



Libera Università Internazionale degli Studi Sociali
Dipartimento di Economia e Management
Cattedra di Statistica Applicata ed Econometria

*Cambiamento Climatico e Produttività di Lavoro:
Cause ed Effetti nelle Regioni Italiane*

RELATORE

Prof.
Antonio Pacifico

CANDIDATO

Lorenzo D'Agostino
Matricola 268621

Cambiamento Climatico e Produttività di Lavoro: Cause ed Effetti nelle Regioni Italiane

Indice

Introduzione.....	3
-------------------	---

CAPITOLO PRIMO

Nascita e sviluppo del Cambiamento Climatico

1.1 Origini e cause del Cambiamento Climatico.....	7
1.2 Effetti e conseguenze del Cambiamento Climatico.....	18
1.3 Sistemi di mitigazione del Cambiamento Climatico.....	24

CAPITOLO SECONDO

Andamento dell'Economia italiana

2.1 L'Economia italiana: Settori Chiave.....	27
2.2 L'Italia Vulnerabile: Eventi Significativi.....	34

CAPITOLO TERZO

Stima degli effetti del Cambiamento Climatico sulla Produttività di Lavoro: un'analisi empirica

3.1 Modelli di Regressione Lineare Multipla a livello regionale.....	41
3.2 Modelli di Regressione Lineare Multipla a livello aggregato.....	53
3.3 Modelli di Regressione per Serie Temporal.....	58
Conclusioni.....	68
Bibliografia.....	70
Sitografia.....	72

Introduzione

Il progetto si pone come obiettivo, quello di studiare l'influenza del cambiamento climatico sull'Economia italiana nel periodo 2015-2023. Difatti, si osserveranno le variazioni della Produttività del Lavoro in conseguenza delle variabili climatiche e, nello specifico, si studieranno le variabili climatiche che hanno avuto un'influenza maggiore. Dopodiché, sapendo che l'Economia italiana si compone di tre settori quali primario secondario e terziario, si osserverà come le diverse branche di attività dei settori, siano state colpite significativamente o meno. In questa maniera, sarà possibile verificare l'andamento dei settori economici in vista dei fenomeni climatici estremi che si stanno verificando. Tali analisi sono state condotte mediante l'utilizzo di più modelli econometrici: in primo luogo, sono stati utilizzati modelli di Regressione Lineare Multipla tramite cui è stata analizzata la relazione tra la variabile dipendente (Produttività del Lavoro) e più variabili indipendenti (sia macroeconomiche sia climatiche). Poi, si è proceduto con l'uso di modelli di Regressione di Serie Storiche. Nel dettaglio, sono stati applicati i modelli AR (*Autoregressive*) ed i modelli ADL (*Autoregressive Distributed Lag*) così da osservare come il valore di una variabile in un dato momento dipenda dai suoi valori passati e da un termine di errore casuale; poi si è proceduto con la realizzazione di previsioni.

Per quanto riguarda il cambiamento climatico, questo si compone delle seguenti variabili:

- Temperatura: si tratta di una grandezza fisica utilizzata per misurare la quantità di calore nell'atmosfera
- Precipitazioni: si intendono quei fenomeni quali pioggia, neve, etc. capaci di raggiungere la superficie terrestre
- Velocità del vento (*Proxy* Pressione atmosferica): rappresenta il movimento dell'aria in termini di direzione e velocità; rappresenta la forza esercitata dall'aria sulla superficie terrestre
- Nuvolosità (*Proxy* visibilità): si tratta del numero e tipologia di nuvole presenti nell'atmosfera

In merito all'economia italiana, tra le variabili economiche da prendere in considerazione, si ha la variabile dipendente:

- Produttività del lavoro reale per persona: si tratta di una misura della quantità di produzione, realizzata in un determinato periodo di tempo rispetto all'impiego di lavoro. Pertanto, esprime l'efficienza tramite cui il lavoro produce degli output.

Seguono le altre variabili economiche indipendenti che riguardano il valore aggiunto per branca di attività. Tali variabili sono state scelte in funzione della loro rilevanza e pertinenza rispetto all'analisi da condurre. Sono rispettivamente:

- Agricoltura, silvicoltura e pesca: comprende le attività connesse alla produzione di beni primari, il cui valore aggiunto essenzialmente deriva dalla vendita di prodotti agricoli, animali e pesce.
- Industria alimentare: rappresenta il processo di trasformazione industriale dei prodotti agricoli e di allevamento destinati al consumo finale sul mercato.
- Industria manifatturiera: riguarda le attività di trasformazione delle materie prime in prodotti finiti o semilavorati. Al suo interno, sono compresi diversi settori (es. chimica, meccanica, metallurgica etc.).
- Industria tessile: nel dettaglio, pone l'attenzione alla trasformazione di fibre tessili in prodotti tessili da cui viene generato il valore aggiunto.
- Costruzioni: include le attività volte alla realizzazione, manutenzione e ristrutturazione di edifici ed infrastrutture.
- Servizi: si tratta di un settore molto ampio, comprende una serie di attività che forniscono valore immateriale (es. turismo, commercio, trasporto, etc.).
- Servizi di informazione e comunicazione: pone l'attenzione sulla produzione e distribuzione di informazioni e contenuti.
- Attività immobiliari: riguarda le attività di compravendita, affitto e gestione dei beni immobili.

Seguono le motivazioni in funzione delle quali sono state scelte determinate città:

La prima città presa in considerazione è Amalfi (Campania), in quanto negli ultimi anni ha vissuto una crescita ed uno sviluppo piuttosto significativo, sia nel settore turistico che nel benessere della città. Infatti, nel periodo aprile - settembre (2022) è stato registrato un tasso di occupazione media della Destinazione Costa d'Amalfi del 72,3%, il quale è ri-

sultato essere maggiore del 28,3% rispetto all'anno precedente. Confrontando questo risultato rispetto al tasso di occupazione medio della Campania per lo stesso periodo, pari al 45,4%, emerge che la Costiera Amalfitana è assai ambita in termini turistici¹. Un altro risultato importante è stato registrato nel 2019, anno in cui vi sono stati oltre 5M di pernottamenti negli alberghi e nelle strutture ricettive, generando così un significativo flusso di entrate per l'economia sociale².

La seconda città scelta per rappresentare la zona meridionale dell'Italia è Bari (Puglia). L'economia pugliese negli ultimi anni ha avuto una continua crescita significativa, anche se nel 2022 ha registrato un'intensità della crescita minore rispetto al 2021. Inoltre, secondo lo studio condotto da CESDIM (Centro studi e documentazione sull'industria nel Mezzogiorno), nel 2020 Bari si è collocata al primo posto in Puglia ed al secondo posto nel Sud Italia per il valore aggiunto del totale delle attività economiche (24.164,2 M)³.

Per quanto concerne l'analisi del Centro Italia, sono state prese come città Livorno (Toscana) e Civitavecchia (Lazio). Nel primo caso si ha uno dei porti più rilevanti della Toscana, nonché uno dei migliori in Italia; infatti, si tratta di uno scalo polivalente dal momento che dispone di una struttura capace di ricevere ogni tipologia di nave, dando luogo ad ampi scambi di ogni categoria merceologica. Livorno si caratterizza per una forte presenza del settore sia industriale che turistico, entrambi in crescita a seguito della pandemia⁴. Nel secondo caso, invece, Civitavecchia presenta il secondo porto crocieristico in Europa, nonché il primo in Italia, grazie al numero elevato di collegamenti marittimi. Nello specifico, si possono distinguere all'interno del porto due macroaree, a Sud si ha l'area turistica e diportistica, mentre a Nord si ha l'area industriale-commerciale che si caratterizza principalmente per i traffici commerciali, pesca e cabotaggio. Sotto l'aspetto economico, il porto di Civitavecchia, oltre a dimostrare di avere grandi flussi economici futuri, nel 2019 ha raggiunto il record di oltre un milione di passeggeri, generando elevati profitti. Inoltre, rappresenta il punto sia di partenza che di arrivo per il trasporto merci

¹ <https://distrettocostadamalfi.it/presentati-a-salerno-i-dati-sul-turismo-in-costa-damalfi/>

² <https://www.ecostiera.it/the-greeners-5-milioni-lanno-in-costiera-serve-turismo-sostenibile/>

³ https://www.quotidianodipuglia.it/bari/bari_settore_produttivo_sud_cosa_sappiamo-7458493.html#:~:text=Cos%C3%AC%20nel%202020%2C%20secondo%20i,24.164%2C%202%20milioni%20di%20euro.

⁴ <https://www.portialtotirreno.it/i-porti/porto-di-livorno/>

verso e fuori la regione Lazio e, quindi Roma. In aggiunta, l'economia della città è piuttosto diversificata poiché racchiude al suo interno non solo il settore turistico e dei servizi, ma anche settori legati al commercio, alla agricoltura e alle industrie manifatturiere⁵.

Salendo il territorio nazionale, sono state scelte come città rappresentative del Settentrione, Genova e Rimini: la prima pone le fondamenta della propria economia su settori quali porto e logistica, turismo e cultura; inoltre, il suo porto rappresenta il punto di riferimento nel campo dello *Short Sea Shipping* nazionale e mediterraneo. Dunque, si potrebbe affermare che Genova è una realtà polivalente⁶. Per quanto riguarda Rimini (Emilia-Romagna), la sua struttura economica si basa principalmente su turismo, servizi, agricoltura e pesca; tuttavia, i primi due risultano i più rilevanti. Come riportato dal report "La ricchezza dei comuni turistici" redatto da Sociometrica, risulta che Rimini è stata nel 2022 il primo comune balneare d'Italia per valore aggiunto generato dall'industria dell'ospitalità (1,5 Miliardi di € generati dal turismo)⁷. A tal proposito la città dispone di un'industria alberghiera ben sviluppata, fornita di varie strutture. Infine, segue Cagliari (Sardegna), la quale possiede un porto internazionale e viene considerata la seconda città del mezzogiorno più competitiva, nonostante abbia grandi differenze e fragilità. Suddiviso in tre aree, il porto rappresenta un punto di riferimento per le attività di *transshipment* del Mediterraneo occidentale, consentendo il traffico sia commerciale, sia crocieristico, sia marittimo; la medesima zona, inoltre, possiede degli accosti petrolchimici-petroliiferi. Altri due punti di forza della città sono il settore turistico e quello industriale: la città presenta più di 420 imprese operanti in settori come petrolchimico, meccanico fine, manifatturiero e di alta specializzazione tecnologica⁸. Dal punto di vista turistico, come emerge dalla "Dashboard 2022 dei Movimenti turistici" riportata dall'Osservatorio del turismo, artigianato e commercio della Sardegna, la copertura media del 2022 è stata del 68,35%, mentre nel periodo 2020-2022 sono aumentati gli arrivi dei turisti⁹.

Il progetto in esame si struttura in tre capitoli, ciascuno dei quali analizza i principali aspetti del rapporto tra il cambiamento climatico e la produttività del lavoro in Italia.

⁵ <https://www.portidiroma.it/porto-di-civitavecchia>

⁶ <https://www.assagenti.it/Public/dataereportFile/ImpattoEconomico-socialePortodiGenova.pdf>

⁷ <https://www.comune.rimini.it/novita/turismo-rimini-prima-tra-i-comuni-balneari-valore-aggiunto>

⁸ <https://cacip.it/cacip-cosa-facciamo/area-industriale-di-cagliari/>

⁹ <http://osservatorio.sardegnaturismo.it/it/dashboard/dati-2022>

Il primo capitolo, Nascita e sviluppo del Cambiamento Climatico, esamina le prime origini del cambiamento climatico: in particolare, si esploreranno le possibili cause scatenanti, distinguendo tra fattori esogeni ed endogeni, naturali e umani. Successivamente, si osserveranno gli effetti e le conseguenze manifestatisi a causa del cambiamento climatico, sia nel breve che nel lungo periodo. Infine, si mostreranno delle possibili soluzioni e sistemi di adattamento e di mitigazione del fenomeno.

Il secondo capitolo, Andamento dell'Economia italiana, si focalizza sull'evoluzione dell'economia italiana, analizzando non solo le principali crisi a cui questa ha assistito, ma anche i settori chiave che la costituiscono. In aggiunta, si osserverà l'impatto di casi rilevanti di cambiamento climatico che hanno riguardato l'Italia.

Infine, il terzo capitolo, Stima degli effetti del Cambiamento Climatico sulla Produttività di Lavoro: un'analisi empirica, prevede l'utilizzo di dati economici e climatici al fine di stimare le relazioni tra le variabili climatiche e la produttività in più settori economici. In particolar modo, si evidenzieranno i possibili danni economici verificatisi nel tempo e quelli potenzialmente futuri.

1.1 Origini e cause del Cambiamento Climatico

Ad oggi, il cambiamento climatico rappresenta una minaccia per l'uomo, oltreché per il Pianeta. Si tratta di un fenomeno che si manifesta tramite mutamenti dei modelli meteorologici e delle temperature, nel lungo termine. Sebbene questo nel corso dei secoli, sia esistito in forma naturale, negli ultimi 150 anni è divenuto un fenomeno antropogenico. Il processo di intensificazione, infatti, si colloca agli inizi del 1800, dal momento che la rivoluzione industriale messa in atto dall'uomo si basava sull'uso dei combustibili fossili. In questo modo, si determinò una forte produzione di gas serra nell'atmosfera terrestre. Tuttavia, i primi effetti negativi sono stati osservati solamente intorno al 1950, anno in cui, uno dei principali gas ad effetto serra quale diossido di carbonio, ha subito un incremento della propria concentrazione di **400 parti per milione**. Secondo il rapporto WMO, il periodo 2015-2022 è stato il più caldo che sia mai stato registrato da quando i modelli climatici sono oggetto di studio. Nel 2022, infatti, la temperatura media è risultata superiore di circa 1,15 °C rispetto ai livelli pre-industriali (1850-1900). Da ciò risulta ancora

più evidente, considerando che nello stesso periodo, si ha avuto per tre anni consecutivi il raffreddamento della *Niña*, fenomeno oceanico e atmosferico¹⁰.

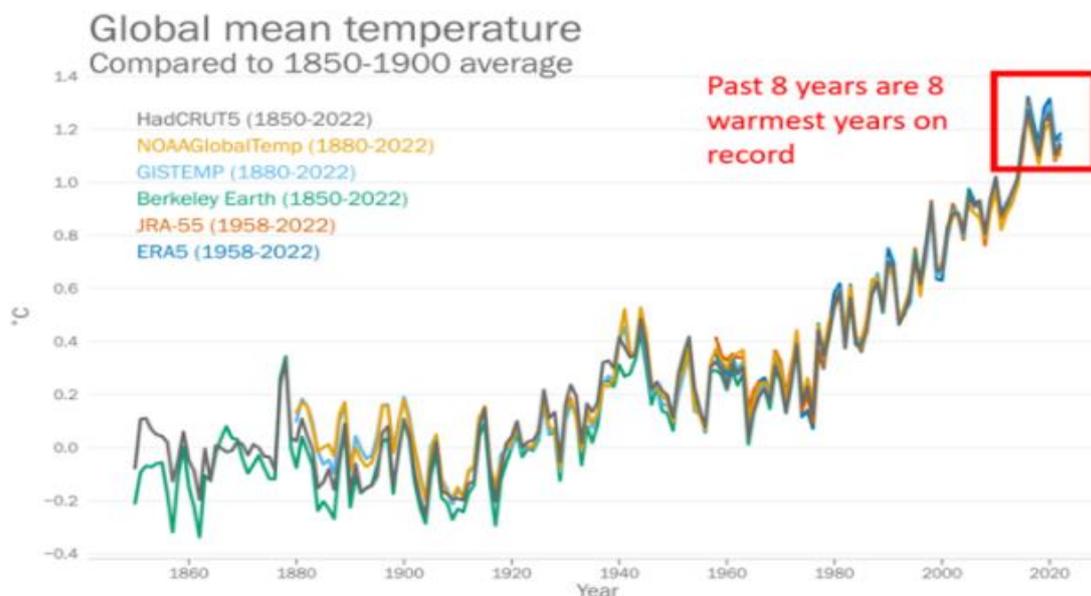


Figura 1: Temperatura media globale. Fonte: World Meteorological Organization (<https://wmo.int/news/media-centre/wmo-annual-report-highlights-continuous-advance-of-climate-change>)

Analizzando le cause del riscaldamento globale, con il termine forzante si intendono quei fattori che influenzano il sistema climatico terrestre e si articolano in forzanti esogeni ed endogeni; nel primo caso si tratta di cause esterne alla Terra, mentre il secondo caso riguarda cause interne al Pianeta. Le forzanti esogene sono esclusivamente di origine naturale e rientrano in questa categoria le attività del Sole. Le forzanti endogene, invece, possono essere sia di origine naturale che antropica. Nello specifico rientrano nelle forzanti naturali le attività vulcaniche ed i processi geologici, mentre fanno parte delle forzanti antropiche le attività umane che interagiscono con il suolo e con la composizione dell'atmosfera¹¹. Esaminando il grafico (figura 2) che mostra gli andamenti medi della temperatura globale (linea rossa) e delle radiazioni emesse da sole (linea gialla) con base 11 anni, emerge che, nel periodo 1880-2020, le emissioni di radiazioni solari, pur avendo avuto variazioni significative, hanno mantenuto un andamento piuttosto costante. Invece,

¹⁰ <https://wmo.int/news/media-centre/wmo-annual-report-highlights-continuous-advance-of-climate-change>

¹¹ <https://climate.nasa.gov/causes/>

si nota come la temperatura media globale abbia subito un netto incremento dal 1950 in poi, mostrando un andamento opposto rispetto a quello delle radiazioni solari. Queste ultime, infatti, non hanno avuto alcun incremento significativo nello stesso periodo; qualora il cambiamento climatico fosse stato causato dall'attività solare, gli scienziati si sarebbero aspettati un aumento delle temperature in tutti gli strati dell'atmosfera. Tuttavia, l'aumento si è verificato esclusivamente negli strati influenzati dai gas serra. Per tali ragioni, risulta altamente improbabile che il riscaldamento globale sia dipeso dall'energia emessa dal Sole¹².

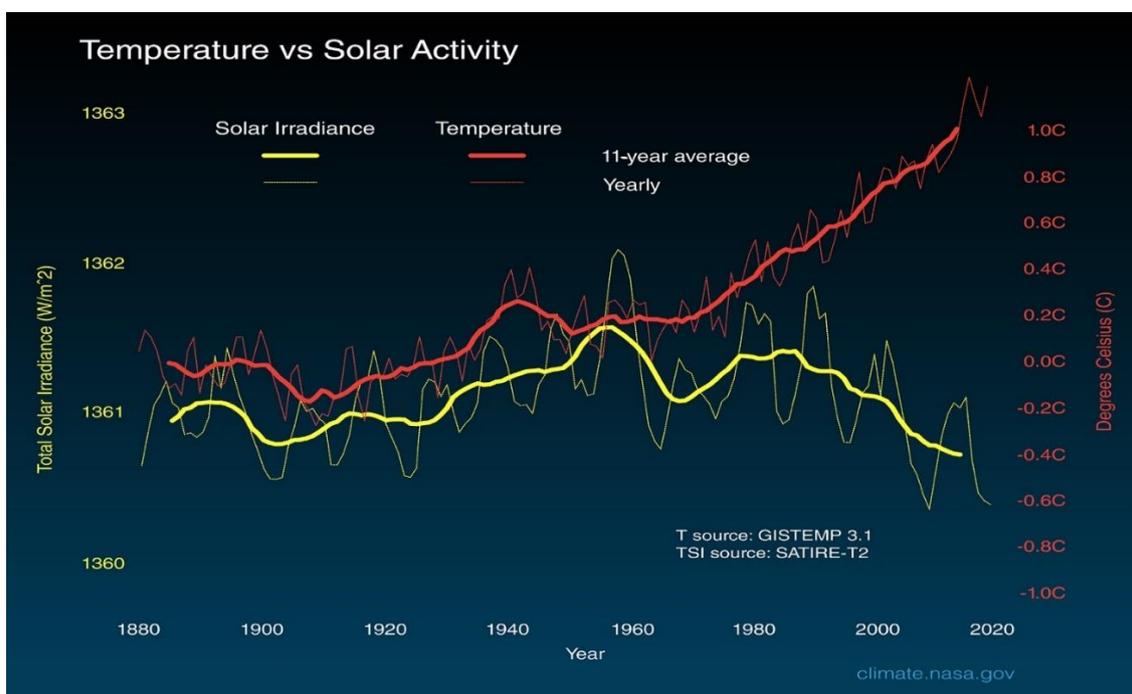


Figura 2: Confronto tra la Temperatura e attività solare. Fonte: Nasa (<https://science.nasa.gov/resource/graphic-temperature-vs-solar-activity/>)

Per quanto concerne le forzanti endogene, segue un'analisi di quelle naturali. Un esempio ne è l'attività dei vulcani, i quali immettono nella stratosfera gas chimici e particelle di aerosol solide. Queste immissioni interagiscono con il sistema climatico del pianeta, interferendo con l'equilibrio chimico stratosferico. La nube che si genera a seguito di

¹² https://climate.nasa.gov/climate_resources/189/graphic-temperature-vs-solar-activity/

un'eruzione vulcanica produce effetti sulla temperatura superficiale per un periodo limitato nel tempo (decade entro un anno circa). Tuttavia, si tratta di effetti effimeri, giacché diventano irrilevanti una volta che le particelle presenti nella nube si depositano sul suolo. Infatti, i solfati introdotti nella troposfera dalle eruzioni vulcaniche episodiche, presentano una vita piuttosto breve rispetto agli aerosol stratosferici. Per questo motivo si ritiene che abbiano un peso poco rilevante nel riscaldamento globale. Potrebbero diventare rilevanti, qualora le attività vulcaniche sviluppassero un ciclo eruttivo continuo e di lungo termine. Lo studio delle attività vulcaniche ha evidenziato come grandi eruzioni determinino squilibri nel sistema climatico, che risultano di breve durata (dai due ai tre anni). Gli studi portati avanti da Free e Robock (1999)¹³ hanno dimostrato che i mutamenti del clima avvenuti dal 1600 al 1850, erano dovuti ad attività di origine naturale: le attività vulcaniche avevano svolto un ruolo rilevante sul cambiamento climatico. Ciononostante, i loro studi riportano anche che il riscaldamento globale verificatosi successivamente al 1850, non poteva essere in alcun modo legato alle cause naturali e, affinché potesse essere spiegato, si rendeva necessario considerare l'attività antropogenica.

Analizzando, invece, i fattori antropogenici, al loro interno rientrano: l'effetto serra antropico, deforestazione, industrializzazione e uso di combustibili fossili. Tuttavia, si rende necessario ricordare che questi sono tra loro correlati. Per quanto concerne l'effetto serra naturale, la presenza di alcuni gas nell'atmosfera terrestre permette lo sviluppo della vita sul pianeta, in quanto garantisce il riscaldamento ottimale dell'atmosfera stessa, facendole raggiungere una condizione di equilibrio. Infatti, l'assenza di questo processo causerebbe una temperatura della superficie terrestre minore di circa 33 °C. Un'elevata concentrazione di alcuni gas, invece, determinerebbe anche un rallentamento del processo di rilascio del calore nello spazio, generando una prima forma di riscaldamento globale. I principali gas che determinano l'effetto serra, sono l'anidride carbonica (CO₂), il metano (CH₄), l'ossido di azoto (NO₂) e, infine, i gas fluorurati (F-Gas).

