for w in sameday:
                    sc=((w-tmaxmed)**2)
                    sumsc.append(sc)
                sca=sum(sumsc)/(len(sameday)-1)
                dev_st=math.sqrt(sca)
                myline=[x,tmaxmed,dev_st]
                sumsc=[]
                myline=[x,tmaxmed]
                my_final_list.append(myline)
                tmaxinday=[]
                sameday=[]
                x=obj[0]
                y=obj[1]
                sameday.append(y)
#calcola la media e la deviazione standard del 30 settembre (ultimo giorno
della lista per l'anno corrente
    sumtmax=sum(sameday)
    tmaxmed=sumtmax/len(sameday)
    for w in sameday:
        sc=((w-tmaxmed)**2)
        sumsc.append(sc)
    sca=sum(sumsc)/(len(sameday)-1)
    dev_st=math.sqrt(sca)
    myline=[x,tmaxmed,dev_st]
    sumsc=[]
    myline=[x,tmaxmed]
    tmaxinday=[]
    sameday=[]
    my_final_list.append(myline)
    return my_final_list

```


Ringraziamenti

Ringrazio tutti quelli che mi hanno accompagnato nella stesura di questo lavoro, in particolare il Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici dove ho svolto anche l'attività di tirocinio, sviluppando l'analisi dei dati in preparazione alla tesi. Stefano M., grazie per la pazienza e le ispirazioni che mi hai dato.

Inoltre ringrazio i professori che hanno reso possibile il mio percorso di studi e il conseguimento di questo traguardo, sia in Italia che in Spagna.

Ringrazio in particolare il correlatore del corso di studi Enrico Dinelli, per la sua straordinaria pazienza e disponibilità fin dai primi giorni del primo anno accademico. Ha sempre voluto sostenere gli studenti da protagonista, in prima persona. Con naturalezza e complicità, ha scelto di rendere il mio percorso, e sicuramente quello di altri, più adatto a me, sempre pronto a dare consigli e proporre soluzioni. Grazie Enrico!

Sono grata anche al CNR-IVALSA che, durante la breve esperienza tra quei laboratori, mi ha aperto la mente alle scienze ambientali e all'analisi climatica.

Un pensiero non può mancare a tutti i compagni che mi sono stati accanto durante lo studio, le lezioni e le serate di questi tre anni. Sicuramente hanno avuto la pazienza e i sorrisi di cui avevo bisogno. Senza di loro non sarebbe stato sicuramente lo stesso, in particolare negli ultimi mesi. Ragazzi, conquistate il mondo!

Fuori dall'ambito accademico ma ugualmente formativa è stata la mia esperienza negli uffici di Via Berlinguer n°11. Vi ricorderò tutti. Danila, Roberto, Pietro, Chiara, Lucia, Paolo e tutti gli altri: anche voi mi avete accompagnato lungo la strada, grazie per avermi permesso di aiutarvi nel vostro lavoro.

Per quanto riguarda le persone più vicine a me, la mia famiglia, le parole non basterebbero. Grazie di cuore a tutti e tre, avete sempre creduto in me, in ogni circostanza, da vicino e da lontano: "Siamo Forti!". La vostra grinta e la vostra determinazione mi hanno contagiato. Stefano, anche tu di pazienza me ne hai concessa molta sin da quando sono nata forse, e io in cambio ho sempre avuto una profonda ammirazione per te, questo lo sai già probabilmente.

Amici di Trento, non vi ho dimenticato. Quello che sono ora è anche grazie a voi, di questi 25 anni, più di 20 li ho passati con voi, direi che ho detto tutto. Anche se non ci vediamo spesso, i ricordi non svaniscono.

Lucio, anche tu sei nella lista. Chiaramente pure tu hai contribuito al conseguimento di questo traguardo, grazie mille.

Infine sono anche grata ad Alessandro, e tutta la famiglia Filipponi compresi Artù e Matuyama, che mi hanno accolto in questa città come se fossi una di loro. Vi ringrazio per avermi sostenuto anche per le cose più piccole e semplici, ma in fondo sono quelle che contano davvero.