¹³ Free, M., and A. Robock, Global warming in the context of the Little Ice Age, *J. Geophys. Res.*, 104, 19,057-19,070, 1999

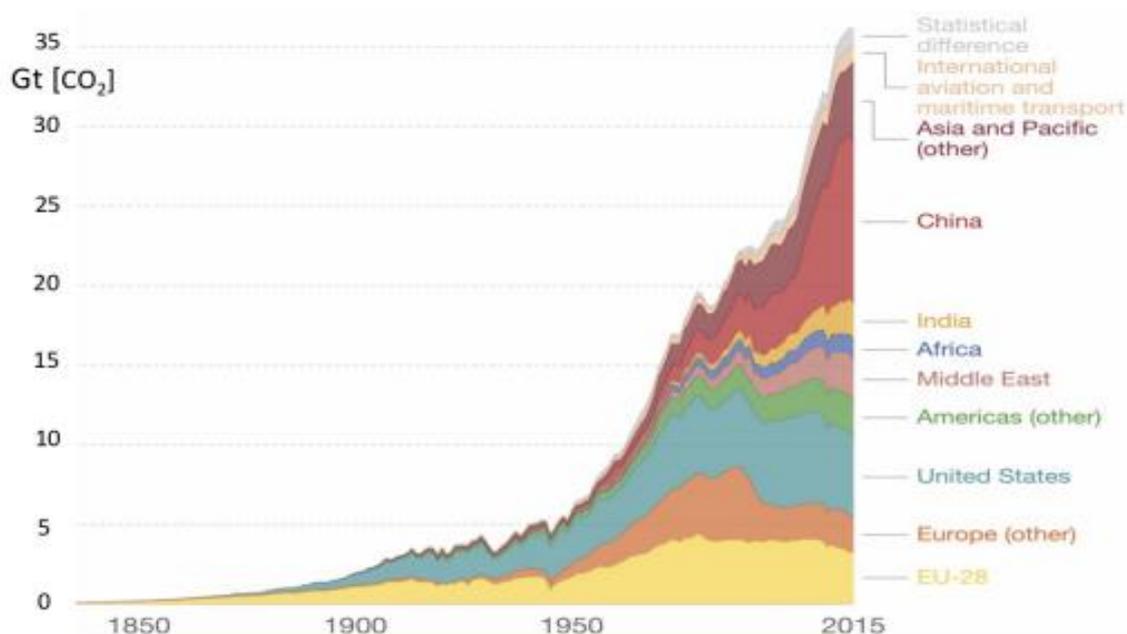


Figura 3: Emissioni di anidride carbonica nel periodo 1850-2015 espresse in Gt (miliardi di tonnellate) e distinte per macroaree. Fonte: CDIAC, modificata

L'anidride carbonica (CO₂) rappresenta il principale fattore del riscaldamento globale e viene prodotta tramite processi di combustione, di coltivazione e di cambiamento dell'uso del terreno. Dalla figura 3, si osserva che nell'epoca industriale si è registrato un primo incremento della sua produzione, guidato principalmente dai paesi occidentali; negli ultimi decenni i principali *drivers* sono stati i paesi emergenti. Secondo il *Greenhouse Gas Bulletin* del WMO, l'anidride carbonica avrebbe raggiunto un valore pari al 149 % del valore registrato in epoca preindustriale¹⁴. Come riportato dal Sole 24 Ore – CO₂ *emissions of all world countries 2022 Report*, si ha una tendenza crescente delle emissioni di CO₂, al cui interno sono considerati i seguenti settori: edilizia, trasporti, industria dell'energia elettrica, altre combustioni industriali, altri settori. Sapendo che i dati sono stati riportati in termini di mega tonnellate metriche di CO₂ per anno, si osserva che nel 2021 le emissioni di CO₂ hanno raggiunto un totale di 37.857,58, di cui 14.258,81 sono stati generati tramite la *Produzione di energia*, seguita rispettivamente dal settore *Altre combustioni industriali* con 8.118,46, *Trasporti* con 7.643,48, *Altri settori* hanno prodotto 4.424,09 ed infine *Edilizia* con 3.412,74. Da ciò emerge che la Produzione di energia

¹⁴ <https://wmo.int/topics/greenhouse-gases>

negli anni si sia affermata **come il settore con maggior produzione di CO₂**. Ogni settore nella transizione dal 2020 al 2021 ha aumentato le proprie emissioni. L'unico settore ad aver mantenuto un andamento lineare e abbastanza costante è stato l'Edilizia. Esaminando, invece, il contributo dei vari paesi in termini di emissioni, si vede che la Cina ha emesso circa il 33%, seguita da: Stati Uniti (12,5%), Unione Europea (7,3%), India (7%) e Russia (5%)¹⁵. Analizzando ogni settore nello specifico, si osserva il rispettivo incremento percentuale rispetto al 1970: nel settore della produzione di energia, l'incremento in termini di percentuale, è stato di 267,54%; nel settore edilizio invece di 16,03%; per gli altri settori 137,53%; nei Trasporti 169,57%, per altri settori di combustione 76,41%. Da questi dati, si ha la conferma di come l'uomo nel periodo osservato (1970-2021) abbia incrementato le emissioni di CO₂ e, si nota nuovamente quanto il settore energetico abbia tuttora un impatto significativo sul riscaldamento globale.

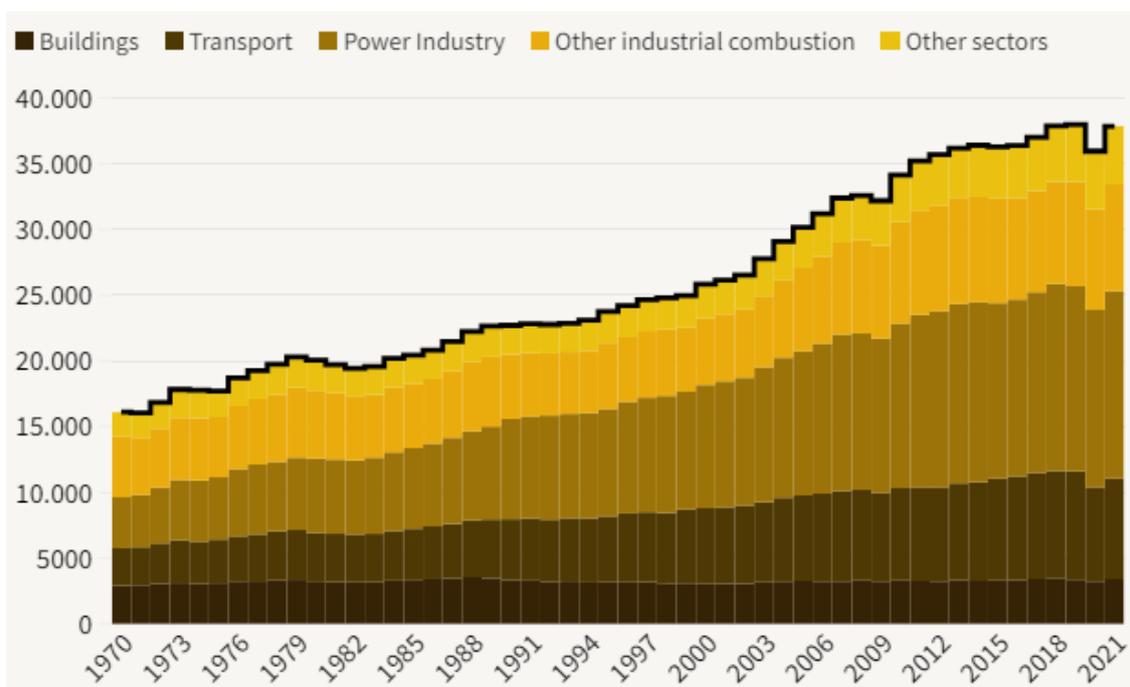


Figura 4: Emissioni globali di CO₂ per settore, dati espressi in mega tonnellate metriche di CO₂ per anno. Fonte: CO₂ emissions of all world countries, 2022 Report (<https://lab24.ilsole24ore.com/cop27-dati-CO2-mondo/>)

¹⁵ <https://lab24.ilsole24ore.com/cop27-dati-CO2-mondo/>

Come detto in precedenza, un altro processo tramite cui si produce anidride carbonica, è il cambiamento dell'uso del suolo: si tratta di un procedimento che prevede il disboscamento del terreno, ovvero sia l'eliminazione della vegetazione. In questa maniera si permette di convertire il suolo per altri fini: agricoltura, costruzioni urbanistiche, industrializzazione e pascolo. Si deve sapere che le foreste ricoprono circa un terzo della superficie terrestre e la metà di queste risulta essere ancora intatta. La letteratura è solita distinguere due tipologie di cause della deforestazione, cause dirette e indirette. Nelle prime generalmente si ritrovano l'espansione dei campi per l'agricoltura, la raccolta della legna da ardere, le attività di pascolo, gli incendi e l'urbanizzazione. Nelle seconde invece, si hanno colonialismo, sfruttamento dei paesi industrializzati e sovrappopolazione. Per quanto riguarda la fonte considerata principale della deforestazione, si ha l'espansione dei terreni agricoli dato che causerebbe circa il 60% della deforestazione tropicale (Myers, 1994; Anon., 1991). Il motivo per cui ciò si verifica spesso è dovuto alla tecnica della coltivazione itinerante, che prevede lo sfruttamento del terreno per uso agricolo o di pascolo, fino a quando esso non si esaurisce definitivamente. Una volta accaduto ciò, si procede alla deforestazione di nuovi terreni nelle vicinanze o, anche, in altre zone. Ciononostante, sembrerebbe che l'uso di questa tecnica stia diminuendo. In aggiunta a quanto detto, la realizzazione di nuove piantagioni, per quanto possa risultare un evento positivo, causa tuttavia una maggiore deforestazione. I terreni subiscono l'eliminazione della vegetazione autoctona: ad esempio, le piantagioni volte alla produzione di legname determinano un ulteriore effetto negativo per gli ecosistemi delle foreste tropicali secondo gli studi di Kartodihardjo e Supriono¹⁶. La raccolta di legna da ardere, invece, non è considerata propriamente una causa principale della deforestazione; tuttavia, lo diviene in funzione del territorio in cui tale raccolta si verifica, come nelle regioni popolate con zone forestali ridotte (Filippine, Thailandia e altre zone dell'America centrale). A titolo esemplificativo sulla raccolta del legname, quest'azione fu considerata significativamente distruttiva in El Salvador giacché causò un eccessivo degrado forestale (Repetto, 1990)¹⁷.

Nelle zone più aride dei tropici sono abbastanza usuali le attività di pascolo, le quali possono diventare un problema in quanto hanno la capacità di rendere vaste aree dei deserti.

¹⁶ Kartodihardjo, H. and Supriono, A. 2000. The impact of sectoral development on natural forest conversion and degradation: the case of timber and tree crop plantations. CIFOR Occasional Paper No. 26, Bogor Indonesia.

¹⁷ Repetto, R. 1990. Deforestation in the Tropics. Scientific American April, p. 37.

Ciò generalmente si verifica a causa dei greggi di pecore e capre che usufruiscono delle praterie a tal punto che la vegetazione non cresce più e si creano strati di terra arida (desertificazione). Specialmente in Cina, si verifica il fenomeno della “tragedia dei beni comuni”, in conseguenza del quale gli individui, pur condividendo i terreni, allevano gli animali al fine di arricchirsi; seguendo questo scopo, si cerca di allevare più animali possibili, così l’aumento continuo dei greggi determina un’attività eccessiva di pascolo.

Come affermato in precedenza, tra le cause dirette rientrano anche gli incendi boschivi: si tratta di un fenomeno sempre più frequente a causa del cambiamento climatico; infatti, con l’aumento delle temperature medie, sono aumentate le possibilità che ciò si verifichi. Affinché un incendio boschivo si generi, sono necessari e sufficienti tre fattori, quali ossigeno, combustibile ed una fonte di calore. L’ossigeno funge da comburente e permette che vi sia la reazione di combustione, alimentando la fiamma; la fonte di calore, invece, si occupa di creare delle condizioni di calore sufficienti affinché si inneschi tale reazione. Per quanto concerne il combustibile, nel caso di boschi e foreste, esso può essere qualsiasi cosa, dagli alberi alle piante. Tuttavia, in questo processo di combustione, assume importanza anche la quantità di acqua presente nelle piante, giacché influenza la velocità con cui queste prendono fuoco e la velocità di propagazione dell’incendio. Qualora non ci siano piogge per un periodo di tempo lungo e la vegetazione sia esposta ai raggi del sole, allora l’acqua presente nelle piante tenderà ad evaporare più facilmente. Negli ultimi anni si è assistito ad un aumento delle temperature medie e ad una diminuzione delle precipitazioni medie, ciò ha favorito questo processo realizzando un circolo vizioso: si origina una serie di retroazioni negative favorite sia dal riscaldamento globale, che dalla deforestazione. Analizzando i terreni colpiti dagli incendi, risulta che “sulla base dei dati disponibili provenienti da 118 paesi che rappresentano il 65% della superficie forestale globale, una media di 19,8 mln di ettari, ovvero l’1% di tutte le foreste, è stata segnalata come significativamente colpita dagli incendi boschivi” (Anon., 2010). Esaminando la situazione in Italia, secondo il Rapporto del 2022 di Legambiente¹⁸, è emerso che nel 2021 sono stati soggetti ad incendi 159.437 ettari di superficie boschiva, registrando un +154% rispetto al 2020; solo all’inizio del 2022 sono stati bruciati già 26.270 ettari. Osservando,

¹⁸ <https://www.legambiente.it/wp-content/uploads/2021/11/report-incendi-2022.pdf>

invece, il periodo 2008-2021, si assume dal Report che in Italia, oltre 723.924 ettari di terreno sono stati bruciati; questo dato risulta maggiormente significativo se si pensa che l'area interessata è grande quasi quanto l'intera regione Umbria.

L'urbanizzazione è un fenomeno riguardante non solo il nostro paese, ma l'intero pianeta e si verifica tramite l'attuazione di processi insediativi sul suolo, che prevedono la nascita o l'espansione di centri urbani. Spesso è motivo di deforestazione nelle zone tropicali per lo sviluppo di infrastrutture volte allo sfruttamento petrolifero (Kaimowitz e Angelsen 1998). Raffrontando il fenomeno in Italia, come riportato dall'università dell'Aquila, si è assistito nel periodo 1950-2000 ad una copertura urbana sul 44% della superficie nazionale. Nello specifico, questa copertura urbana è stata del 400% in Molise, Puglia e Abruzzo, del 500% in Emilia-Romagna e del 1.154% in Sardegna. Infine, si è notato che si ha una tendenza alla crescita urbana anche in zone soggette a cali considerevoli della popolazione. In aggiunta a ciò, la Lombardia nel periodo 1999-2007 è stata soggetta ad una riduzione dei suoi terreni agricoli di oltre 43.000 ettari. Le Marche similmente alla Lombardia hanno subito questo processo di urbanizzazione.¹⁹

¹⁹ <https://www.scienzainrete.it/contenuto/articolo/consumo-di-suolo-emergenza-italiana>

Annual rate of forest expansion and deforestation, 1990–2020

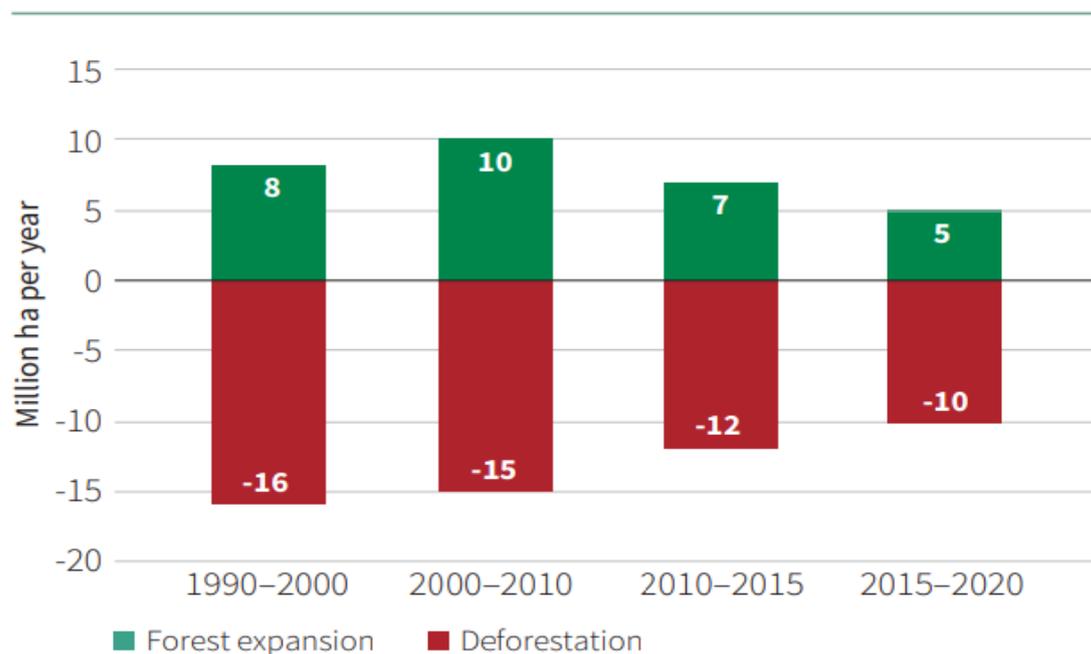


Figura 5: Tasso annuale di espansione e deforestazione delle foreste; Fonte: FAO (Global Forest Resources Assessment 2020)

Secondo il *Global Forest Resources Assessment 2020*²⁰, è stato stimato che dal 1990 fino al 2020 siano stati diboscati circa 420 mln di ettari di foreste. E, osservando il grafico (figura 5), sebbene il tasso di diboscamento stia diminuendo significativamente, tuttavia le aree di espansione delle foreste restano minori rispetto a quelle di diboscamento. Alla luce di quanto finora osservato, se considerassimo l'anidride carbonica in termini di bilancio energetico, si osserverebbe che la differenza tra CO₂ prodotta e quella che viene poi smaltita resta considerevole, non consentendo una riduzione dell'effetto serra. Ciò lo si è visto inizialmente a livello industriale, osservando come le emissioni dei paesi siano incrementate significativamente, le quali hanno raggiunto il **+149% delle emissioni rispetto all'epoca industriale**. Successivamente si è osservato un altro fattore che si lega all'effetto serra (CO₂), cioè deforestazione, a seguito del quale si è potuto comprendere come la deforestazione, per quanto in calo, sia ancora superiore rispetto alle zone boschive generate (figura 5). Le modalità di uscita della CO₂ sono gli assorbimenti negli

²⁰ <https://www.fao.org/3/ca9825en/ca9825en.pdf>

specchi d'acqua e il processo di fotosintesi clorofilliana. Attualmente non sono sufficienti per contenere e controllare le emissioni di CO₂: la deforestazione fa sì che venga sempre meno la fotosintesi mentre il cambiamento climatico stesso aumenta le temperature, creando nuovi problemi, come l'acidificazione degli oceani, che verranno analizzati successivamente.

Dopo la CO₂, segue il Metano (CH₄) come maggior responsabile dell'effetto serra: si tratta di un gas capace di trattenere il calore circa 28 volte di più rispetto all'anidride carbonica. Tuttavia, questo presenta una vita meno longeva, giacché permane nell'atmosfera per un periodo di tempo che varia dai 10 ai 12 anni. Attualmente risulta che il metano sia responsabile del circa 20% dei cambiamenti climatici avvenuti nel XX secolo. Per quanto concerne i modi tramite cui si produce, si ha che il 30% delle sue emissioni sono generate dalle zone umide, come stagni, laghi e fiumi. Un altro 20% delle emissioni di metano viene prodotto dall'agricoltura, infatti, la combinazione dell'allevamento, della gestione dei rifiuti e coltivazioni di riso permettono ciò. Un altro 30% si determina tramite attività legate all'estrazione di petrolio, gas e carbone. Il restante 20% circa, viene prodotto da fonti minori come gli incendi, permafrost, oceano e dighe. Le sue concentrazioni hanno subito un incremento superiore del 150% da quando hanno avuto inizio le attività industriali e l'agricoltura intensiva.²¹

Dopodiché si ha l'ossido di azoto, infatti, l'azoto se combinato con l'ossigeno dà origine a dei composti chimici denominati NO_x. Tra i vari composti generati, i più rilevanti in termini di inquinamento atmosferico e riscaldamento globale sono l'ossido di azoto e il biossido di azoto. Nel primo caso, si tratta di un gas inodore che si origina tramite un processo di combustione, al cui interno si impiega come comburente l'aria. Quasi il 10% di questo composto, dopo essere stato immesso nell'atmosfera, si trasforma in biossido di azoto tramite l'azione delle radiazioni solari. Entrambi i composti esaminati, favoriscono non solo la formazione di piogge acide, ma permettono anche l'accumulo di nitrati nel suolo; in questa maniera, aumentano le possibilità di influenzare significativamente gli equilibri ecologici ambientali. Le principali fonti di emissione si distinguono anche in questo caso in fonti naturali e fonti antropogeniche. Infatti, tra i principali fattori si hanno

²¹[https://svs.gsfc.nasa.gov/5116/#:-:text=Methane%20\(CH%E2%82%84\)%20is%20a%20powerful,activities%20and%20intensive%20agriculture%20began.](https://svs.gsfc.nasa.gov/5116/#:-:text=Methane%20(CH%E2%82%84)%20is%20a%20powerful,activities%20and%20intensive%20agriculture%20began.)

la combustione di combustibili fossi, come il petrolio, volta alla produzione di energia, le centrali termoelettriche e autoveicoli, vulcani, batteri e fulmini²². Si tratta di un gas inquinante secondario che resta nell'atmosfera per pochi giorni; tuttavia, risulta dannoso per la salute umana²³

Per quanto concerne i gas fluorurati, noti anche sotto il nome di F-gas, sono dei composti chimici artificiali generalmente utilizzati come fluidi per il funzionamento di sistemi di refrigerazione, di climatizzazione e, anche per attività legate alla protezione antincendio. Sebbene svolgano un ruolo rilevante per la vita quotidiana, tuttavia si caratterizzano per un potenziale di riscaldamento globale assai alto; infatti, riescono a superare la CO₂ in termini di pericolosità di circa 23.000 volte. Inoltre, la loro permanenza nell'atmosfera può arrivare anche a 2000 anni. Perciò, risulta necessario non sottostimarli. In Europa rappresentano il 2,6% delle emissioni totali di gas serra, il cui 55% circa viene prodotto rispettivamente da Italia, Francia, Regno Unito e Germania²⁴.

1.2 Effetti e conseguenze del Cambiamento Climatico:

Dopo aver osservato la storia e le cause del riscaldamento globale, diviene altrettanto necessario considerare le conseguenze e dunque, gli effetti sulla vita terrestre. Il cambiamento climatico ha determinato una moltitudine di problemi sia climatici che ecologici. Si pensi, infatti, ai mutamenti della temperatura terrestre, ai nuovi regimi di precipitazione, all'innalzamento del livello del mare, all'inquinamento atmosferico e, al declino delle foreste. Andando per ordine, la prima conseguenza significativa, è l'aumento delle temperature medie: diverse aree del pianeta, a causa di questo incremento, stanno assistendo a una maggiore frequenza di giornate particolarmente afose e caratterizzate da forti ondate di calore. Inoltre, sono aumentati i rischi di incendi e conseguentemente anche la loro facilità di propagazione. Con questo ritmo, si andranno a modificare le distribuzioni geografiche delle zone climatiche. Per tale ragione, l'inverno è divenuto meno sentito e, durante l'anno solare, sono ormai diminuite le precipitazioni. Infatti, la frequenza delle

²² <https://www.arpa.vda.it/en/aria/l-inquinamento-atmosferico/2531-l-ozono>

²³ <https://www.arpalazio.it/ambiente/aria/inquinanti>

²⁴ https://www.legambiente.it/wp-content/uploads/2022/12/FACTSHEET_l-gas-refrigeranti-e-il-clima-una-sfida-possibile.pdf

piogge è sempre più bassa e si determina una maggiore umidità in virtù delle temperature più alte. Di conseguenza le precipitazioni non solo presentano una minore cadenza, ma si manifestano mediante tempeste violente e intense, determinando ingenti danni al Pianeta. In questo caso l'umidità assume un ruolo rilevante, giacché tende ad accentuare i fenomeni come precipitazioni e inondazioni. Molte aree geografiche stanno vivendo la formazione di nuovi regimi di precipitazione propri delle zone tropicali, con un conseguente aumento di cicloni, tifoni e uragani. Queste tempeste risultano significativamente pericolose in quanto la loro forza è tale da non permettere al suolo di assorbire l'acqua. Non riuscendo il terreno ad assorbire la maggior parte dell'acqua, si verifica come conseguenza un'inondazione nella zona interessata. Inoltre, la forza esercitata dalle estreme piogge colpisce in primo luogo il settore agricolo: i raccolti vengono fortemente corrotti, mentre i terreni divengono inutilizzabili. Ciò si riversa, a sua volta sull'economia dei paesi, i quali vedono le proprie opportunità economiche svanire. In secondo luogo, le piogge in esame, qualora si verificassero in zone urbane, determinerebbero effetti negativi sulle infrastrutture: sia i cittadini privati che le imprese vedrebbero le proprie strutture subire da un lato dei crolli, dall'altro delle criticità; in entrambi i casi si renderebbe necessario fermare le attività economiche.

I fenomeni finora spiegati (temperature alte e piogge estreme) originano come conseguenza, l'intensificazione della siccità. Allora questo avvenimento fa sì che le zone già caratterizzate da uno stress idrico, risultino colpite più intensamente, mentre nuove regioni geografiche assistono all'insorgenza di mancanza delle risorse idriche. Pertanto, si darebbe luogo ad una maggiore vulnerabilità dei sistemi ecologici. In seguito a ciò, una forte siccità conduce a delle tempeste di sabbia, le cui forze sono capaci di spostare miliardi di tonnellate di polveri su più continenti. Ne consegue che il suolo subisce uno stress così forte da renderlo più fragile e facilmente esposto ad erosione e desertificazione. Il terreno, diventando più secco, non permetterebbe la nascita della vegetazione (favorito anche dalla deforestazione), presentando esclusivamente polvere e terra secca. Tutto ciò determina degli effetti a catena che colpiscono più aree: agricoltura, silvicoltura, biodiversità, infrastrutture, trasporti e settore energetico. Un esempio ne è l'Europa, la cui siccità estrema sta diventando ormai più frequente, causando delle perdite di circa 9 miliardi di euro. Questa cifra è destinata ad aumentare qualora la temperatura terrestre continui il suo incremento. Si stima, infatti, che le perdite possano diventare due volte più frequenti,

a tal punto da raggiungere 40 miliardi di euro in termini di perdite²⁵. In questo contesto le zone europee più colpite sarebbero sicuramente quelle mediterranee. Le siccità estreme e le forti ondate di calore hanno portato anche ad un'estensione delle zone a rischio incendio: molte zone pur non essendo in origine soggette ad incendi boschivi, lo potrebbero diventare (in parte lo stanno già diventando). Le temperature estremamente alte contribuiscono ad accelerare e incrementare il processo di evaporazione dell'acqua, favorendo nuovamente la siccità.

Un'ulteriore problematica la stanno vivendo gli oceani in quanto stanno assistendo ad un riscaldamento delle loro temperature e un innalzamento del proprio livello. Gli oceani tra le varie funzioni svolte, si occupano di assorbire il calore derivante dal riscaldamento atmosferico globale; tuttavia, il ritmo del loro riscaldamento è divenuto più veloce a causa del riscaldamento globale; ciò si è verificato nei vari livelli di profondità degli oceani. Dal momento che aumenta la loro temperatura, conseguentemente si incrementa anche il volume delle acque (termo-dilatazione), pertanto, si determina un innalzamento del loro livello. In questa maniera, si verifica un progressivo scioglimento delle calotte glaciali che va a minacciare in primo luogo le comunità costiere e insulari. A tal proposito, si devono considerare ad esempio, che quasi un terzo della popolazione dell'Unione Europea si trova vicino le coste e genera oltre il 30% del PIL totale UE: il valore economico stimato nelle attività praticate fino a 500 mt di distanza dai mari, ha un valore che va dai 500 ai 1000 miliardi di euro²⁶; pertanto, il danno economico a cui si va incontro è estremamente alto. L'innalzamento dei mari contribuisce alla riduzione di quantità di acqua dolce accessibile: da ciò si creano le possibilità per cui vi è una maggior presenza di acqua salata nei corpi idrici dolci, provocando nuovamente danni verso l'agricoltura e approvvigionamento di acqua potabile. In secondo luogo, le acque oceaniche assorbendo non solo il calore, ma anche i gas serra (come l'anidride carbonica), i quali hanno delle emissioni estremamente alte, possono subire un processo di acidificazione, creando danni e pericoli per la vita marina e gli ecosistemi delle barriere coralline.

Le condizioni meteorologiche sempre più estreme, stanno mettendo in pericolo di vita diverse specie: infatti, la scarsità di risorse idriche e conseguentemente di vegetazione, va

²⁵ https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences-climate-change_it#conseguenze-naturali

²⁶ https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences-climate-change_it#conseguenze-naturali

ad inficiare sulla vita di varie specie animali che, oltre a non poter sopportare determinati cambiamenti dei propri habitat, non riescono a trovare più facilmente il proprio sostentamento; in aggiunta, un'altra minaccia per la vita sono gli incendi e la loro capacità di propagarsi troppo facilmente. Lo scioglimento dei ghiacciai e le condizioni meteorologiche estreme stanno favorendo la procreazione di parassiti infestanti e malattie nocive per la salute sia umana che animale; a dimostrazione di quanto prima affermato, il report delle Nazioni Unite²⁷, riporta che si stanno perdendo specie a un ritmo di mille volte superiore di qualsiasi altro momento registrato nel corso della storia dell'uomo. Questa serie di eventi così estremi sta danneggiando fortemente diversi settori, direttamente quello agricolo e quello della pesca, indirettamente gli altri settori volti alla produzione di alimenti. Il cambiamento climatico, attualmente, è una delle cause principali della mancanza di cibo e della malnutrizione nel mondo: a questi ritmi la produzione agricola, da allevamento e da pesca, potrebbe ridursi significativamente fino a scomparire in futuro. Si pensi al fenomeno di acidificazione delle acque che in primo luogo, reca danno alle specie marine e, successivamente all'uomo tramite la loro pesca. In secondo luogo, le ingenti e continue emissioni di CO₂ e di altri gas serra, come i gas fluorurati, sono altamente pericolose per la salute umana, giacché originano un intenso inquinamento atmosferico che favorisce l'aumento di determinate malattie. Come riportato da *European Environment Agency*²⁸, tale inquinamento è responsabile di numerosissime morti: si classifica come principale causa di morte prematura e di malattie. In particolare, si creano le condizioni per malattie cardiache, polmonari e cancro ai polmoni. Secondo il Ministero della salute²⁹, si ritiene che l'inquinamento atmosferico causi la riduzione della vita media di ogni italiano di circa 10 mesi, mentre l'Organizzazione Mondiale della Sanità ha stimato che nel 2016, il fenomeno in esame sia stato responsabile della morte prematura di 4,2 milioni di persone. Nello specifico, si è osservato che il particolato presente nell'aria abbia avuto una forte incidenza di tumore sull'uomo, sia nelle zone polmonari che in quelle urinarie. La continua esposizione allo smog è stata successivamente collegata ad altre patologie, quali ictus, attacchi di cuore, malattie renali e altro ancora. Inoltre, la maggior parte delle

²⁷ <https://unric.org/it/effetti-del-cambiamento-climatico/#effeti1>

²⁸ <https://www.eea.europa.eu/it/help/domande-frequenti/che-impatto-ha-l2019inquinamento-atmosferico#:~:text=Le%20malattie%20cardiache%20e%201.anche%20dalla%20vulnerabilit%C3%A0%20dei%20singoli>

²⁹ https://www.salute.gov.it/portale/news/p3_2_1_1_1.jsp?menu=notizie&p=dalministero&id=2096

morti premature sono causate da problemi cardiovascolari: le componenti chimiche presenti nell'aria vanno a distruggere il sistema cardiovascolare in diversi modi (es. causando infiammazioni e/o restringendo le arterie). Tutto ciò si verifica in quanto le nanoparticelle dopo essere state inalate ed essere passate per i polmoni, giungono al sangue. Una volta raggiunto il sangue, questa hanno modo di poter circolare nel nostro sistema cardiovascolare. Inoltre, secondo uno studio pubblicato su *The Lancet*³⁰, non esistono propriamente soglie minime con cui si azzeri il rischio. Infatti, l'esposizione a soglie considerate basse può portare a rischi di arresto cardiaco non ospedaliero. In generale, si è compreso che tra gli effetti più considerevoli del cambiamento climatico sulla nostra salute, oltre a quelli citati precedentemente, si avrebbe anzitutto un incremento dei decessi estivi legati alle ondate di calore, bilanciato da una riduzione delle morti legate invece alle fredde temperature.

La deforestazione, come detto in precedenza, è un fenomeno tramite cui si genera anidride carbonica, vediamo ora i suoi effetti dannosi e le conseguenze che crea. Anzitutto, il fenomeno esaminato determina il riscaldamento globale non solo tramite processi micro-meteorologici, ma anche mediante l'aumento di concentrazione stessa del gas nell'atmosfera. L'eliminazione della vegetazione, influenzando fortemente i flussi sia del vento, sia del vapore acqueo e l'assorbimento dell'energia solare, condiziona la formazione delle nuvole e dunque le precipitazioni stesse. Perciò ne emerge che la deforestazione modifica sensibilmente i modelli meteorologici, determinando un clima non solo più caldo, ma anche più secco: conseguentemente, si favorisce una desertificazione e siccità dell'area interessata. In aggiunta a quanto affermato, vengono influenzate dalla deforestazione sia direttamente che indirettamente, tramite cambiamento climatico, le calotte artiche. Essendo le foreste un grande contenitore terrestre di carbonio, la loro riduzione influenza il processo di fotosintesi clorofilliana, pertanto, la CO₂ che può essere smaltita e riconvertita in ossigeno è sempre meno e, conseguentemente aumenta la sua presenza nell'atmosfera favorendo l'effetto serra. Un'altra conseguenza grave della deforestazione è rappresentata dalle perdite di risorse idriche. Fungendo le foreste da contenitore dell'acqua, la loro rimozione determina che le zone colpite non siano più capaci di trattenere grandi quantità di acqua. Ciò non influenza solo il clima, rendendolo più secco, ma colpisce anche il

³⁰ [https://www.thelancet.com/journals/lanplh/article/PIIS2542-5196\(19\)30262-1/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lanplh/article/PIIS2542-5196(19)30262-1/fulltext)

controllo delle inondazioni. I bacini idrografici, non potendo più trattenere e regolare i flussi di acqua, causano possibili inondazioni a valle, molte delle quali si abbattano così pesantemente da determinare disastri nelle aree interessate. A sua volta, il flusso di acqua dirimpante provoca l'insabbiamento dei corsi di acqua, laghi e dighe. Difatti, i terreni privi di vegetazione si riempiono d'acqua già con le prime piogge stagionali, divenendo subito saturi. In secondo luogo, la deforestazione porta a una maggiore compattazione del suolo, ciò si traduce in una maggiore incapacità di assorbire l'eventuale pioggia. Ciò è anche motivo di inondazioni improvvise. Nel lungo periodo, la scopertura del suolo e la sua continua esposizione ai raggi solari, hanno aumentato le possibilità di erosione del suolo stesso e la conseguente desertificazione, oltreché insabbiamento.

Un'ulteriore conseguenza, riscontrabile nel cambiamento climatico/deforestazione si ha nella perdita di biodiversità: l'eliminazione della vegetazione determina una frammentazione dei sistemi biologici e delle specie, causandone lo spostamento in certi casi, e l'estinzione in altri. Le foreste tropicali, nonché le più colpite, ospitano circa due terzi di tutte le specie conosciute e contengono il 65% delle 10.000 specie in via di estinzione del mondo (Myers e Mittermeir, 2000)³¹. A ciò si aggiunge il rischio di nuovi agenti patogeni e una maggiore trasmissibilità di questi, in quanto si avrebbe un aumento del contatto tra carne selvatica e uomo; tale contatto favorisce anche l'estinzione di certe specie.

Nel settore dell'energia, sono previsti come effetti del cambiamento climatico, la riduzione di domanda di energia per il riscaldamento (tra queste l'Europa Settentrionale e nord-occidentale) e l'aumento di domanda da parte di molti paesi (tra cui Europa Meridionale) per il raffreddamento. Ciò lo si deve principalmente agli eventi meteorologici estremi e improvvisi, in quanto condizioneranno le varie richieste; tuttavia, l'aumento stesso di sistemi volti al raffreddamento dell'aria, alimenta il cambiamento climatico stesso, si pensi a tal proposito al discorso fatto sui gas fluorurati, la loro presenza aumenterà significativamente se non si trovano alternative. Inoltre, i mutamenti del clima stanno contribuendo all'aumento dell'incertezza dei modelli meteorologici, causando una serie di effetti negativi nel lungo termine sulla produzione di energia rinnovabile. Degli esempi a tal proposito, sono la forte riduzione di vento in zone che in origine si caratterizza vano

³¹ Myers, N. and Mittermeier, R. A. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-854

per la sua presenza, oppure zone di colture destinate alla produzione di biomassa colpite da caldo e siccità.

Il settore dell'agricoltura, sebbene sia stato analizzato in precedenza, si può sintetizzare ricordando che le diverse variabili del cambiamento climatico, come siccità, tempeste e alte temperature, hanno portato e tuttora portano a delle perdite sostanziali, ovverosia minori raccolti, ed alla riduzione di terreno coltivabile. Inoltre, prendendo come esempio generale l'Europa, le sue regioni meridionali saranno quelle più colpite dal cambiamento climatico, mentre quelle settentrionali saranno favorite giacché un clima più caldo favorirebbe l'allargamento delle zone coltivabili; tuttavia, ciò non è in alcun modo sufficiente per coprire le varie perdite. Nello specifico, un esempio può essere fatto con l'alluvione verificatasi in Emilia-Romagna, la quale ha generato 1,1 miliardi di danni sull'agricoltura; in queste stime non sono considerate le perdite di fatturato correlate. Vi saranno anche dei problemi legati al settore del turismo, giacché molte mete non potranno più essere visitate nei periodi estivi.

1.3 Sistemi di mitigazione del Cambiamento Climatico

Le strategie ed i sistemi volti a combattere questo cambiamento climatico così estremo sono molteplici e si rendono necessari al fine di salvaguardare la vita del Pianeta. Tra le varie soluzioni si analizzeranno le seguenti metodologie: rimboschimento, fertilizzazione oceanica, coltura algale, tecnologia CCS e transizione ecologica.

Il processo di rimboschimento prevede che vi sia un incremento della superficie forestale tramite la piantumazione di alberi e piante, con una migliore gestione delle foreste già esistenti. Ciò garantirebbe una minore produzione di CO₂ giacché le foreste sarebbero capaci di immagazzinare ingenti quantità di anidride carbonica, convertendola successivamente in ossigeno tramite la fotosintesi clorofilliana. Questa metodologia si articola in più fasi: si devono dapprima individuare i terreni idonei; l'area deve essere soggetta ad una valutazione così da poter determinare le tipologie di piante e alberi adatti per le caratteristiche dell'area. Una volta valutata l'area, si procede alla preparazione della stessa, ciò generalmente può prevedere la rimozione di rifiuti/detriti e di ogni cosa che può recare danno. Dopo aver preparato il terreno, si ha la fase di piantumazione. Come affermato in

precedenza, la scelta della vegetazione non dovrà essere casuale ma fatta in funzione delle condizioni sia del clima, sia del suolo. In questa fase sarà necessario garantire la corretta cura della vegetazione affinché vi sia una crescita sana e sicura. Una volta che gli alberi abbiano raggiunto un certo grado di maturità, tramite il processo di fotosintesi clorofilliana potranno immagazzinare la CO₂, espellendola sotto forma di ossigeno; in questa maniera il bilancio energetico ritornerebbe in equilibrio. Inoltre, il rimboschimento genererebbe altri benefici volti alla mitigazione del cambiamento climatico, poiché andrebbe a contrastare anche la siccità e la desertificazione delle aree. Infatti, l'aumento della superficie forestale garantirebbe un migliore contenimento dell'acqua nel suolo, favorendo la protezione delle risorse idriche. In secondo luogo, vi sarebbe la realizzazione di nuovi habitat per gli animali e, contemporaneamente la qualità dell'aria migliorerebbe considerevolmente. Infine, tale processo avrebbe un ruolo fondamentale per il ripristino degli ecosistemi forestali, rigenerando la biodiversità propria di certe aree. Tuttavia, sarebbe fondamentale che questo processo sia anche ben protetto e monitorato, poiché, qualora fosse soggetto ad incendi, le quantità di CO₂ immagazzinate dagli alberi, si sprigionerebbero nell'atmosfera causando nuovi danni.

Un'altra soluzione proposta è la fertilizzazione oceanica, la quale prevede l'immissione di nutrienti essenziali, come ferro e azoto, negli oceani. Questa somministrazione stimolando la crescita delle alghe, permette che più alghe possano occuparsi dell'assorbimento di CO₂, immagazzinandola e trasformandola successivamente in biomassa. Tuttavia, si tratta di una tecnica ancora sotto studio a causa dei suoi effetti collaterali. In primo luogo, si ha il rischio di eutrofizzazione, ovvero una fioritura algale eccessiva, in conseguenza della quale l'ecosistema acquatico verrebbe danneggiato con la carenza di ossigeno. In secondo luogo, si potrebbero determinare dei danni economici, giacché una forte produzione di biomassa andrebbe a ridistribuire su scala globale i nutrienti. Allora alcune aree sarebbero soggette ad un impoverimento dei nutrienti, a seguito del quale si avrebbe un danno sulla produttività biologica. Ciò impatterebbe su settori come la pesca. Perciò, la tecnica esaminata resta ancora motivo di studio e ricerca come possibile soluzione al cambiamento climatico.

La coltura di alghe e nello specifico di microalghe rappresenta una metodologia tramite cui assimilare il carbonio. Ciò lo si deve al fatto che questi microorganismi si caratterizzano per un'efficienza fotosintetica superiore di dieci volte rispetto alle piante. Un altro

vantaggio di questa coltura è la possibilità di produrre bioenergia tramite dei processi di conversione derivanti dalla biomassa di CO₂. Perciò, la coltura di determinate alghe permetterebbe in primo luogo la riduzione di CO₂ presente nell'atmosfera, in secondo luogo si potrebbero bonificare le acque inquinate, grazie alla loro capacità di assorbire anche metalli pesanti e altri inquinanti.

La tecnologia CCS (*Carbon Capture and Storage*) è una metodologia tramite cui le emissioni di CO₂ generate dall'industrializzazione vengono catturate e immagazzinate sotto il suolo terrestre. Tale metodo prevede un sequestro del carbonio, che può avvenire pre-combustione o post-combustione. Nel primo caso l'assorbimento della CO₂ avviene per mezzo di processi sia chimici che fisici; nel secondo caso, invece, si utilizzano dei solventi chimici capaci di assorbire la CO₂ in forma gassosa. In verità, l'assorbimento dell'anidride carbonica può verificarsi anche durante la combustione (ad esempio, mediante l'uso di reattori chimici). Una volta catturata la CO₂, viene trasportata in determinate aree, dove si verifica lo stoccaggio, fase in cui la CO₂ viene inserita permanentemente all'interno di formazioni geologiche situate in profondità. La scelta dei siti deve avvenire in maniera accurata poiché devono necessariamente essere stabili geologicamente, in caso contrario vi potrebbero essere perdite di CO₂. Tuttavia, resta una tecnica ancora sotto oggetto di studio, in quanto presenta diverse problematiche. Anzitutto, si hanno costi elevati, poi risulta assai difficile la ricerca di siti idonei per lo stoccaggio, tutto ciò non consente un'applicazione della tecnologia CCS su larga scala. Questa metodologia può essere utilizzata nella produzione di bioenergia derivante dalla biomassa. Infatti, la biomassa prodotta dalle altre metodologie prima citate, può essere utilizzata per generare energia elettrica nelle centrali termoelettriche. Così facendo, si andrebbe a produrre energia sostenibile, pulita e senza emissioni. L'applicazione della tecnologia CCS nell'ambito della biomassa, consentirebbe di immagazzinare da subito la CO₂, senza che questa si manifesti nell'atmosfera. Ciononostante, si rende necessario ricordare nuovamente che è una tecnologia non del tutto sicura, a causa delle problematiche sullo stoccaggio.

Infine, una soluzione fondamentale, capace di avere un impatto significativo sul riscaldamento globale, è la transizione ecologica o energetica. Questo processo racchiude al proprio interno una serie di azioni considerevoli. Infatti, si ha la de-carbonizzazione del sistema energetico, cioè la riduzione di gas serra, come la CO₂, derivanti sia dalla produzione che dal consumo di energia. Si tratta di un obiettivo raggiungibile sostituendo le

fonti di energia fossile (non rinnovabile), con fonti sostenibili (rinnovabili), come il vento, l'acqua, la biomassa, etc. L'obiettivo attuale dell'Unione europea a tal fine, è quello di raggiungere zero emissioni di CO₂ entro il 2050. Quindi, diviene necessario rendere efficienti e ottimali gli usi e le produzioni di energia, dovendo ridurre al minimo le perdite. Questo obiettivo può essere raggiunto, dal punto di vista industriale, mediante l'implementazione di tecnologie e sistemi efficienti, mentre dal punto di vista dei consumatori, tramite l'informazione e la sensibilizzazione sul risparmio energetico. Affinché tale transizione energetica sia possibile e contrasti il riscaldamento globale, vi deve essere l'intervento da parte dei governi e delle istituzioni. Perciò, devono essere redatte e adottate delle politiche che incentivino la sostenibilità, introducendo normative sulle riduzioni di emissioni di CO₂. Un esempio a tal fine è l'accordo di Parigi: piano di azione per limitare gli effetti del cambiamento climatico. Si tratta di un accordo stipulato da 177 paesi, tra i quali rientrano coloro che causano il 55% delle emissioni di gas serra.

2.1 L'Economia italiana: Settori Chiave

Nel 2021 l'Italia si è posizionata come ottava economia mondiale in termini di PIL nominale, avendo un valore di 1.783 mld di euro³². Il PIL (Prodotto Interno Lordo) è un indicatore macroeconomico, tramite cui si misura il valore di ogni bene e servizio finale prodotto nel territorio di un dato paese in un periodo stabilito. L'indicatore in esame si può esprimere in termini nominali, ovvero a prezzi correnti, oppure in termini reali, cioè a prezzi costanti rispetto ad un anno specifico. Il suo calcolo permette lo studio dell'andamento di un paese, nonché il suo benessere.

³² <https://italiaindati.com/settori-economia-italiana/>

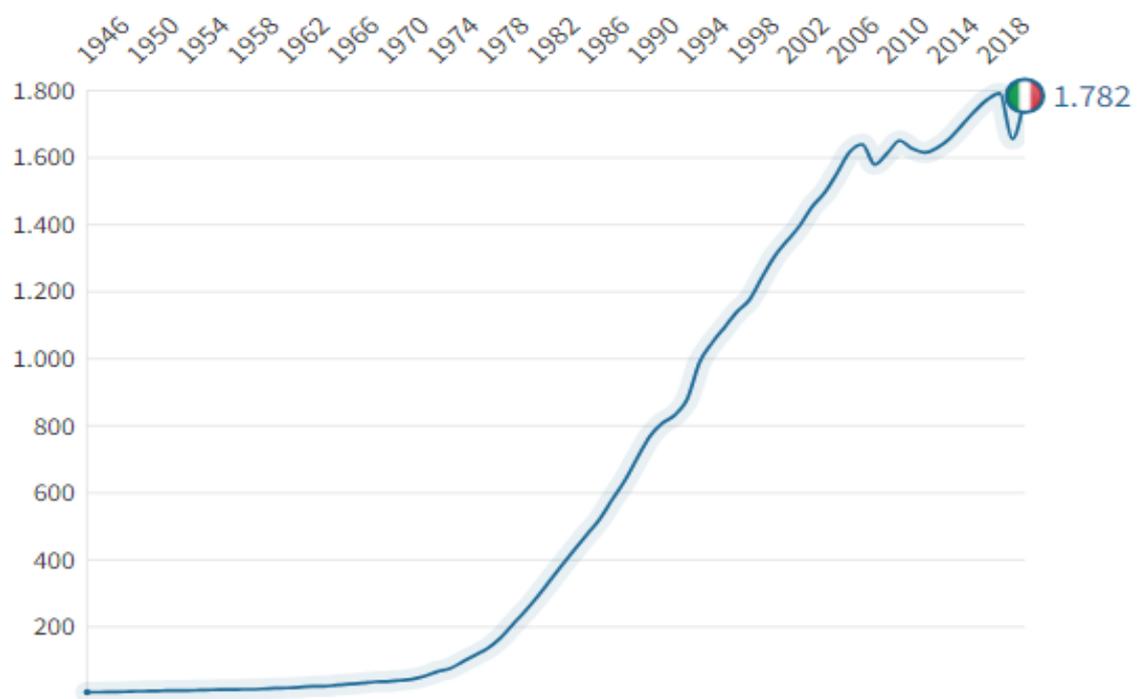


Figura 6: Evoluzione del PIL in Italia; Fonte: Italia In Dati

Osservando la figura 6, l'Italia ha assistito nel periodo 1970-2021 ad una crescita significativa del proprio PIL nominale: nello specifico, si è registrato un tasso di crescita medio del PIL nominale del 10% circa (1980-2000). Diversamente, nel periodo successivo (2000-2021) si è registrato un tasso di crescita pari all'1,8%. Il Paese ha, infatti, vissuto un forte rallentamento della propria crescita, favorito da tre grandi crisi. Nel 2008, si è verificata una prima crisi legata allo scoppio della bolla immobiliare negli USA. Successivamente nel 2011, l'Area euro è stata colpita dalla crisi del debito sovrano. Tale crisi, favorita da quella precedente del settore dei mutui statunitense (2007), ha portato ad una contrazione del PIL mondiale, determinando una delle più gravi recessioni dai tempi della Seconda Guerra Mondiale per l'Italia. Quest'ultima, infatti, ha subito una contrazione del proprio PIL prossima al 5%. A seguito delle politiche adottate dalla BCE (Banca Centrale Europea) e dal FMI (Fondo Monetario Internazionale), è stato possibile ridurre i rendimenti del debito sovrano, soccorrendo gli stati con maggiori problemi in termini di finanza pubblica. Infine, la terza crisi si è verificata nel 2020 a causa del Covid-19, i cui effetti sono stati amplificati dalle crisi precedenti. Le restrizioni adottate durante la pan-

demia hanno generato un calo del PIL del 5,3% nel primo trimestre 2020 rispetto al trimestre precedente, e del 5,4% rispetto allo stesso periodo nel 2019³³. L'Economia italiana ha subito un grave colpo, dal momento che uno dei settori chiave per il Paese è proprio il Turismo, contribuendo questo al 13% del PIL. In aggiunta, l'Italia ha subito dei danni anche in termini di esportazioni, essendosi verificata una riduzione del 10% nel commercio globale 2020.

Per quanto riguarda i settori su cui si fonda la nostra economia, si hanno tre settori principali quali primario, secondario e terziario. Nel primario rientrano agricoltura, selvicoltura, pesca, pastorizia e miniere; il secondario, invece, comprende l'industria (in senso stretto) e le costruzioni. Infine, il terziario riguarda l'ambito dei servizi. Dalla figura 7 emerge che nel corso degli anni il settore predominante è stato il Terziario: nel 2021 quest'ultimo ha registrato un valore del **73%** circa, mentre il primario del **2%** ed il secondario del **25%**. Nello specifico, il settore primario ha mantenuto nel corso degli ultimi anni una tendenza negativa: nel triennio 2000-2002 si è registrata una produzione agricola italiana superiore ai 301 mln di tonnellate, mentre nel triennio 2020-2021 la stessa ha segnalato una produzione di circa 272 mln. Questo andamento negativo ha interessato quasi tutti i comparti agricoli, ad eccezione dell'ortofrutta e delle attività agricole secondarie. Infatti, si è osservato che nell'ultimo ventennio, vi è stata una riduzione di oltre 5 mln di tonnellate dei cereali (frumento duro, tenero e mais). Un altro comparto, significativamente colpito, è stato quello del vino, che nel 2023 ha registrato un calo della produzione del 20% rispetto al 2022, mettendo a repentaglio il primato mondiale dell'Italia nella produzione vinicola. In aggiunta, le produzioni di frutta hanno assistito ad una forte diminuzione, nel dettaglio l'andamento negativo ha interessato pesche (30%), uva da tavola (20%) e pere (50%). E sebbene vi sia stato un incremento dei prezzi di vendite dei prodotti agricoli, tuttavia si è anche avuto un maggiore aumento dei prezzi di beni e servizi impiegati nel settore. Come riportato dall'Istat³⁴, questo andamento negativo della produzione agricola è stato favorito dai fattori climatici sfavorevoli, verificatisi nell'ultimo periodo (2023). Si è verificato l'avvenimento di stagioni autunnali e invernali, caratterizzate da un clima relativamente temperato e secco, seguito da temperature primaverili sotto la media e significative ondate di calore estivo, provocando delle condizioni

³³ <https://www.istat.it/it/archivio/243906>

³⁴ https://www.istat.it/it/files//2024/01/Report_Stima_prelim_economia_agricola_2023.pdf

climatiche così avverse da compromettere la produzione agricola. In aggiunta, diversi eventi climatici estremi (ad es. alluvioni) hanno messo a dura prova il Paese.

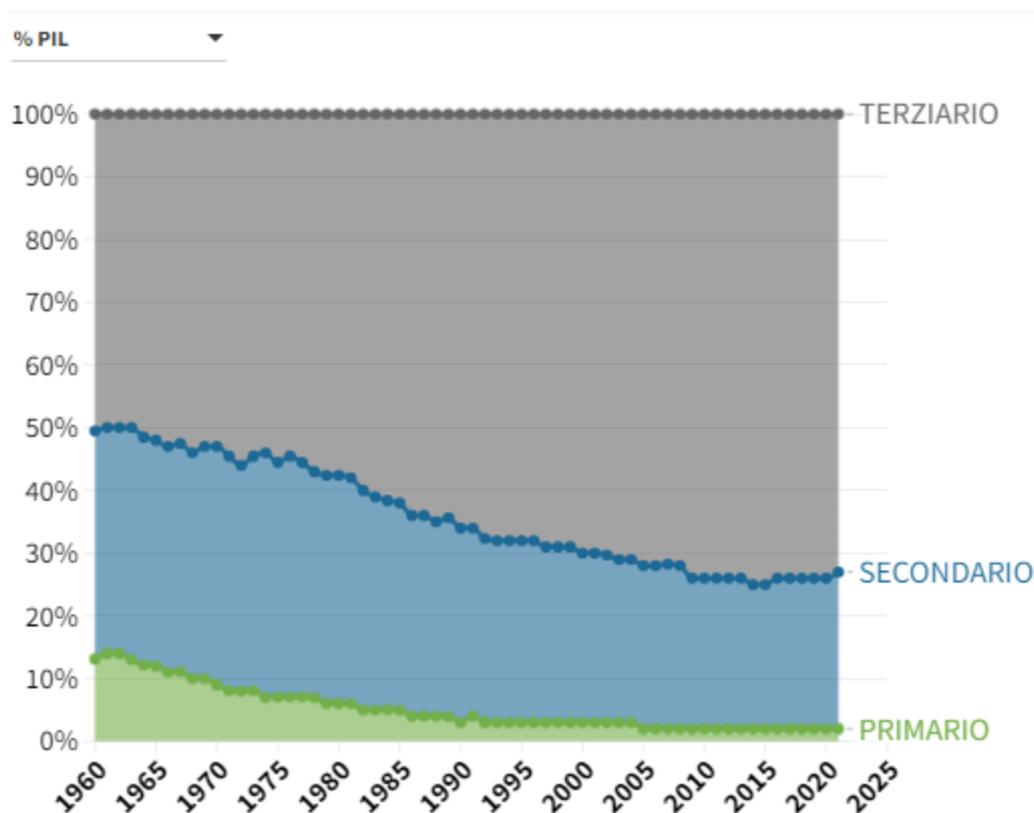


Figura 7: Peso dei settori rispetto al PIL italiano; Fonte: Italia In Dati (<https://italiaindati.com/settori-economia-italiana/>)

Per quanto riguarda invece il settore secondario, dalla figura 7 si osserva come questo abbia contribuito ad una occupazione del 23%. In Italia la componente principale di questo settore, in termini di valore aggiunto (oltre il 71%) e di numero di lavoratori (oltre 3,7 mln), è l'industria manifatturiera; quest'ultima è seconda solo alla Germania in Europa. Infatti, la componente citata risulta essere un fattore cardine per le esportazioni del Paese. Un'altra componente del settore fondamentale è quella delle costruzioni giacché possiede il numero di imprese più alto, mentre la fornitura di energia rappresenta la componente con la più alta redditività. Inoltre, va sottolineato che l'industria manifatturiera riveste un ruolo di notevole importanza nel contesto del "Made in Italy". Oltre ai settori già menzionati all'interno del secondario, altri ambiti rilevanti che contribuiscono in maniera significativa all'economia, comprendono l'industria delle bevande, il settore farmaceutico,

quello chimico, dei macchinari e dei mezzi di trasporto. Tuttavia, va notato che tali settori sono tra i più competitivi del settore secondario. Tale competitività è attribuibile principalmente alla costante innovazione e internazionalizzazione che li caratterizza, oltre che alle dimensioni aziendali ed alla produttività, tendenzialmente superiori alla media del settore.

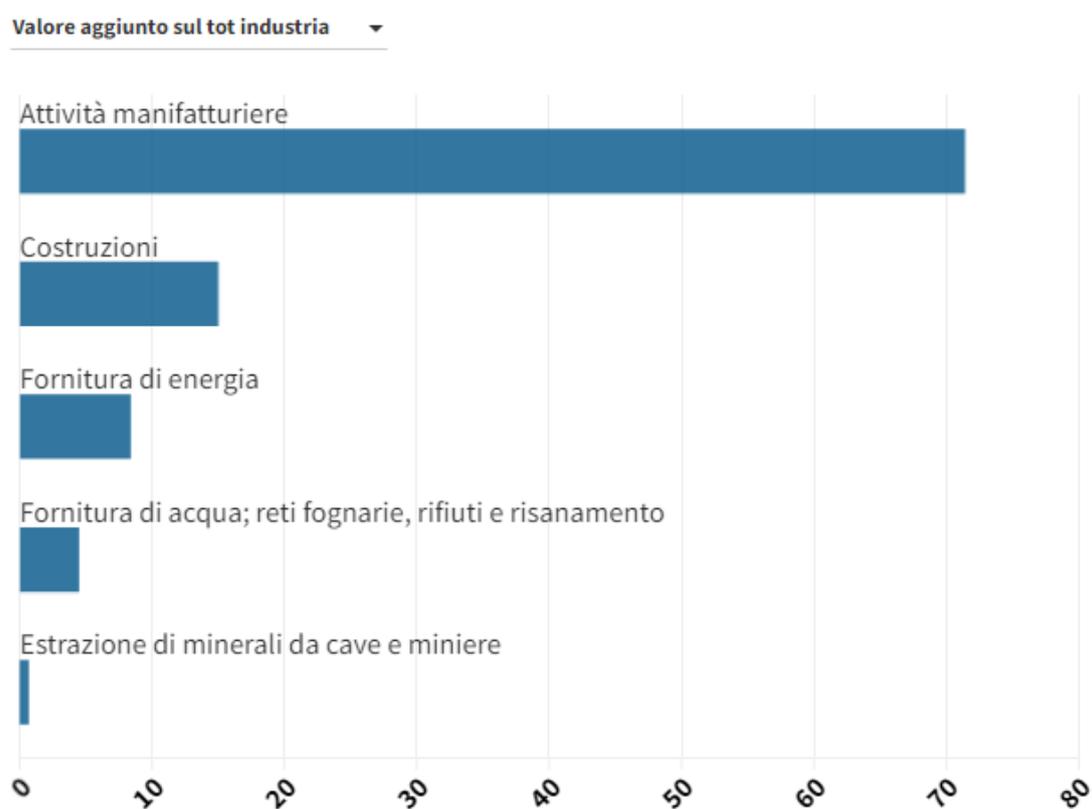


Figura 8: Composizione dei settori industriali al 2019; Fonte: Italia in Dati

Sebbene il settore secondario sia quello meno influenzato direttamente dal cambiamento climatico, ciononostante non devono essere sottovalutati gli impatti indiretti. Le variabili climatiche, infatti, possono determinare una serie di problematiche legate alla produzione, alla logistica ed ai trasporti. Gli eventi climatici estremi (es. alluvioni, incendi, trombe d'aria, inondazioni) possono danneggiare le infrastrutture di trasporto, provocando ritardi significativi nei tempi di consegna sia delle materie prime che dei prodotti finiti. Nel primo caso, si determinerebbe un prolungamento dei tempi necessari per lo svolgimento dell'attività di produzione, mentre nell'altro caso si manifesterebbero ritardi nella vendita dei prodotti. In entrambi i casi, i fenomeni climatici estremi potrebbero recare danno alle

infrastrutture interne dell'industria come la struttura fisica, gli impianti ed i macchinari, con conseguenti perdite economiche significative per le imprese coinvolte. Ulteriori effetti indiretti deriverebbero dal settore primario, giacché una riduzione delle rese agricole influenzerebbe la disponibilità di materie prime per le industrie.

Segue l'analisi del terziario, settore di punta del Paese, che fornisce una vasta gamma di beni immateriali e servizi volti alla soddisfazione delle esigenze dei consumatori. Al suo interno sono compresi sia servizi di consumo diretto (es. ristorazione e alloggi) sia servizi di supporto (es. consulenze e trasporti). Si tratta di un settore ben sviluppato e, nel dettaglio, la componente Turismo determina circa il 5% del PIL ed incide sullo stesso in maniera indiretta del 13%. Il motivo per cui tale settore risulta così importante, senza dubbi, è dato dalla forte presenza di patrimonio artistico e naturalistico in Italia. Secondo l'Unesco³⁵, l'Italia ha il più grande numero di siti riconosciuti patrimonio dell'umanità: il Paese pur essendo lo 0,2% delle terre emerse, presenta il 5% dei siti Unesco; nel 2019 l'Italia è stato infatti il quinto paese più visitato dagli stranieri. Perciò l'Italia rappresenta una meta ambita grazie al suo ricco patrimonio culturale, paesaggistico e storico. Si può dedurre che il Terziario sia il motore trainante dell'economia nazionale. Tuttavia, il cambiamento climatico sta influenzando significativamente questo settore, causando non solo degli sconvolgimenti paesaggistici, ma anche dei danni economici. Le nuove temperature medie ed il conseguente sconvolgimento delle stagioni possono determinare, in primo luogo, dei nuovi modelli di viaggio (di turismo). Infatti, le preferenze dei turisti e le loro date per viaggiare verso determinate mete, potrebbero essere soggette a delle variazioni in funzione del clima locale. In secondo luogo, gli eventi climatici estremi come alluvioni, incendi e tempeste, recando danno alle infrastrutture di trasporto e alle attrazioni turistiche, oltretutto all'ambiente, provocherebbero ulteriori danni economici locali dal momento che il flusso di turisti potrebbe diminuire. In terzo luogo, si potrebbero avere dei danni sulla componente Commercio al dettaglio in quanto, essendo legata al settore primario e alle sue dinamiche, seguirebbero il medesimo andamento. Un'altra sfera del settore terziario che potrebbe subire impatti significativi nel lungo termine, è quella della sanità in virtù delle conseguenze sulla salute, derivanti dal cambiamento climatico e menzionate

³⁵ <https://whc.unesco.org/en/list/>

precedentemente nel primo capitolo. Secondo il report “*Questioni di Economia e Finanza*” condotto da Banca d’Italia, il riscaldamento globale sta causando un impatto sostanziale sulle regioni montane, che sono le più esposte all’innalzamento delle temperature ed alla carenza delle precipitazioni nevose. Infatti, prima della pandemia Covid-19, quasi il 13% dei pernottamenti alberghieri in Italia si verificava nelle località montane e dava luogo ad una spesa complessiva di circa 2 mld di euro da parte dei viaggiatori. Con la forte riduzione delle precipitazioni nevose e con l’innalzamento delle temperature, gli impianti sciistici e le strutture alberghiere sono stati fortemente danneggiati. Secondo l’analisi condotta da Mariani e Scalise (2022), è emersa una forte relazione tra la quantità di neve nelle località di montagna e l’afflusso di turisti. Un simile risultato è emerso anche nel report della Banca d’Italia, dove si è evinto che in media, per ogni metro di neve in meno durante la stagione, si ha una riduzione dell’1,3% di passaggi negli impianti sciistici, a parità di altre condizioni. Dal momento che nel 2100 le proiezioni prevedono una riduzione della neve tra il 30% ed il 40%, allora il danno economico oltreché ambientale, risulterebbe piuttosto rilevante.

In conclusione, il settore primario risulta essere il più esposto ai rischi fisici associati al cambiamento climatico. Considerando il ruolo notevole dell’agricoltura nella fornitura di *input* intermedi per altri settori economici importanti, (come il settore alberghiero e di ristorazione), si potrebbe prevedere un impatto negativo sul settore terziario. In aggiunta a quanto detto, i medesimi prodotti agricoli rappresentano quasi l’80% del consumo finale di beni primari delle famiglie. Pertanto, il cambiamento climatico potrebbe influire negativamente sul benessere dei consumatori finali. Secondo uno studio condotto da Bozzola et al. nel 2018, le aziende agricole irrigue potrebbero avere perdite di valore dei terreni comprese tra l’8% ed il 25% nel periodo 2031-2060 rispetto al 1971-2000. Ciò suggerisce che sia settore primario, sia quello terziario non solo saranno colpiti in maniera diretta dal cambiamento climatico, ma gli effetti negativi potrebbero manifestarsi già nel breve periodo. D’altro canto, il settore secondario risulterebbe principalmente colpito in modo indiretto, con gli impatti negativi che si manifesterebbero maggiormente nel lungo periodo.

2.2 L'Italia Vulnerabile: Eventi Significativi

Secondo il “*Bilancio 2023 Città Clima*” redatto da Osservatorio Città Clima di Legambiente³⁶, nel 2023 in Italia si sono verificati **378 eventi meteorologici estremi** (+22% rispetto al 2022), con un importante aumento delle alluvioni, grandinate, frane, mareggiate e temperature straordinarie. Il Nord-Italia è stata l'area maggiormente colpita dal momento che sono stati registrati **210** eventi di questo genere, seguita dal Centro e dal Sud-Italia, in cui si sono verificati rispettivamente **98** e **70** eventi climatici estremi. Nel dettaglio, sono aumentate del **170%** (rispetto al 2022) le alluvioni e le esondazioni fluviali, mentre le temperature record hanno avuto un incremento del **150%** (rispetto al 2022); inoltre è stato rilevato un netto aumento delle frane pari al **64%** (rispetto al 2022). In merito a queste ultime, il 93,4% dei comuni italiani (7.423) è stato a rischio di frane, inondazioni ed erosioni costiere secondo il rapporto dell'Ispra del 2021³⁷. Tra le regioni più colpite, si hanno l'Emilia-Romagna e la Lombardia con rispettivamente 59 e 62 eventi. Invece le città che hanno sofferto maggiormente questi fenomeni, sono state: Roma, Milano, Fiumicino (RM), Palermo e Prato. Se si considerasse il periodo 1980-2023, emergerebbe che il nostro paese nel corso degli anni è divenuto più vulnerabile al cambiamento climatico, registrando non solo più di 100 mld di euro come danni economici, ma anche più di 22.000 vittime (escluse quelle legate alle ondate di calore). Un'ulteriore conseguenza, a cui l'Italia deve far fronte è l'effetto avuto sui ghiacciai. Nello studio condotto dall'Università svizzera di Losanna e pubblicato sulla rivista *Geophysical Research Letters*, sono stati previsti i possibili scenari futuri dei ghiacciai alpini. Qualora il riscaldamento globale mantenga un ritmo analizzato nel periodo 2000-2022, allora si andrebbe incontro ad una riduzione del 46% circa dei ghiacciai alpini nel 2050. Considerando, invece, l'andamento del periodo 2010-2022, la riduzione di volume diverrebbe del 65%. Nel miglior caso (anche se poco probabile), pur ipotizzando un arresto immediato del cambiamento climatico, si perderebbe comunque il 34% dei ghiacciai alpini entro il 2050. In qualsiasi scenario, si ha una riduzione talmente significativa del volume dei ghiacciai, che si originerebbe un numero maggiore di zone con pareti rocciose esposte,

³⁶ <https://cittaclima.it/wp-content/uploads/2024/01/Bilancio-CittaClima-2023.pdf>

³⁷ https://www.isprambiente.gov.it/files/2022/pubblicazioni/rapporti/rapporto_dissesto_idrogeologico_italia_ispra_356_2021_finale_web.pdf

incrementandone il rischio di frane³⁸. A seguito della conferenza tenutasi per la presentazione del progetto europeo *Savemedcoasts-2 (Sea Level Rise Scenarios Along the Mediterranean Coasts-2)*, eseguito da un consorzio internazionale coordinato dall'istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (Ingv)³⁹, si è osservato che entro il 2100, il Mediterraneo potrebbe assistere ad un incremento del livello del mare da 60 a 100 cm a causa del riscaldamento globale. Ciò metterebbe a rischio più di 38.000 chilometri quadrati di costa, pari ad una superficie quasi simile a quella della Svizzera. Allora le aree sommerse aumenterebbero ed inoltre, si determinerebbe un'amplificazione degli effetti di mareggiate e tsunami, con un conseguente aumento del rischio di inondazioni marine. Prendendo come esempio Venezia, gli esperti hanno stimato due ipotesi: nello scenario più ottimistico entro il 2100 il livello medio del mare potrebbe salire di 45 cm; nello scenario più pessimistico, invece, si potrebbe verificare un incremento di circa 84 cm. In un altro studio, *"Distribution of economic damages due to climate-driven sea-level rise across European regions and sectors"*, condotto da Cortés Arbués, Theodoros Chatzivasileiadis, Olga Ivanova ed altri colleghi, è stato analizzato uno scenario dove il cambiamento climatico non viene contrastato né vengono adottate misure che combattano l'innalzamento del mare. In questo contesto, è emerso che, qualora vi fosse un aumento di 4°C della temperatura media globale e di 75 cm del livello medio del mare, allora l'Italia risulterebbe una delle economie europee maggiormente colpita. Nel dettaglio, le regioni del Nord-Italia verrebbero danneggiate significativamente in quanto assisterebbero a forti danni sui settori relativi alle infrastrutture, logistica e rete infrastrutturale. Questi danni si riverserebbero sui settori di punta come il turismo. Tuttavia, sembrerebbe che le regioni del Sud-Italia possano subire un incremento della propria produttività economica, giacché la domanda economica caratterizzante il Nord Italia, si sposterebbe nelle regioni meridionali. Pur aumentando l'offerta del Meridione, le regioni meno colpite non sarebbero comunque capaci di coprire le perdite del Nord Italia. Quindi, si tratta di una minaccia che riguarderà l'intero paese nel lungo periodo. Come riportato da Hazem Krichene, direttore senior economista del clima presso *Scope Ratings*, l'Italia è l'economia europea più a

³⁸ https://www.ansa.it/canale_scienza/notizie/terra_poli/2024/01/23/i-ghiacciai-delle-alpi-destinati-a-dimezzarsi-entro-il-2050-667f7de2-e826-49be-8d17-741db12be804.html#:~:text=Se%20il%20riscaldamento%20globale%20proseguir%C3%A0,soltanto%20degli%20ultimi%2010%20anni.

³⁹ https://www.ansa.it/canale_scienza_tecnica/notizie/terra_poli/2022/06/18/mediterraneo-su-di-1-metro-entro-il-2100-coste-italiane-a-rischio-video_f4991e3c-fca5-449e-bfc4-0434c197c69e.html

rischio giacché è prevista una perdita del PIL pari a 17.5 trn nel periodo 2020-2050, qualora non si attui un'adeguata transizione⁴⁰.

Vi sono stati degli eventi alquanto rilevanti nel corso degli ultimi anni che hanno colpito determinate aree dell'Italia. Il più rilevante è stato quello dell'Emilia-Romagna, dove si è assistito nei giorni 15-17 maggio 2023 ad alluvioni e frane senza precedenti. In 36 ore si sono verificati 350 mln di metri cubi di acqua che equivalgono a circa 6 mesi di pioggia, con picchi di 300 mm di precipitazioni. Questa alluvione, oltre a colpire una delle principali regioni agricole in Italia, ha causato lo straripamento di 23 fiumi ed anche 400 frane, colpendo circa 100 comuni⁴¹. Dal punto di vista economico, sono stati stimati circa 8,8 mld di euro di danni. Di questi, circa 4,3 mld di euro comprendono i danni legati alle strade, alle infrastrutture pubbliche ed ai fiumi. I privati hanno subito un danno economico il cui valore si aggira sui 2,1 miliardi di euro, mentre le imprese colpite significativamente sono state circa 14.200 per un totale di 1,2 miliardi di euro. Si rende necessario tenere presente che tali stime non prendono in considerazione il costo di ripristino né le perdite di fatturato correlate⁴². Le imprese agricole colpite sono state 12.000, riportando dei danni economici per 1,1 mld € (sono comprese le perdite sia di raccolti, sia di terreni, sia di animali). Si è trattato di un evento meteorologico estremo che ha messo a dura prova la regione, colpendo significativamente l'economia di quest'ultima non solo nel breve periodo, ma anche nel lungo periodo.

Una regione particolarmente a rischio per colpa del cambiamento climatico è la Liguria. Come riportato da Anna Napoli, ricercatrice di Fondazione CIMA e dottoranda dell'Università di Genova, la Liguria presenta delle zone in cui si registrano i valori di intensità di precipitazione più elevati dell'Europa occidentale. I motivi dietro questi valori sarebbero in parte dati dalla conformazione territoriale. A causa della vicinanza tra l'area marittima e quella montuosa, la regione risulterebbe più vulnerabile al cambiamento climatico. Nello studio condotto dalla ricercatrice (Anna Napoli), è emerso che le precipitazioni varierebbero sensibilmente in funzione della zona. Sulla riviera che si sviluppa a Est di

⁴⁰ <https://scoperatings.com/ratings-and-research/research/EN/174484>

⁴¹ [https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Italy/I_satelliti_mappano_le_conseguenze_delle_alluvioni_in_Emia-Romagna#:~:text=Didascalie&text=%2DRomagna%20\(1\)-,La%20regione%20italiana%20dell'Emilia%2DRomagna%20%20C3%A8%20stata%20devastata%20da,8%20C8%20miliardi%20di%20euro.](https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Italy/I_satelliti_mappano_le_conseguenze_delle_alluvioni_in_Emia-Romagna#:~:text=Didascalie&text=%2DRomagna%20(1)-,La%20regione%20italiana%20dell'Emilia%2DRomagna%20%20C3%A8%20stata%20devastata%20da,8%20C8%20miliardi%20di%20euro.)

⁴² <https://protezionecivile.regione.emilia-romagna.it/notizie/2023/giugno/alluvione-oltre-8-8-miliardi-di-euro-la-stima-provvisoria-dei-danni-di-cui-1-8-per-interventi-necessari-a-fare-fronte-emergenza>

Genova (Levante) si andrebbe a verificare un aumento sia delle precipitazioni, sia dell'intensità (di precipitazioni estreme). Invece, sulla riviera che si sviluppa a Ovest di Genova (Ponente), si verificherebbe una maggiore esposizione alla siccità. Oltre ad essere esposta ad una diminuzione delle nevicate annuali, il Ponente ligure assisterebbe ad un aumento delle proprie temperature medie⁴³. Secondo il Rapporto CittàClima 2022 (Legambiente), la Liguria avrebbe avuto nel periodo esaminato (2010-2022) 67 eventi estremi, di cui 38 hanno riguardato il Ponente ligure, comprendendo tra i fenomeni alluvioni, esondazioni fluviali e frane dovute a piogge intense. Osservando Genova, si sono verificati nel medesimo arco temporale, 25 eventi estremi, di cui 7 sono stati alluvioni e allagamenti da piogge intense, mentre 6 sono state trombe d'aria. Questa serie di eventi estremi ha fortemente danneggiato diverse parti della città, creando interruzioni nelle infrastrutture ferroviarie e viarie. Come detto precedentemente, anche la morfologia della città favorisce il cambiamento climatico, giacché la vicinanza che intercorre tra l'area montuosa e marittima determina una forte instabilità termica. Negli ultimi anni, la città ha vissuto l'alternarsi di forti piogge a lunghi periodi di siccità che hanno danneggiato il benessere dei cittadini, oltretutto le attività economiche. Nel 2020 è stata calcolata l'anomalia della temperatura rispetto alla temperatura media annuale (1971-2000) e risulterebbe essere di 0,92. Ciò permette di comprendere i ritmi estremamente intensi del cambiamento climatico. Un altro fattore a dimostrazione di come le piogge siano calate in termini numerici, ma abbiano avuto un incremento della rispettiva intensità è dato nuovamente dal Rapporto CittàClima 2022 (Legambiente). In diversi comuni in provincia di Genova, infatti, si sono registrati: 742 mm di acqua in 12h a Rossiglione (in data 04/10/2021) mentre la media mensile (di ottobre) è stata di 161 mm. A Sestri Levante si sono verificati 450 mm di precipitazioni in 4h (in data 04/10/2010), mentre la media mensile (di ottobre) registrata era di 155 mm. In maniera analoga, a Mele vi sono stati 450 mm in 12h (in data 14/10/2019), dove la media mensile (di ottobre) è stata di 155 mm.

A partire dalla seconda settimana di luglio 2023, si sono verificati in Veneto una serie di eventi calamitosi a causa di un promontorio anticiclonico di origine africana. Questo, infatti, ha fatto sì che le temperature e l'umidità avessero un incremento significativo

⁴³ <https://www.arpal.liguria.it/home-page/notizie-tematiche/item/anche-arpal-alla-presentazione-dello-studio-sui-cambiamenti-climatici-in-liguria.html>

nell'area coinvolta. Tuttavia, il progressivo indebolimento dell'anticiclone e l'infiltrazione di aria più fredda in quota hanno originato delle condizioni piuttosto instabili. Infatti, si sono verificati diversi rovesci e temporali alternati dalle grandinate. Nello specifico, il fenomeno atmosferico del 19 luglio 2023 ha determinato una serie di grandinate, con chicchi di dimensioni straordinarie. Gli stessi temporali si sono caratterizzati per delle raffiche di vento che hanno superato i 100 km/h, colpendo più zone del Veneto come i Comuni delle Province di Padova, Treviso, Vicenza e della Città Metropolitana di Venezia. I danni, riportati dalle zone coinvolte, hanno riguardato principalmente le imprese agricole, con ripercussioni osservabili nel medio-lungo periodo. Le 52 grandinate verificatesi in un solo giorno hanno anche causato 110 feriti

Similmente la Lombardia ha assistito a dei nubifragi avvenuti tra il 24 ed il 25 luglio che hanno messo a dura prova la regione. Infatti, si sono verificati violenti rovesci di piogge con raffiche di vento sui 100 km/h; conseguentemente vi sono state anche delle frane. I danni riportati dalla regione sono stati superiori agli 800 mln di euro. Questa stima comprende più di 200 mln di euro per i danni subiti dal comparto pubblico, oltre 600 mln di euro i danni riguardanti privati e attività produttive. In questi dati, inoltre, non sono ancora stati considerati i danni di Milano. Nello specifico, la Lombardia insieme al Veneto ed all'Emilia-Romagna, rientra nelle regioni europee più esposte al cambiamento climatico nel 2050.

Nel 2022 il Centro Italia ha vissuto un evento pluviometrico particolare, che ha coinvolto le seguenti regioni: Marche e Umbria. Si è trattato di un fenomeno piuttosto straordinario, giacché presentava una struttura temporalesca "autorigenerante", ovvero un sistema convettivo che persiste sulla stessa area per diverse ore (Nuisser et al. 2008; Ducrocq et al. 2014; Pensieri et al. 2018). Difatti, si è originato un sistema stazionario autorigenerante capace di far incrementare l'intensità delle precipitazioni per una durata di 6-7 ore. Il valore più alto registrato delle precipitazioni cumulate è stato di 419 mm, con una durata di circa 9h. Diverse stazioni idrometriche, a causa della forte intensità del fenomeno, non sono riuscite a trasmettere i dati e sono state anche danneggiate. I valori delle precipitazioni rilevati sono stati superiori ai massimi storici: nel dettaglio si è osservato che i valori delle precipitazioni cumulate di 3h e 6h sono stati superiori di oltre il 250%. Da ciò si deduce quanto questo fenomeno sia stato piuttosto raro in queste aree. Tra le conseguenze riportate, sono emersi danni sui tratti ferroviari oltre che sulle strade locali e nazionali,

con più di 1500 frane. Per rendere più chiara sia l'intensità, che la rarità dell'evento, nell'articolo "*Landslides triggered by an extraordinary rainfall event in Central Italy on September 15, 2022*" si ha un confronto tra l'evento in esame ed un evento simile che colpì le Marche nel 2013: l'intensità delle precipitazioni non è comparabile, nel 2013 si registrarono 499 mm in 84h, mentre nel 2022 vi furono 419 mm in 9h. Pertanto, emerge che questo fenomeno climatico estremo del 2022 ha avuto un'intensità delle precipitazioni media particolarmente rara e alta. Dal punto di vista economico, vi sono stati degli impatti assai significativi, basti pensare alla rete stradale e ferroviaria, entrambe danneggiate sensibilmente e inattive per diverso tempo. Sono stati stimati infatti, almeno 2 mld di euro in termini di danni economici.

Durante i primi di novembre (2023) si è abbattuta in Toscana una forte alluvione, che ha determinato 2,7 mld di danni diretti secondo le stime dei Dipartimenti della Protezione Civile della Toscana e nazionale. Nel dettaglio, è stato stimato che i danni nei confronti delle attività economiche sono stati di almeno 500 mln⁴⁴. Durante l'alluvione, l'intensità delle precipitazioni ha raggiunto dei livelli straordinari: in molte aree sono stati rilevati più di 200 mm di pioggia, raggiungendo in determinate zone una cadenza della pioggia pari a 246,6 mm (Vagli di Sotto). Essendosi verificate piogge così estreme ed intense, non solo si è generata una moltitudine di frane, ma si è anche verificata la rottura degli argini di più corpi idrici. Infatti, sono stati necessari oltre 1.000 interventi: da un lato un numero estremamente alto di persone è dovuto evacuare dalle proprie abitazioni, dall'altro molti abitanti sono dovuti rimanere in casa per colpa dello straripamento dei fiumi. Quest'ultimo aveva originato acque pericolosamente alte. Come riportato dalla Giunta Regionale Toscana⁴⁵, il danno economico sostenuto dalle famiglie è stato complessivamente di 661,2 mln, mentre le attività produttive hanno assistito a danni economici sia diretti che indiretti, di 1,340 mld. All'interno di questa stima rientrano i costi diretti (1,189 mld), con i costi legati ai fabbricati e macchinari (quasi 984 mln), all'interruzione della produzione (108 mln), ed infine ai danni dei magazzini (97,3 mln). Dopodiché, seguono i costi indiretti, legati all'interruzione di filiere e scambi commerciali, i quali ammontano a 151 mln.

⁴⁴ https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/P-9-2023-003279_EN.html

⁴⁵ <https://www.toscana-notizie.it/-/alluvione-imprese-e-famiglie-il-conto-dei-danni-secondo-l-irpet-%C3%A8-di-2-1-miliardi>

La regione del Lazio risulta una delle aree più fortemente impattate dal cambiamento climatico, come evidenziato dai dati relativi agli eventi climatici estremi verificatisi nel periodo 2010-2022. In particolare, su un totale di **136 eventi climatici estremi**, 66 hanno interessato la città di Roma. Si è notata una prevalenza di precipitazioni intense, trombe d'aria e periodi prolungati di siccità nella regione in questione. Secondo quanto riportato dalla redazione ANSA⁴⁶, le spiagge del Lazio hanno assistito a ben **48 eventi meteorologici estremi** nel periodo compreso tra il 2010 e il 2023. Inoltre, si è riscontrato che quasi il 59% circa della costa bassa è soggetto a fenomeni di erosione e avanzamento, come osservato dai dati rilevati nel periodo 2006-2009. Come riportato da RaiNews⁴⁷, nei primi sei mesi del 2023 si è stimato che siano stati causati circa 400 mln di euro di danni a seguito degli eventi climatici estremi registrati nella regione in questione. Si tratta di una cifra fondamentale in quanto rappresenta l'incremento significativo rispetto all'anno precedente, quando le perdite economiche nelle coltivazioni agricole ammontavano a quasi 250 mln di euro. Ciò suggerisce come il clima provochi un impatto sempre più grave verso la regione Lazio, oltre che verso l'agricoltura. Si deve inoltre considerare che tali perdite si ripercuotono anche sull'intera catena di approvvigionamento alimentare e sull'economia regionale. Da un punto di vista climatico, la regione è stata drasticamente influenzata dalle temperature medie elevate e dalla scarsità di piogge, risultando in un grave stato di siccità. Inoltre, risulta rilevante osservare che nel 2020 si è registrata un'anomalia nella temperatura media, che ha superato di 2,04 °C il valore medio riscontrato nel periodo 1971-2000.

Analizzando il Sud-Italia, si osserva che la Campania ha assistito nel periodo 2010-2022 a **93 eventi climatici estremi**, di cui 21 nel capoluogo Napoli. Si tratta di dati rilevanti, poiché si è osservato un aumento della frequenza di questi fenomeni, spesso associati a repentini ed intensi episodi di precipitazioni e trombe d'aria lungo la costa. In particolare, si sono verificati notevoli danni ed interruzioni alle infrastrutture, specialmente a causa di allagamenti dovuti alle piogge intense. In aggiunta, è da notare che alcune aree della regione hanno sperimentato una prolungata siccità nel corso degli anni. È emerso inoltre

⁴⁶ https://www.ansa.it/lazio/notizie/2023/07/25/cambiamento-clima-colpisce-spiagge-del-lazio48-eventi-estremi_67838c46-fbe9-4d33-b91b-be672a937333.html

⁴⁷ <https://www.rainews.it/tgr/lazio/articoli/2023/06/maltempo-danni-per-lagricoltura-da-400-milioni-di-euro-bce7bbe4-ce48-45ad-86eb-da14f5f418ab.html>

che nel 2020 nel capoluogo partenopeo si è verificata un'anomalia della temperatura media di 1,34 °C rispetto al periodo 1971-2000.

Osservando invece la Puglia, si nota che ha assistito dal 2010 al 2022 a **112 eventi estremi**. Nel dettaglio, Bari si è caratterizzata per 42 eventi, di cui 20 sono stati allagamenti dovuti a piogge intense, altri 17 sono stati casi di danni dovuti a trombe d'aria. La maggior parte dei casi sono stati fenomeni che hanno provocato disagi per la città, causando anche l'interruzione dell'attività ferroviaria. Infatti, molti binari non erano utilizzabili per colpa degli allagamenti. Lo stesso problema si è verificato nei confronti dei cittadini, i quali hanno visto le proprie abitazioni essere invase dall'acqua, seguite da disagi sulla rete stradale della città. Nello stesso periodo (2010-2022) si sono verificati 18 eventi che hanno coinvolto ripetitivamente l'aeroporto della città e la zona portuale. A dimostrazione del riscaldamento globale in corso, nell'analisi dei seguenti periodi, 1971-2000 e 2006-2015, riportata nel Rapporto CittàClima 2022 (Legambiente), è emerso che la temperatura media annuale di Bari è incrementata di 0,5 °C. Si tratta di un aumento avvenuto troppo velocemente.

Nel rapporto citato prima, si è osservato che la Sardegna nel corso del periodo 2010-2022 ha assistito a 55 eventi estremi. Nel dettaglio, la parte settentrionale della regione ha subito 20 alluvioni con esondazioni fluviali, che hanno causato 22 vittime. Analizzando Cagliari invece, sono stati registrati 12 eventi climatici estremi nel medesimo periodo. Sebbene possano sembrare pochi dato l'arco temporale, tuttavia la loro frequenza si è intensificata dal momento che 8 su 12 si sono verificati negli ultimi 4 anni (2019-2022). La maggior parte di questi eventi hanno provocato allagamenti con conseguenti ritardi e disagi nello svolgimento delle attività. Oltre ai danni subiti dalle strutture, si sono verificati dei danni economici dovuti sia al rallentamento, che all'interruzione delle attività economiche. Un ulteriore fattore legato al riscaldamento globale è dato dall'analisi del periodo 1971-2000, da cui risulta che la anomalia della temperatura nel 2020 (rispetto al 1971-2000) sia stata di 0,97 °C.

3.1 Modelli di Regressione Lineare Multipla a livello regionale

In prima istanza, si è proceduto creando un set di dati contenente due categorie di variabili, quali macroeconomiche e climatiche, espresse in trimestri. Tale scelta consente di

avere una visione più dettagliata e accurata delle dinamiche studiate. Le prime sono rispettivamente: **depvar** (Produttività del lavoro); **val_agri** (Agricoltura, silvicoltura e pesca); **val_alim** (Industria alimentare); **val_mani** (Industria manifatturiera); **val_tes** (Industria tessile); **val_cost** (Costruzioni); **val_serv** (Servizi); **val_comu** (Servizi di informazione e comunicazione); **val_imm** (Attività immobiliari). Le seconde invece, sono rispettivamente: **temp** (Temperatura); **pioggia** (Pioggia); **vento** (Velocità del vento); **nuvolo** (Nuvolosità). Una volta creato il set di dati, è stata verificata la multicollinearità delle variabili. Questa prima analisi permette non solo di identificare l'eventuale presenza di relazioni lineari tra le variabili indipendenti, ma di osservare anche l'influenza che tali variabili indipendenti possono avere sulla Produttività di Lavoro. Dall'analisi è emerso immediatamente che **val_mani**, **val_tes** e **val_serv** sono fortemente correlate tra loro e, inoltre, hanno un impatto positivo sulla Produttività del lavoro (**depvar**). Ciò indicherebbe una possibile dipendenza tra i settori economici manifatturiero, tessile e dei servizi. Successivamente, si è osservato che **val_alim**, **val_cost** e **val_comu** presentando alte correlazioni, indicano una forte multicollinearità. In aggiunta, si è notato che **val_agri** e **val_comu** si caratterizzano per una forte correlazione negativa, suggerendo che all'aumentare del valore aggiunto dell'agricoltura (**val_agri**), il valore delle comunicazioni (**val_comu**) tende a diminuire, e viceversa. Infine, si è dedotto che **val_serv** e **val_immo** hanno una forte correlazione positiva, ciò indicherebbe una probabile presenza di multicollinearità. Pertanto, si è reso necessario realizzare due modelli macroeconomici di regressione lineare multipla distinti. In presenza di multicollinearità, alcune variabili possono essere eliminate dal modello giacché il loro impatto potrebbe essere già rappresentato da altre variabili correlate. In questa maniera, si possono conseguire delle stime di coefficienti più stabili e, dunque, si può giungere ad una interpretazione più accurata dell'effetto delle variabili indipendenti sulla variabile dipendente. In generale, un modello di regressione lineare multipla permette di studiare la dipendenza di una variabile "y_i" (Produttività di Lavoro) rispetto ad altre variabili "x_i" (nel nostro caso abbiamo variabili sia macroeconomiche, sia climatiche). In questa maniera, si ha l'obiettivo di osservare come una variazione delle variabili "x_i" influenzi la distribuzione di "y_i" nel tempo. Il primo modello stimato è:

$$depvar = \beta_0 + \beta_1 \cdot val_{agri} + \beta_2 \cdot val_{alim} + \beta_3 \cdot val_{cost} + u$$

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	-830.082	106.876	-7.767	0.0000	***
val_agri	138.788	18.037	7.695	0.0000	***
val_alim	42.237	18.004	2.346	0.0256	*
val_cost	52.356	9.491	5.516	0.0000	***

Residual standard error: 1.549 on 31 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.7742, Adjusted R-squared: 0.7523
F-statistic: 35.42 on 3 and 31 DF, p-value: 0.0000

Tutti i coefficienti di regressione, come già osservato precedentemente, impattano positivamente sulla Produttività di Lavoro e, inoltre, risultano essere significativi. In secondo luogo, il modello non solo risulta robusto presentando un *Adjusted R-squared* maggiore del 50%, ma si evidenzia anche che il 75,23% della variazione nella variabile dipendente può essere spiegata dalle variabili indipendenti del modello.

Invece, il secondo modello stimato è:

$$depvar = \beta_0 + \beta_1 \cdot val_{comu} + \beta_2 \cdot val_{tes} + u$$

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	-294.799	46.835	-6.294	0.0000	***
val_comu	27.610	9.183	3.007	0.0051	**
val_tes	69.693	6.969	10.001	0.0000	***

Residual standard error: 1.522 on 32 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.775, Adjusted R-squared: 0.761
F-statistic: 55.13 on 2 and 32 DF, p-value: 0.0000

Si osserva anzitutto, che l'effetto delle variabili (*val_comu* e *val_tes*) sia significativo e, pertanto, le imprese che offrono servizi di comunicazione e prodotti non alimentari, hanno un impatto positivo sulla Produttività di Lavoro. Dunque, un aumento nel valore aggiunto di tali settori è associato a un incremento della produttività. Inoltre, il modello risulta essere robusto dal momento che l'*Adjusted R-squared* è 76,1%. Alla luce dei risultati della regressione, si può affermare che le industrie sia dei beni alimentari che dei beni materiali in senso stretto, hanno un impatto significativo sulla Produttività di Lavoro.

Nei modelli climatici si è dovuto stimare nuovamente la correlazione con lo scopo di individuare la possibile multicollinearità tra le variabili climatiche. In primo luogo, si è osservato che la variabile “temp” (temperatura) desse dei problemi con la variabilità “nuvolo” (Nuvolosità). In secondo luogo, è stata identificata una forte correlazione tra le variabili meteorologiche nelle regioni del Centro-Sud Italia. Tuttavia, spostandosi verso le regioni del Nord Italia, la medesima correlazione tende a ridursi. Da ciò, emerge che nelle regioni del Centro-Sud Italia si verifichi un clima relativamente omogeneo, dal momento che determinate variazioni meteorologiche in una regione tendono a riflettersi anche nelle regioni vicine. In aggiunta, si può ritenere che le regioni del Nord Italia abbiano condizioni meteorologiche meno influenzate da quelle del Centro-Sud Italia. Infine, si è proceduto con la stima dei modelli di regressione multipla regionali, comprensivi di variabili indipendenti sia macroeconomiche, sia climatiche:

Amalfi (Campania):

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	-820.5292	98.8684	-8.299	0.0000	***
val_agri	134.5717	16.7816	8.019	0.0000	***
val_alim	45.4737	16.6549	2.730	0.0106	*
val_cost	50.2522	8.7919	5.716	0.0000	***
temp_camp	0.1302	0.0550	2.368	0.0248	*
pioggia_camp	8.8883	3.7432	2.375	0.0244	*

Residual standard error: 1.429 on 29 degrees of freedom
 Multiple R-squared: 0.8201, Adjusted R-squared: 0.7891
 F-statistic: 26.45 on 5 and 29 DF, p-value: 0.0000

Utilizzando i dati della prima regressione, si osserva che le variabili meteorologiche (temperatura e pioggia) hanno un impatto positivo sulla produttività, suggerendo che una temperatura mite ed una frequenza di piogge moderata permettono alle imprese di produrre maggiormente. In presenza di una forte significatività dei settori primario e terziario su Amalfi (Campania), qualora si verificassero dei valori anomali e/o estremi delle variabili climatiche, allora si determinerebbero dei forti danni sulla Produttività del Lavoro; successivamente questo fenomeno sarà analizzato più efficientemente tramite modelli di serie storiche. In generale, si nota che il modello stimato è robusto (*Adjusted R-squared* = 78,91% > 50%) e non efficiente (*SER* ≥ 1). Ciò indica non solo che le variabili indipendenti nel modello spiegano una grande parte della varianza nella Produttività del Lavoro,

ma anche che altri fattori non inclusi nel modello possono influenzare ulteriormente la variabile dipendente. Successivamente, è stato realizzato il grafico illustrante la distribuzione dei residui standard (figura 9), da cui emerge una relazione positiva. Infatti, i punti seguono la linea diagonale nella parte centrale e presentano delle deviazioni nelle estremità. I punti 25, 8 e 12 sono considerati punti *outliers*, giacché si allontanano notevolmente dalla linea diagonale.

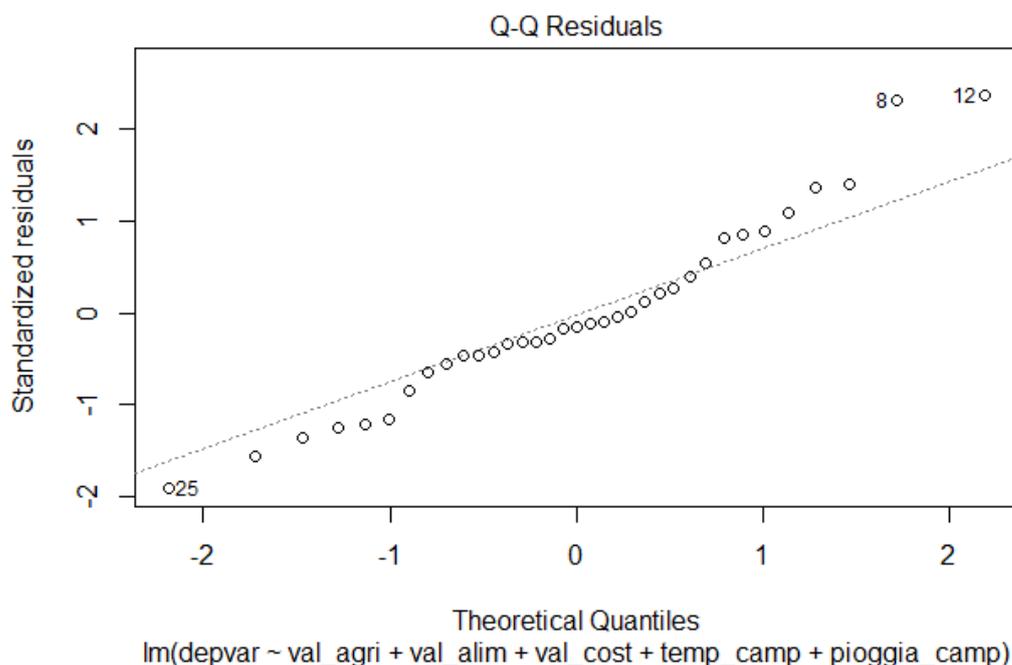


Figura 9: Q-Q Plot dei Residui; Amalfi (Campania)

Bari (Puglia):

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	-227.4956	47.3055	-4.809	0.0000	***
val_comu	5.1088	10.6863	0.478	0.6362	
val_tes	74.4770	6.5261	11.412	0.0000	***
temp puglia	0.2025	0.0709	2.855	0.0079	**
pioggia puglia	-14.1055	11.8331	-1.192	0.2429	
nuvolo puglia	0.1224	0.0378	3.236	0.0030	**

Residual standard error: 1.361 on 29 degrees of freedom
 Multiple R-squared: 0.8369, Adjusted R-squared: 0.8088
 F-statistic: 29.77 on 5 and 29 DF, p-value: 0.0000

Utilizzando i dati della seconda regressione, si nota che le variabili climatiche (temperatura e nuvolosità) sono significative; nel dettaglio la nuvolosità rappresenta la pioggia, riflettendo dunque i suoi effetti. In generale il modello risulta essere robusto (*Adjusted R-squared* 80,88% > 50%) e non efficiente ($SE\hat{R} \geq 1$). Si può ipotizzare che, in presenza di condizioni climatiche caratterizzate da temperature moderate e copertura nuvolosa adeguata (favorendo piogge regolari), si abbiano livelli ottimali di produzione. Comunque, dei valori estremi potrebbero avere un impatto negativo sulla produzione economica, recando danni sul benessere dell'area di interesse. Infine, è stato analizzato il grafico (figura 10) che mostra la distribuzione dei residui standard: i punti tendono a adattarsi abbastanza bene alla linea diagonale, caratterizzandosi per lievi deviazioni; quindi, i residui seguono una distribuzione normale. Si rilevano come punti *outliers*, i seguenti punti: 14, 8 e 4.

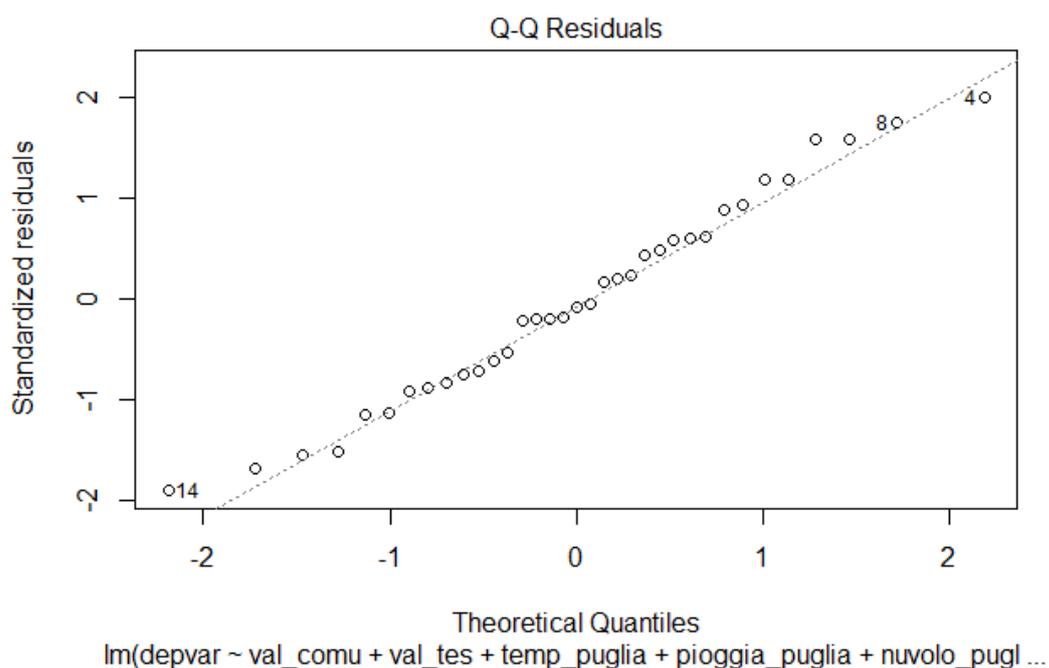


Figura 10: Q-Q Plot dei Residui; Bari (Puglia)

Civitavecchia (Lazio):

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	-308.9444	43.9902	-7.023	0.0000	***
val_comu	30.0648	8.5989	3.496	0.0015	**

val_tes	70.0474	6.5090	10.762	0.0000	***
temp_lazio	0.0864	0.0501	1.724	0.0949	.
pioggia_lazio	14.1255	5.6136	2.516	0.0174	*

Residual standard error: 1.416 on 30 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.8174, Adjusted R-squared: 0.793
F-statistic: 33.57 on 4 and 30 DF, p-value: 0.0000

Utilizzando i dati della seconda regressione emerge che, sebbene solo la variabile pioggia risulti significativa singolarmente, la temperatura tuttavia presenta un certo livello di significatività, seppur marginale, a causa della correlazione con la pioggia. Ciò, infatti, consentirebbe di spiegare il perché la temperatura diventi effettivamente significativa nel contesto del modello complessivo. Pertanto, si assume che entrambe le variabili possono avere un'influenza positiva sulla Produttività del Lavoro, a condizione che mantengano dei valori stabili nel tempo. Il modello rappresentato risulta essere robusto (*Adjusted R-squared* = 79,3% > 50%) e non efficiente ($SE\hat{R} \geq 1$). Dopodiché, è stato sviluppato un grafico (figura 11) sulla distribuzione dei residui standard, dove si è osservata una deviazione maggiormente pronunciata dei punti rispetto alla linea diagonale. Perciò, si potrebbe desumere che i residui non sono distribuiti normalmente. In aggiunta, vi sono i punti 13, 32 e 4 che vengono identificati come potenziali *outliers*. Ne consegue che la relazione che intercorre fra le variabili del modello possa essere più complessa in tal caso.

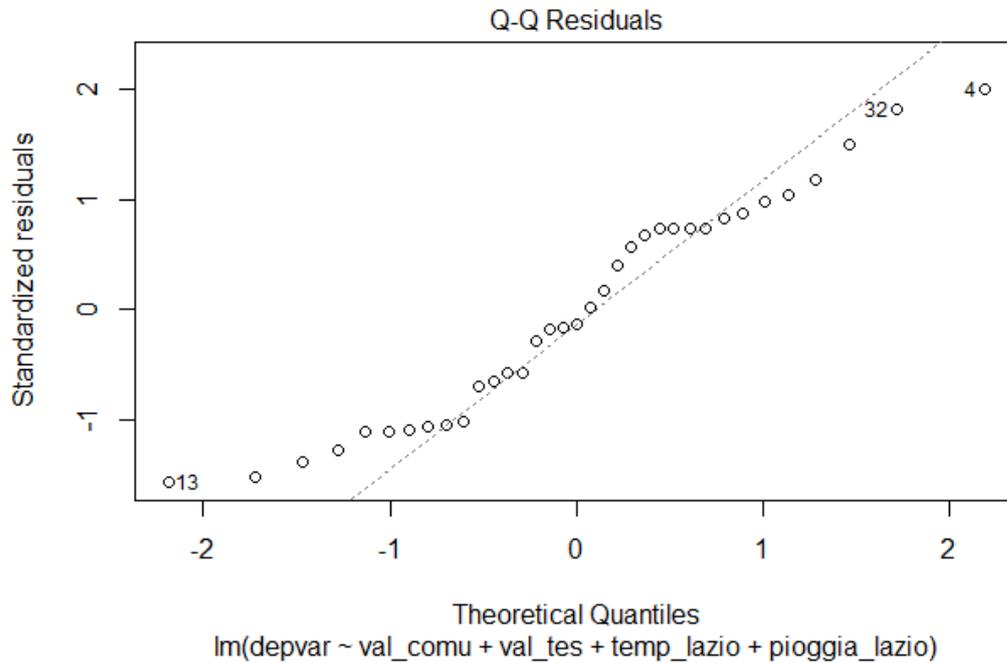


Figura 11: Q-Q Plot dei Residui; Civitavecchia (Lazio)

Livorno (Toscana):

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	-820.9891	93.4770	-8.783	0.0000	***
val_agri	133.4958	15.8493	8.423	0.0000	***
val_alim	45.2969	15.7694	2.872	0.0075	**
val_cost	51.5598	8.3117	6.203	0.0000	***
temp_tosc	0.1120	0.0486	2.304	0.0286	*
pioggia_tosc	13.3721	4.2654	3.135	0.0039	**

 Residual standard error: 1.353 on 29 degrees of freedom
 Multiple R-squared: 0.8388, Adjusted R-squared: 0.811
 F-statistic: 30.18 on 5 and 29 DF, p-value: 0.0000

Utilizzando i dati della prima regressione, è emerso che entrambe le variabili (temperatura e pioggia) siano significative, mostrando dunque, un'influenza positiva nei confronti della Produttività del Lavoro. Nel dettaglio, la variabile meteorologica "pioggia" risulta avere una significatività maggiore dell'altra variabile (temperatura); ne consegue che dei fenomeni estremi di pioggia, come la siccità e/o temporali genereranno maggiori danni sui

settori della regione di interesse. In generale, il modello risulta robusto (*Adjusted R-squared* = 81,1% > 50%) e non efficiente (*SER* \geq 50%). In aggiunta, osservando il grafico (figura 12) sui residui standard emerge che i punti si adattano bene solo verso il centro della linea diagonale; infatti, vi sono delle forti deviazioni dei punti sull'estremità superiore. Infine, i punti 5, 8 e 12 risultano punti *outliers*.

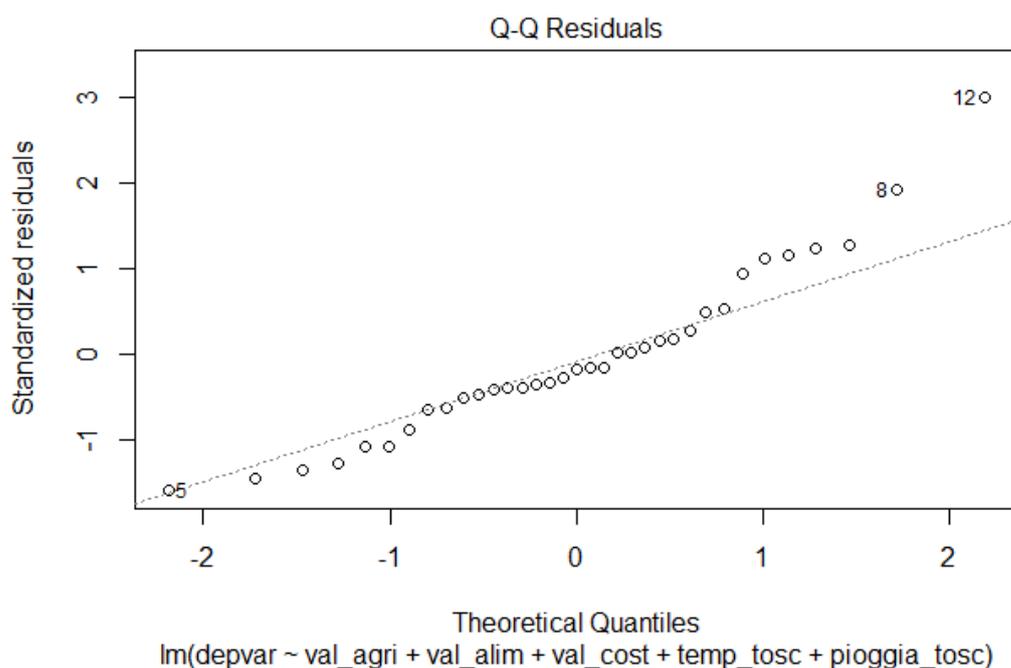


Figura 12: Q-Q Plot dei Residui; Livorno (Toscana)

Rimini (Emilia-Romagna):

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	-224.8309	52.7459	-4.263	0.0002	***
val_comu	7.1702	12.3696	0.580	0.5666	
val_tes	71.7795	6.9780	10.287	0.0000	***
temp emilia	0.1893	0.0810	2.338	0.0265	*
pioggia_emilia	-3.3713	7.3891	-0.456	0.6516	
nuvolo emilia	0.0973	0.0397	2.452	0.0205	*

Residual standard error: 1.446 on 29 degrees of freedom
 Multiple R-squared: 0.816, Adjusted R-squared: 0.7842
 F-statistic: 25.72 on 5 and 29 DF, p-value: 0.0000

Utilizzando i dati della seconda regressione, si nota che solo due variabili risultano significative quali temperatura e nuvolosità, presentando un'influenza positiva sui settori economici della regione e, pertanto, sulla produttività del lavoro. Nel dettaglio, la pioggia è indirettamente significativa a causa della sua correlazione con le altre variabili, nonostante nel modello non sembri significativa individualmente. Infatti, i suoi effetti non devono essere sottovalutati. Al contempo, si devono considerare i valori assunti dalla temperatura, dal momento che un loro cambiamento estremo potrebbe recare ingenti danni sia economici che ambientali. Infine, il modello stimato risulta robusto (*Adjusted R-squared* = 78,42% > 50%) e non efficiente (*SER* ≥ 0), mentre dal grafico (figura 13) degli errori standard si ricava che i punti seguono la linea diagonale con piccole deviazioni, specialmente sull'estremità inferiore. I punti 5, 17 e 4 invece, vengono identificati come potenziali *outliers*.

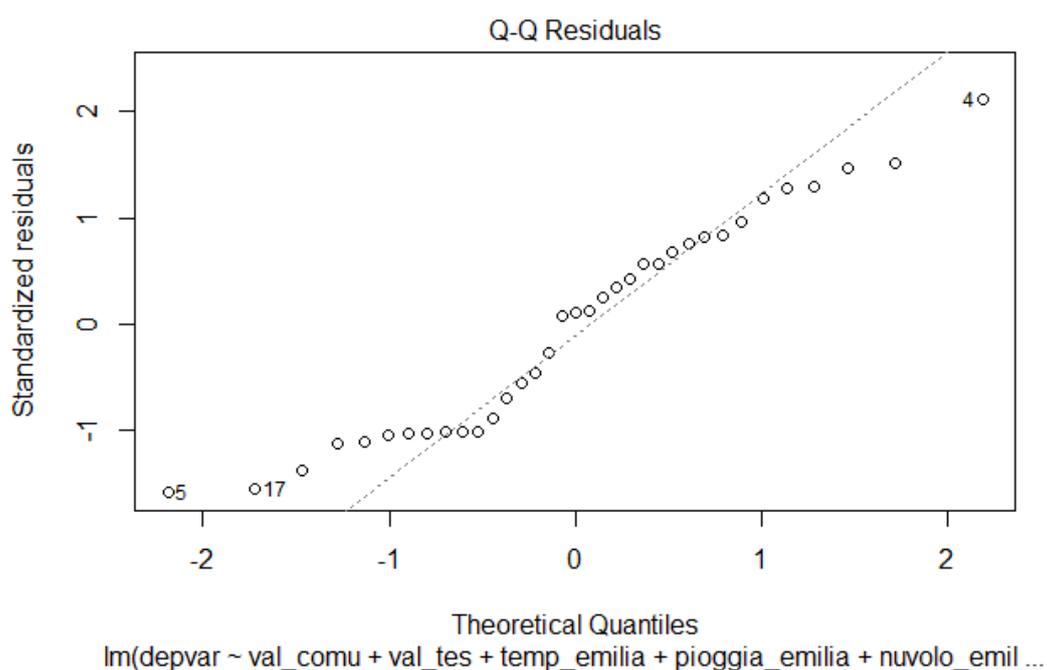


Figura 13: Q-Q Plot dei Residui; Rimini (Emilia-Romagna)

Genova (Liguria):

Coefficients:

Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
----------	------------	---------	----------

(Intercept)	-239.1166	48.6642	-4.914	0.0000	***
val_comu	8.6497	10.6779	0.810	0.4245	
val_tes	73.7335	6.5040	11.337	0.0000	***
temp_ligu	0.1953	0.0752	2.597	0.0146	*
pioggia_ligu	3.2486	3.8449	0.845	0.4051	
nuvolo_ligu	0.0921	0.0390	2.365	0.0250	*

Residual standard error: 1.372 on 29 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.8343, Adjusted R-squared: 0.8057
F-statistic: 29.2 on 5 and 29 DF, p-value: 0.0000

Utilizzando i dati della seconda regressione, si osserva che le variabili climatiche, temperatura e nuvolosità, sono significative. Come già analizzato precedentemente, la pioggia pur caratterizzandosi per l'assenza di significatività nel modello stimato, risulta nella realtà significativa. Ciò deriva dalla forte correlazione tra le variabili climatiche, infatti, la pioggia segue un andamento simile alle altre variabili climatiche. Perciò, si deduce che dei valori stabili nel tempo permettano di avere livelli ottimali di Produttività del Lavoro. In presenza di valori anomali e/o estremi, ripetuti nel tempo, si determinerebbero ingenti danni economici. In generale, il modello stimato è robusto (*Adjusted R-squared* = 80,57% > 50%) e non efficiente (*SER* ≥ 1); dal grafico (figura 14) sui residui standard invece, emerge che i punti tendenzialmente seguono la linea diagonale, ma presentano sia delle lievi deviazioni centrali, sia delle forti deviazioni verso le estremità. Si identificano i seguenti punti, 28, 8 e 4 come punti *outliers*.

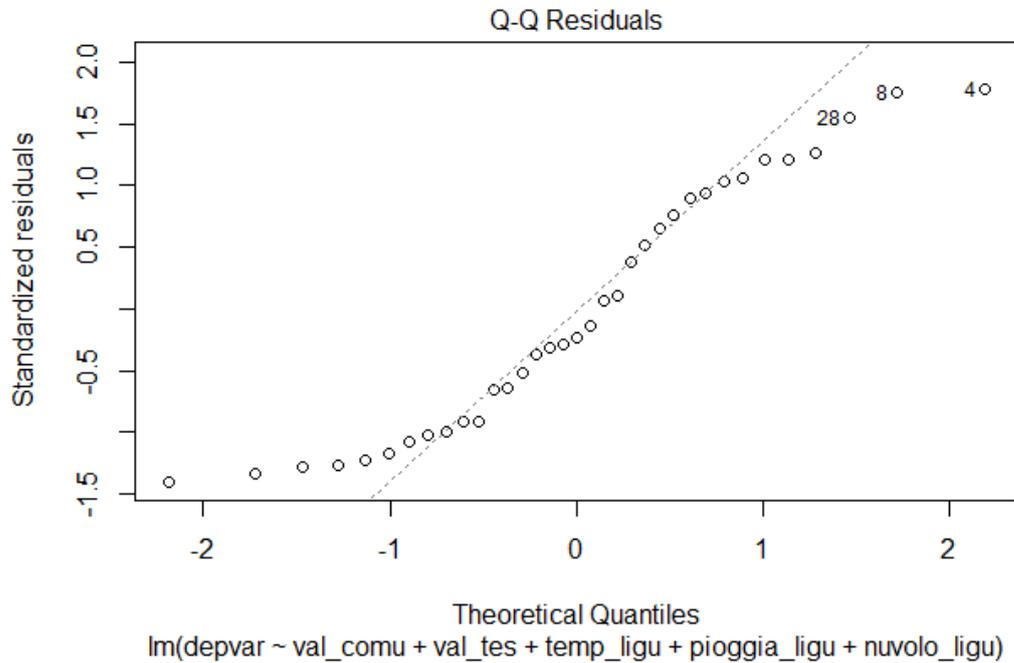


Figura 14: Q-Q Plot dei Residui; Genova (Liguria)

Cagliari (Sardegna):

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	-257.8224	43.1684	-5.972	0.0000	***
val_comu	11.9441	9.7209	1.229	0.2291	
val_tes	75.2264	6.3755	11.799	0.0000	***
temp_sard	0.1757	0.0637	2.756	0.0100	*
pioggia_sard	10.7330	6.9750	1.539	0.1347	
nuvolo_sard	0.0810	0.0344	2.354	0.0256	*

 Residual standard error: 1.329 on 29 degrees of freedom
 Multiple R-squared: 0.8444, Adjusted R-squared: 0.8176
 F-statistic: 31.48 on 5 and 29 DF, p-value: 0.0000

Utilizzando i dati della seconda regressione, risultano significative le seguenti variabili meteorologiche: temperatura e nuvolosità, suggerendo che producano un impatto positivo sulla produttività del lavoro; anche la pioggia segue l'andamento delle altre variabili a causa della loro correlazione. Perciò, si rende necessario non sottovalutare un aumento frequenziale di valori anomali e/o estremi di tali variabili. Infine, si osserva che il modello stimato è robusto (*Adjusted R-squared* = 81,76% > 50%) e non efficiente (*SER* ≥ 1). Dal

grafico (figura 15) sui residui emerge che i punti seguono abbastanza bene la linea diagonale, presentando piccole deviazioni; i punti 12, 32 e 4 indicano punti *outliers*.

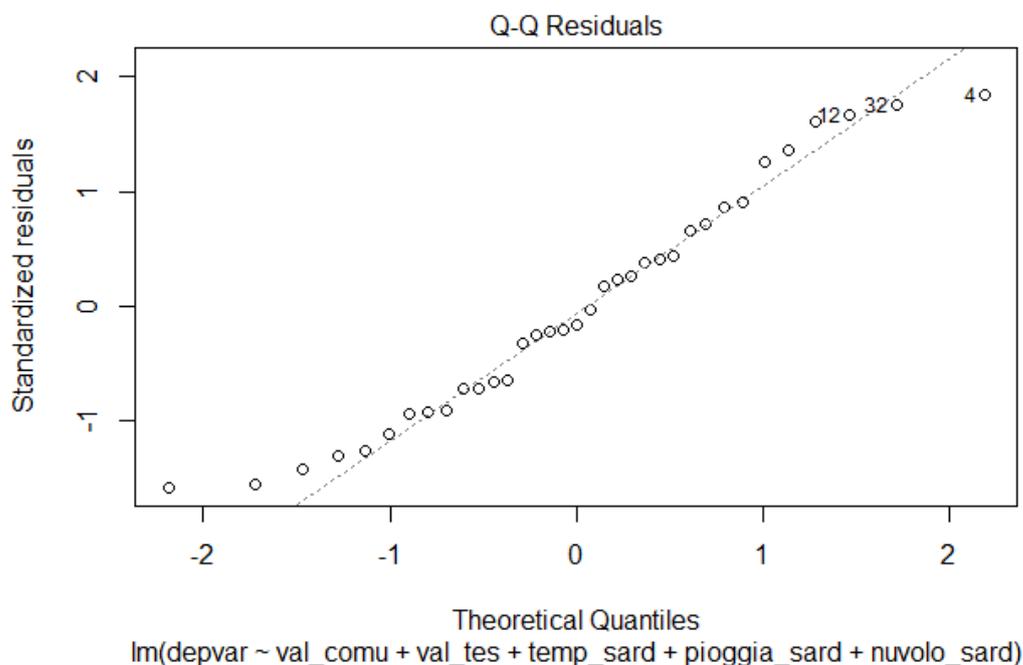


Figura 15: Q-Q Plot dei Residui; Cagliari (Sardegna)

3.2 Modelli di Regressione Lineare Multipla a livello aggregato

Una volta stimati ed analizzati i modelli di regressione multipla sulle città (regioni), l'analisi effettuata si estende ad una valutazione più ampia sulle zone d'Italia, quali Sud, Centro, Nord e Isole. È stato necessario verificare nuovamente la multicollinearità per essere a conoscenza di eventuali correlazioni forti tra le variabili dei modelli. Da questa verifica è stato possibile confermare che le variabili climatiche del Centro-Sud Italia presentano una correlazione così forte, che risulta complesso isolare l'effetto individuale di ogni variabile climatica. Invece, il Nord Italia si caratterizza per delle variabili climatiche più distaccate dal Centro-Sud Italia, dimostrando ulteriormente che le condizioni climatiche del Nord Italia non siano particolarmente influenzabili da quelle del Centro-Sud Italia. Successivamente, si è proceduto con la stima dei modelli di regressione lineare multipla a livello più aggregato, a seguito della quale sono emersi i seguenti modelli:

Sud Italia:

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	-837.4860	101.9929	-8.211	0.0000	***
val_agri	137.9654	17.2496	7.998	0.0000	***
val_alim	45.9371	17.2470	2.663	0.0125	*
val_cost	50.7522	9.0757	5.592	0.0000	***
pioggia_sud	12.1045	6.4145	1.887	0.0692	.
temp_sud	0.1176	0.0559	2.104	0.0442	*

Residual standard error: 1.477 on 29 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.808, Adjusted R-squared: 0.7749
F-statistic: 24.41 on 5 and 29 DF, p-value: 0.0000

Nel modello stimato tramite l'utilizzo dei dati economici della prima regressione, emerge che entrambe le variabili economiche "val_agri", "val_alim" e "val_cost" hanno un'influenza particolarmente significativa sulla produttività del lavoro. Perciò, si desume che i settori primario (Agricoltura, silvicoltura e pesca), secondario (Costruzioni ed Industria alimentare volta alla produzione e trasformazione degli) e terziario (Industria alimentare volta alla distribuzione e vendita degli stessi) risultano determinanti per la produttività del lavoro nel Sud Italia. Nel dettaglio, la temperatura risulta essere significativa, mentre la pioggia apparentemente sembrerebbe non sufficientemente significativa. Tuttavia, a causa della correlazione che intercorre tra le variabili climatiche stesse, nella realtà effettiva non si devono trascurare gli effetti della pioggia. Dato l'*Adjusted R-squared* superiore del 50%, il modello risulta robusto ed il 77,49% della variazione della dipendente è spiegabile dalle variabili indipendenti del modello. Il modello avendo $SE \geq 1$, si caratterizza per la presenza di altri fattori (esterni al modello stesso) che determinano ulteriori impatti sulla variabile dipendente. Osservando il grafico (figura 16) sui residui standard, invece, emerge che i punti si adattano alla linea diagonale molto bene solo nella parte centrale. Infatti verso le estremità sono presenti delle deviazioni e si individuano i seguenti punti *outliers*: 25, 12 e 8.

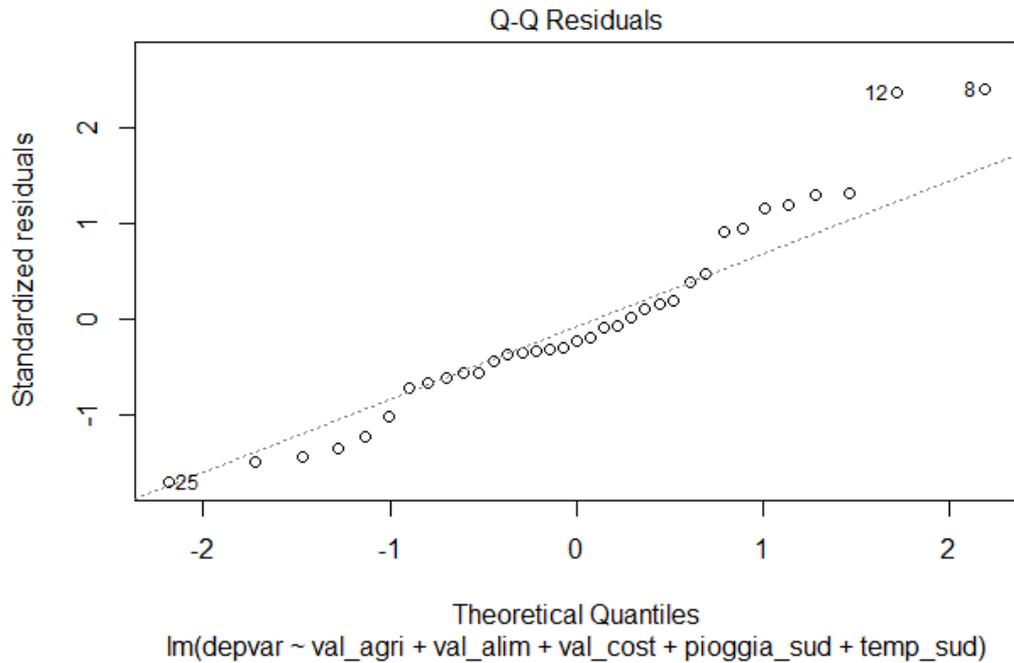


Figura 16: Q-Q Plot dei Residui, Sud Italia

Centro Italia:

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	-252.4860	43.5411	-5.799	0.0000	***
val_comu	15.1261	9.4270	1.605	0.1194	
val_tes	69.8971	5.7996	12.052	0.0000	***
temp_centro	0.2589	0.0747	3.466	0.0017	**
pioggia_centro	6.0404	5.2110	1.159	0.2559	
nuvolo_centro	0.1026	0.0348	2.948	0.0063	**

 Residual standard error: 1.26 on 29 degrees of freedom
 Multiple R-squared: 0.8602, Adjusted R-squared: 0.8361
 F-statistic: 35.68 on 5 and 29 DF, p-value: 0.0000

Adottando i dati della prima regressione, si nota anzitutto che l'Industria tessile (la quale riflette anche i valori dell'Industria manifatturiera e dei Servizi a causa della forte correlazione) risulta particolarmente significativa per la produttività del lavoro del Centro Italia. Tuttavia, non si devono trascurare i Servizi di informazione e comunicazione in quanto nella realtà operativa risultano fondamentali, pur non essendo individuata la loro significatività nel modello; inoltre, comprendono al loro interno la significatività di altre

variabili economiche a causa della correlazione. Invece, le variabili climatiche, quali temperatura e nuvolosità, presentano una forte significatività individuale; si rende necessario ricordare che queste riflettono anche la significatività della pioggia, la quale non viene rilevata a causa della correlazione. Perciò, si può affermare che, anche in questo caso, dei valori ottimali di temperatura e precipitazioni determinano impatti positivi verso la produttività del lavoro nell'area di interesse. Invece, un'eccessiva intensità delle medesime variabili risulterebbe dannosa. In generale, il modello è robusto (*Adjusted R-squared* = 83,61% > 50%) e non efficiente (*SER* ≥ 1). Dal grafico (figura 17) sui residui standard si può osservare che i punti seguono piuttosto bene la linea diagonale, ad eccezione delle estremità dove si verificano alcune deviazioni. In particolare, i punti 5, 4 e 29 indicano potenziali *outliers*, ovverosia potrebbero influenzare le prestazioni del modello stesso. Dal momento che l'adattamento risulta relativamente buono, le variabili presenti nel modello stanno catturando in maniera adeguata la variazione di produttività nella maggior parte delle osservazioni.

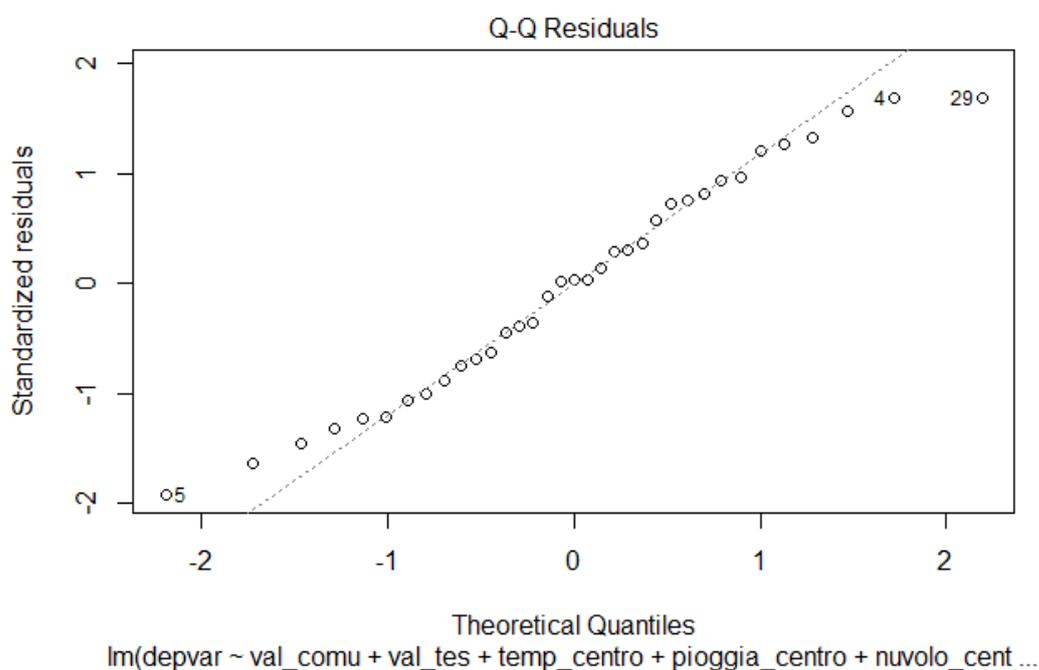


Figura 17: Q-Q Plot dei Residui; Centro Italia

Nord Italia:

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	-221.4514	48.7824	-4.540	0.0000	***
val_comu	5.9763	10.9536	0.546	0.5894	
val_tes	71.8823	6.3482	11.323	0.0000	***
temp_nord	0.2145	0.0773	2.776	0.0094	**
nuvolo_nord	0.1105	0.0371	2.979	0.0057	**

Residual standard error: 1.375 on 30 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.8277, Adjusted R-squared: 0.8047
F-statistic: 36.02 on 4 and 30 DF, p-value: 4.705e-11

Utilizzando i dati della seconda regressione, è possibile osservare che, come già visto in precedenza con il Centro Italia, si verifica il medesimo fenomeno economico. Infatti, l'Industria tessile, incorporando i valori (e dunque la significatività) dell'Industria manifatturiera e dei Servizi a causa della correlazione, risulta piuttosto significativa per la Produttività del Lavoro. Al contempo, non devono essere sottovalutati gli effetti determinati dai Servizi di informazione e comunicazione, anche se questi risultano non significativi nel modello. Entrambe le variabili climatiche, invece, risultano molto significative, evidenziando che un aumento delle temperature e/o una forte siccità alternata a forti piogge, possono generare danni sulla produttività del lavoro. Infine, il modello stimato è robusto (*Adjusted R-squared* = 80,47% > 50%) e non efficiente (*SER* ≥ 1), mentre dal grafico (figura 18) sui residui standard emerge che i punti seguono piuttosto bene la linea diagonale nella parte centrale; tuttavia, si verificano delle forti deviazioni dei punti stessi nelle estremità. I punti *outliers* sono rispettivamente 5, 8 e 4 la cui presenza potrebbe influenzare il modello.

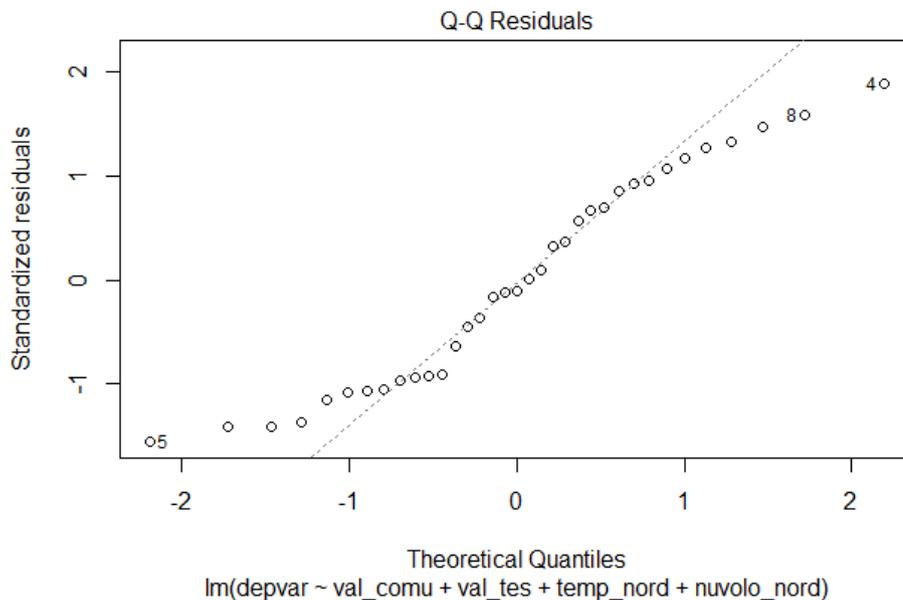


Figura 18: Q-Q Plot dei Residui; Nord Italia

3.3 Modelli di Regressione per Serie Temporali

Dopo aver stimato ed osservato i modelli di regressione lineare multipla, si prosegue tramite la stima di modelli volti all'analisi econometrica delle serie temporali. In questa maniera, si rende possibile stimare nuovamente l'impatto delle variabili indipendenti (si intendono esclusivamente le variabili climatiche) sulla variabile dipendente (Produttività del Lavoro) nel tempo. In aggiunta, si possono predire i valori futuri della variabile dipendente basandosi sui dati storici. Dopo aver definito la serie temporale in modo che ogni anno sia suddiviso in trimestri, si hanno quattro osservazioni per ogni anno (la serie temporale inizia nel 2015), ad eccezione del 2023 in cui la serie temporale termina con il terzo trimestre. Inizialmente, si è proceduto con l'osservazione di più statistiche descrittive appartenenti alla variabile "depvar" (Produttività di Lavoro): vi sono diversi valori anomali causati da più variabili legate al clima ma specialmente ad eventi di crisi (si pensi al Covid-19 e alle guerre). Essendo la media (97,397971) relativamente vicina alla mediana (97,841000), si ha una distribuzione piuttosto centralizzata. Tuttavia, la medesima distribuzione dei dati risulta asimmetrica a sinistra, dato il valore *skewness* negativo (-2,434304); la maggior parte dei valori, dunque, si sposta a destra. Procedendo ora all'ana-

lisi del grafico (figura 19), che illustra la serie temporale della variabile “depvar” (Produttività di Lavoro), si osserva che la produttività del lavoro presenta una certa variabilità nel tempo, mostrando fluttuazioni periodiche e regolari. Infatti, le oscillazioni regolari indicano una componente stagionale nella serie storica per cui la presenza di picchi e valli regolari segnala dei cambiamenti periodici nella produttività. Intorno al 2020, ha avuto luogo un calo piuttosto drastico registrando un valore minimo di circa 85. Probabilmente, tale calo si è verificato a causa della pandemia di Covid-19, la quale ha determinato misure di *lockdown* e restrizioni economiche. Successivamente, si nota una ripresa abbastanza rapida della produttività mostrando dei livelli pre-crisi. Ciononostante, si evidenzia una tendenza di crescita poco chiara dal momento che si è caratterizzato per altre fluttuazioni, probabilmente dovute al conflitto russo-ucraino. La produttività del lavoro ha mantenuto nel corso del tempo un *range* di valori stabile tra 95-100, ad eccezione del 2020. Per quanto riguarda la causa delle oscillazioni regolari, queste potrebbero essere date da più fattori: cambiamenti delle condizioni economiche, variazioni nella domanda di lavoro, variazioni stagionali e altri fattori esterni.

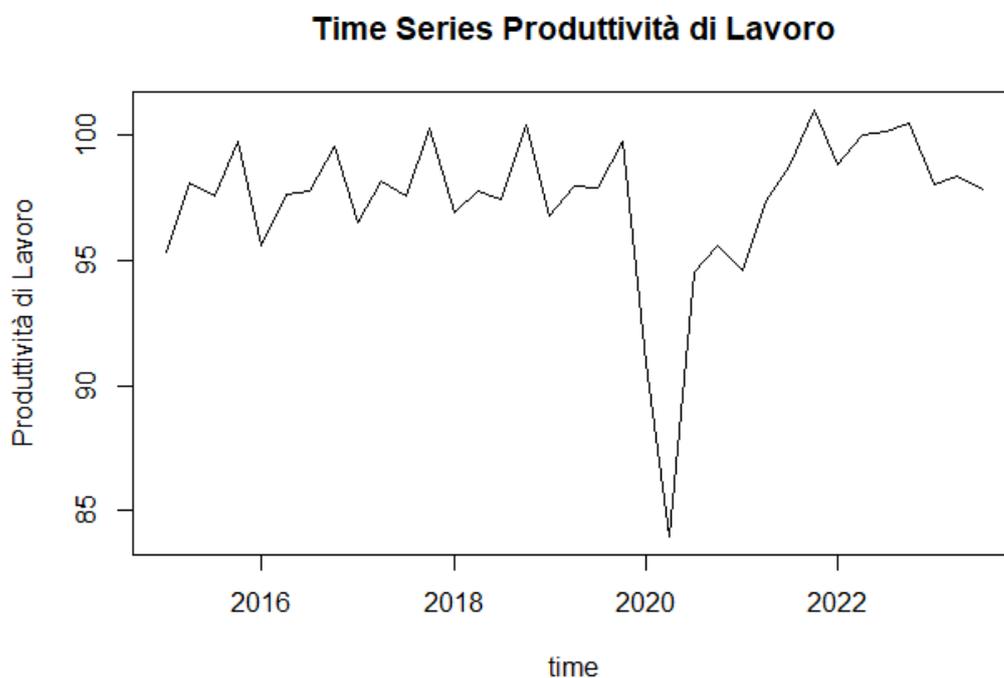


Figura 19: Serie Storica della Produttività di Lavoro

Dopodiché, l'analisi prosegue ponendo l'attenzione sulle precipitazioni: la temperatura viene scartata in quanto risulta eccessivamente volatile e dunque, complessa da analizzare. Una volta definita la serie storica trimestrale della pioggia, si procede all'analisi sul comportamento delle precipitazioni per ogni zona dell'Italia. Partendo con il grafico (figura 20) riguardante l'andamento delle precipitazioni nel Sud Italia, si osserva che non si sono verificate particolari variazioni; tuttavia, nel 2018 e nel 2021 vi sono state delle frequenti precipitazioni, probabilmente legate ad eventi di estrema pioggia. Invece, nel 2015, 2017, 2019 (primo trimestre) e 2021 (quarto trimestre) si è verificata una forte siccità con una bassa frequenza di piogge. Infine, nel 2023 si è registrato una diminuzione delle precipitazioni. In generale, si nota che vi è stata nel corso del tempo una serie di picchi seguiti da forti siccità. Per quanto riguarda il Centro Italia, si notano dei picchi meno frequenti ma più alti in determinati periodi, con una variabilità delle precipitazioni tra 0,05 e 0,20 unità. Nel dettaglio si sono verificati eventi di siccità nel 2017, 2020 (primo trimestre), 2021 (terzo trimestre) e 2023. Invece, tra il 2019 ed il 2020 ha avuto luogo una pioggia particolarmente intensa. Procedendo ora all'analisi del Nord Italia, si notano dei picchi periodici dove la variabilità è più accentuata. In particolare, si osserva che in alcuni anni vi sono stati picchi più elevati, segnalando possibili episodi di piogge estreme. In aggiunta, il Nord Italia presenta una maggiore instabilità climatica: vi è stato un solo picco estremamente alto (fine 2019), mentre l'intensità delle piogge è risultata piuttosto bassa nel resto della serie temporale. Infine, le Isole presentano una forte siccità evidenziata nel corso degli anni, pur seguendo principalmente l'andamento del Centro-Sud Italia. In tutte le zone dell'Italia si sono verificati sia picchi anomali probabilmente legati ad eventi meteorologici estremi, sia valli anomali, ovverosia eventi di siccità legati probabilmente alle continue e alte temperature.

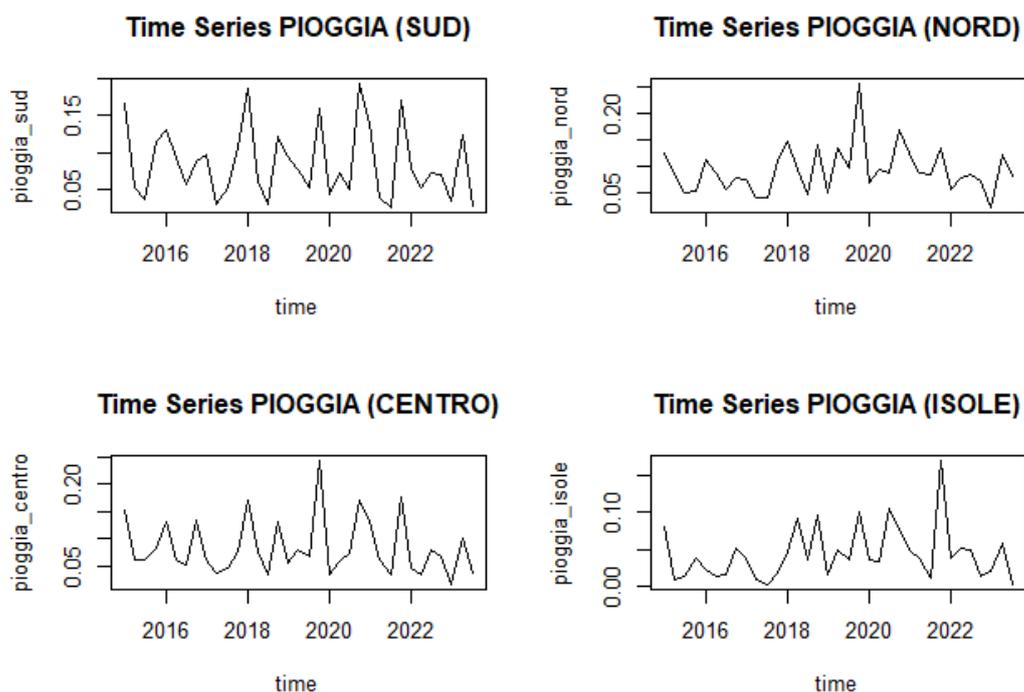


Figura 20: Serie Storiche delle Precipitazioni per zone dell'Italia

Successivamente, si è proceduto con un'analisi maggiormente approfondita delle serie storiche di ciascuna zona dell'Italia. Nel dettaglio, si è attuata la differenziazione sulle serie storiche riguardanti le precipitazioni del Sud, Centro, Nord, Isole e Produttività di Lavoro in Italia. La differenziazione permette di rendere stazionarie le serie interessate: qualora una serie non sia stazionaria, si caratterizzerebbe per delle dipendenze strette con altre componenti di tempo. In tal caso, si pone il problema secondo cui la serie non può essere stimata né soggetta a previsioni accurate. Tramite la differenziazione, quindi, si determina una minimizzazione della dipendenza della serie storica con le componenti di tempo (nel nostro caso si parla di destagionalizzazione dato che ci interessano i componenti stagionali). Dopodiché, si è proceduto con la stima dei ritardi ottimali per ottenere dei modelli autoregressivi, $AR(p)$: esprimono la media condizionata di una serie temporale Y_t in funzione dei suoi ritardi, facendo dunque, inferenza sui ritardi della Y ; “ p ” indica il numero massimo di ritardi. La procedura seguita per ogni modello è stata simile. Inizialmente, è stato determinato il ritardo ottimale, poi è stato eseguito un test di ADF (*Augmented Dickey-Fuller*) per verificare la stazionarietà delle serie. Poi, le serie sono

state oggetto di differenziazione così da renderle stazionarie. Una volta stimati i diversi modelli AR(p), è stato eseguito un test sui coefficienti dei modelli al fine di verificare la loro significatività; poi sono stati evidenziati i residui dei rispettivi modelli. Così è stato possibile stimare e visualizzare la ACF (*Autocorrelation Function*) dei residui stessi: si attua un'analisi delle dipendenze lineari a seguito della quale si evidenzia la validità dei modelli, qualora i residui non siano correlati. Infine, sono state effettuate più previsioni per ciascun modello: in primo luogo sono stati predetti 6 trimestri futuri (fino al primo trimestre del 2025), poi sono stati predetti 9 trimestri futuri (fino al quarto trimestre del 2025). Infine, vengono calcolate le metriche di accuratezza per comprendere se il modello abbia una buona capacità predittiva. In questa maniera, si ha modo di ottenere una visione più accurata e dettagliata delle prestazioni del modello, fornendo performance sia di breve termine, sia di medio termine.

Il primo modello stimato è un AR (5) riguardante la serie storica delle precipitazioni nel Sud Italia. Dal test dei coefficienti è emerso che i coefficienti “AR1”, “AR2”, “AR3” sono significativi. Per quanto concerne le previsioni, si evidenzia una certa variabilità che riflette un'incertezza crescente: le bande di confidenza (aree ombreggiate in grigio) aumentano di grandezza mentre si prevede più lontano nel futuro; più le bande sono larghe, maggiore è l'incertezza delle previsioni. Tuttavia, il modello AR (5) presenta una capacità piuttosto buona per le previsioni di dinamiche a breve termine.

Forecasting AR(5) Pioggia Sud

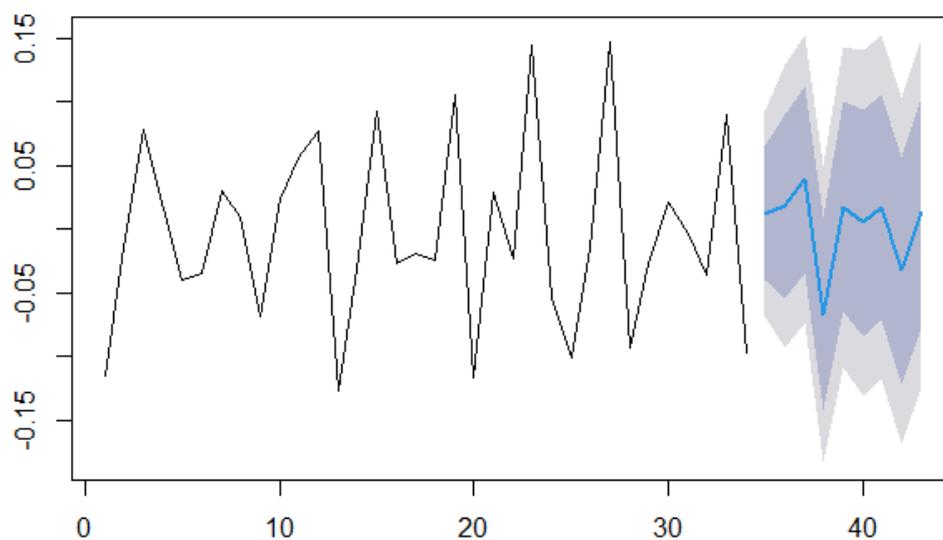


Figura 21: Previsioni delle Precipitazioni; Sud Italia

Per quanto riguarda la serie storica delle precipitazioni nel Centro Italia, è stato stimato un modello AR (2). Entrambi i coefficienti “AR1” e “AR2” sono risultati significativi, mentre l’ACF dei residui evidenzia l’assenza di picchi significativi, pertanto non vi è autocorrelazione. Anche le previsioni di questo modello si caratterizzano per una crescente incertezza all’aumentare dell’orizzonte previsionale.

Forecasting AR(2) Pioggia Centro

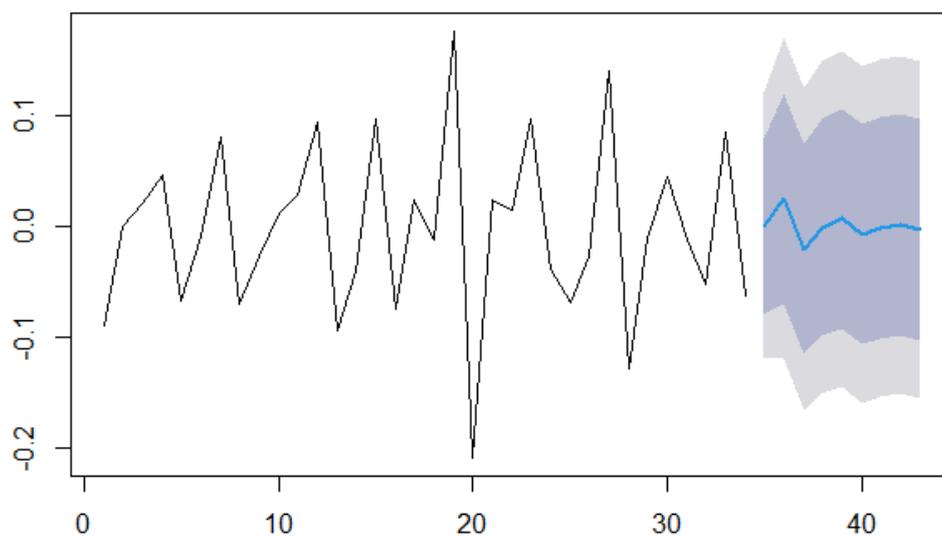


Figura 22: Previsioni delle Precipitazioni; Centro Italia

Il terzo modello stimato è un AR (8) e pone l'attenzione sulla serie storica delle precipitazioni verificatesi nel Nord Italia. Nel dettaglio, il test sui coefficienti ha dato come risultato la significatività di "AR1", "AR2", "AR3" e "AR8". Invece, l'ACF ha evidenziato l'assenza di picchi significativi mostrando, dunque, l'assenza di autocorrelazione dei residui stessi. In generale, il modello risulta ben stimato sebbene le previsioni nel medio termine risultino caratterizzate da una maggiore incertezza di previsione. Osservando infatti il grafico, i primi trimestri previsti presentano degli intervalli di confidenza poco ampi, dopodiché questi ultimi tendono ad essere più ampi, suggerendo conseguentemente una maggiore incertezza sulle previsioni.

Forecasting AR(8) Pioggia Nord

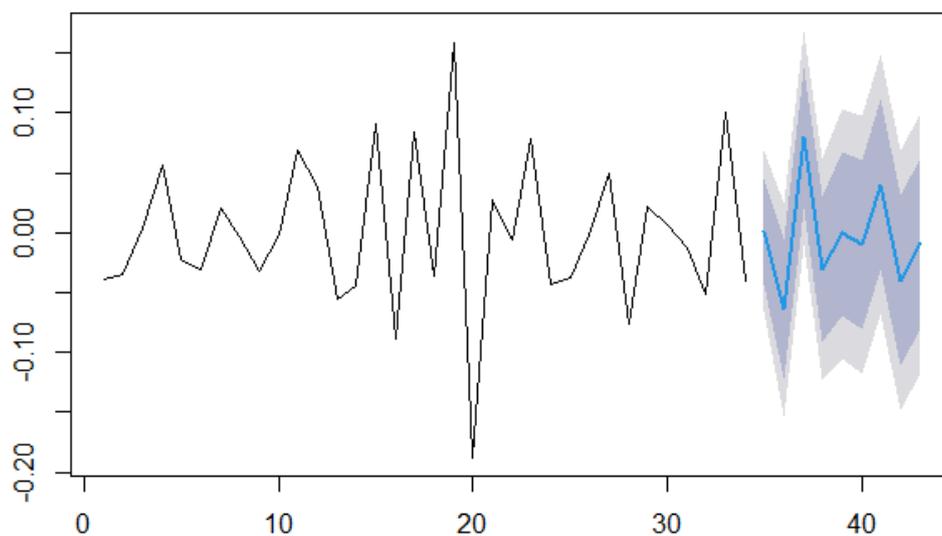


Figura 23: Previsioni delle Precipitazioni; Nord Italia

Infine, l'ultimo modello stimato è un AR (4) il cui oggetto di indagine è la pioggia verificatasi nelle Isole dell'Italia. Dal test dei coefficienti è emerso che "AR1", "AR2" e "AR3" sono significativi, mentre l'AFC ha mostrato che i residui del modello non sono autocorrelati: si ha un buon adattamento del modello. A differenza dei modelli visti precedentemente, questo modello ha un grado di accuratezza accettabile ma minore rispetto agli altri; infatti, le sue previsioni possono risultare meno affidabili. A tal proposito, il grafico sulle previsioni mostra immediatamente delle bande sfumate già ampie.

Forecasting AR(4) Pioggia Isole

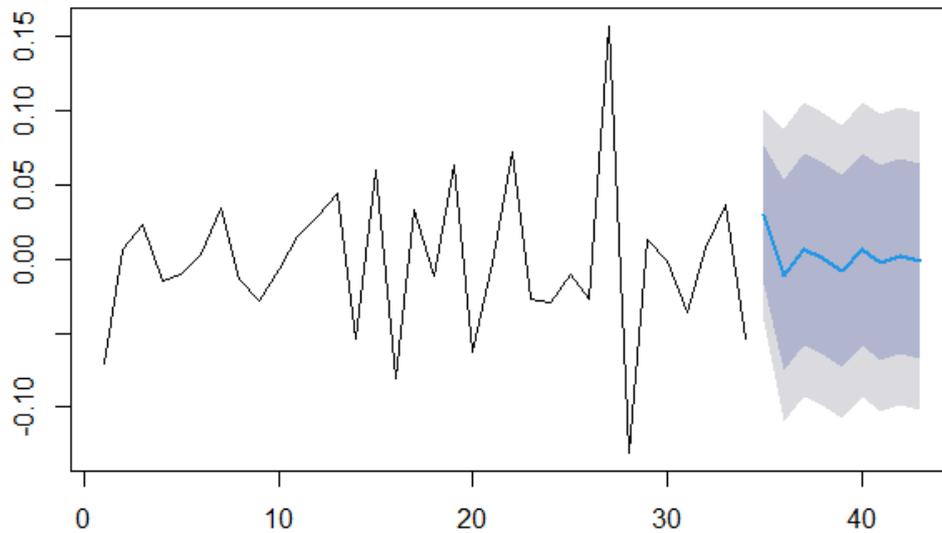


Figura 24: Previsioni delle Precipitazioni; Isole

Dopo aver stimato i modelli autoregressivi, si è proceduto con la stima di nuovi modelli misti, noti come ADL (*Autoregressive Distributed Lag*). Si differenziano da quelli esaminati precedentemente in quanto essi presentano non solo i ritardi della variabile dipendente (p), ma vengono considerati anche i ritardi di un'altra covariata (q). Essendo un modello misto, l'ADL(p,q) consente di osservare l'effetto di shock passati sulla variabile dipendente, oltre che la dipendenza della variabile dai suoi valori passati. Nel dettaglio la variabile indipendente è la Produttività di Lavoro con i rispettivi ritardi "p", mentre la variabile indipendente è l'andamento delle precipitazioni delle rispettive zone dell'Italia, con i rispettivi ritardi (q). Seguono pertanto i modelli stimati:

Sud Italia, ADL (1,5):

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-0.0398	0.6103	-0.065	0.9485
1.1.ddep	-1.1618	0.1803	-6.445	0.0000 ***
1.5.dpsud	-15.6709	8.3419	-1.879	0.0716 .

Residual standard error: 3.28 on 26 degrees of freedom

(5 osservazioni eliminate a causa di valori mancanti)
 Multiple R-squared: 0.6476, Adjusted R-squared: 0.6205
 F-statistic: 23.89 on 2 and 26 DF, p-value: 0.0000

È emerso che il coefficiente del *lag* 1 della variabile Produttività di Lavoro è significativo, mentre il coefficiente del *lag* 5 della variabile Precipitazioni Sud Italia risulta marginalmente significativo. Inoltre, essendo quest'ultimo negativo, si ha una relazione negativa a lungo termine tra le due variabili. Pertanto, qualora vi fosse un aumento delle precipitazioni (piogge estreme) o una riduzione delle stesse (forte siccità), seguirebbe una diminuzione della produttività; tuttavia, si rende necessario ricordare che tale relazione è marginalmente significativa. Infine, il modello risulta robusto (*Adjusted R-squared* = 62,05% > 50%) e non efficiente (*SER* ≥ 1).

Centro Italia, ADL(1,2):

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-0.0715	0.5386	-0.133	0.8953
1.1.ddep	-1.3141	0.1638	-8.023	0.0000 ***
1.2.dpcentro	-19.0487	6.9975	-2.722	0.0109 *

Residual standard error: 3.042 on 29 degrees of freedom

(2 osservazioni eliminate a causa di valori mancanti)
 Multiple R-squared: 0.6949, Adjusted R-squared: 0.6739
 F-statistic: 33.03 on 2 and 29 DF, p-value: 0.0000

Si nota che il coefficiente della variabile indipendente (Precipitazioni Centro) è negativo e significativo; conseguentemente, si evidenzia una relazione negativa di lungo termine tra le due variabili, con un ritardo di due periodi. Quindi, un eventuale presenza di piogge estreme o l'assenza delle precipitazioni stesse (siccità) determina una riduzione delle produttività. Infine, il modello risulta robusto (*Adjusted R-squared* = 67,39% > 50%) e non efficiente (*SER* ≥ 1).

Nord Italia, ADL(1,2):

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-0.0537	0.5583	-0.096	0.9240
1.1.ddep	-1.2981	0.1696	-7.655	0.0000 ***
1.2.dpnord	-19.8348	8.9845	-2.208	0.0353 *

Residual standard error: 3.154 on 29 degrees of freedom

(2 osservazioni eliminate a causa di valori mancanti)
Multiple R-squared: 0.6721, Adjusted R-squared: 0.6494
F-statistic: 29.72 on 2 and 29 DF, p-value: 0.0000

Si desume che il coefficiente della variabile indipendente (Precipitazioni Nord) è negativo e significativo. Pertanto, l'accadimento di piogge estreme e/o di forti siccità, ripetuto nel tempo, può determinare dei danni alla produttività, causandone una riduzione. Il modello è robusto (*Adjusted R-squared* = 64,94% > 50%) e non efficiente (*SER* ≥ 1). Per quanto concerne il modello ADL riguardante le Isole dell'Italia, non è stato riportato giacché non si aveva significatività.

Conclusioni

Tale progetto ha analizzato in modo approfondito le origini, le cause e le conseguenze del Cambiamento Climatico, fornendo un quadro complessivo non solo dei processi che lo determinano, ma anche dei suoi impatti globali. In particolare, sono state esaminate le possibili cause, mettendo in luce come le attività umane, specialmente tramite l'emissione di gas serra, abbiano favorito il Riscaldamento Globale ed i mutamenti climatici su scala globale. Infine, sono stati illustrati i possibili sistemi di adattamento e mitigazione al fine di contrastare il fenomeno stesso.

Dopo aver definito una visione completa del Cambiamento Climatico, il progetto ha posto l'attenzione sull'economia italiana, analizzandone l'andamento degli ultimi anni. Nel dettaglio, sono stati esplorati i settori che la costituiscono, mettendo in rilievo come settori cruciali (si pensi all'agricoltura, al turismo alla manifattura, etc.) siano particolarmente esposti ai fenomeni climatici estremi. Inoltre, è stato illustrato che questi, ovvero sia alluvioni, tempeste, siccità e intense ondate di calore, stanno già avendo un'influenza rilevante sui settori di interesse, con conseguenze economiche, sociali e ambientali significative. Successivamente, sono stati riportati ed analizzati casi specifici di eventi climatici estremi in Italia. In questo modo, è stato possibile mostrare come sul territorio italiano si stiano già manifestando dei mutamenti climatici, le cui intensità e frequenza stanno aumentando nel tempo.

Infine, sono stati stimati modelli empirici con lo scopo di osservare la relazione che intercorre tra il Cambiamento Climatico e la Produttività di Lavoro in Italia. Tramite lo

sviluppo di modelli di regressione lineare multipla, si è illustrato come delle variazioni delle componenti climatiche (pioggia e temperatura) influenzino le variazioni della variabile dipendente (Produttività di Lavoro). Tale analisi, svolta su un arco temporale di nove anni (2015-2023), ha interessato in primo luogo determinate città, poi si è sviluppata a livello aggregato per zone dell'Italia. Dai risultati conseguiti, si è dedotto che il Sud, il Centro, il Nord e le Isole sono significativamente esposti al Cambiamento Climatico. In aggiunta, sono stati sviluppati dei grafici *Q-Q plot*, da cui è stato possibile comprendere che i modelli di regressione lineare multipla hanno più gradi di adattamento nelle varie regioni. L'adattamento è risultato piuttosto buono per più modelli, indicando che gli effetti della pioggia sono stati ben catturati. Successivamente, sono stati sviluppati modelli di regressione di serie temporali: sono stati analizzati determinati fattori per comprendere le dinamiche del modello e per prevedere i futuri valori della serie temporale.

In conclusione, è emerso che una maggiore frequenza di piogge intense e di siccità estrema causa una riduzione dei livelli di Produttività di Lavoro. Nessun settore o industria è risultato immune al fenomeno di osservazione, in quanto sono stati registrati comunque dei danni economici. In generale, i settori primario, secondario e terziario sono stati colpiti sia direttamente che indirettamente. Alla luce di quanto finora osservato, si rende necessario sottolineare l'importanza, nonché l'urgenza, di una risposta volta a contrastare il Cambiamento Climatico. Devono essere sviluppate delle politiche climatiche che siano strettamente connesse allo sviluppo sostenibile e alla pianificazione economica. In questa maniera, sarà possibile tutelare non solo l'economia del Paese, ma anche il benessere dell'uomo.

Bibliografia:

Bahman, N., Al-Khalifa, M., Al Baharna, S., Abdulmohsen, Z., & Khan, E. (2023). Review of carbon capture and storage technologies in selected industries: potentials and challenges. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 22(2), 451-470.

Anonymous. (1991). *The Forest Sector*. The World Bank, Washington DC.

Calzadilla, A., Rehdanz, K., Betts, R., Falloon, P., Wiltshire, A., & Tol, R. S. (2013). Climate change impacts on global agriculture. *Climatic change*, 120, 357-374.

CDIAC-Carbon Dioxide Information Analysis Center. (2018). *Data Catalog*.

Chakravarty, S., Ghosh, S., Suresh, C., Dey, A., Shukla, G. (2012). *Deforestation: Causes, Effects and Control Strategies*. 10.5772/33342.

Comini, G., & Libralato, M. (2019). *IL CAMBIAMENTO CLIMATICO*.

Cook, S. J., Jouvét, G., Millan, R., Rabatel, A., Zekollari, H., & Dussailant, I. (2023). Committed ice loss in the European Alps until 2050 using a deep-learning-aided 3D ice-flow model with data assimilation. *Geophysical Research Letters*, 50, e2023GL105029. <https://doi.org/10.1029/2023GL105029>

Core Writing Team, P. (2014). *Climate change 2014: synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*, 151.

Cortés Arbués, I., Chatzivasileiadis, T., Ivanova, O. et al. Distribution of economic damages due to climate-driven sea-level rise across European regions and sectors. *Sci Rep* 14, 126 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-48136-y>

Draebing, D., Mayer, T., Jacobs, Binnie, S. A., Dühnforth, M., & McColl, S. T. (2024). Holocene warming of alpine rockwalls decreased rockwall erosion rates, *Earth and Planetary Science Letters*, Volume 626, 118496, ISSN 0012-821X, <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2023.118496>

FAO. (2020). *Global Forest Resources Assessment 2020: Main report*. Rome.

Free, M., & Robock, A. (1999). Global warming in the context of the Little Ice Age. *Journal Geophysical Research*, 104, 19,057-19,070.

IPCC. (2018). Allegato I: Glossario [Matthews, J.B.R. (a cura di)]. In V. MassonDelmotte, P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Pèan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, & T. Waterfield (Eds.), *Riscaldamento globale di 1,5°C. Un rapporto speciale dell'IPCC sugli impatti del riscaldamento globale di 1,5°C rispetto ai livelli preindustriali e sui relativi percorsi globali di emissione di gas serra, nel contesto del rafforzamento della risposta globale alla minaccia del cambiamento climatico, dello sviluppo sostenibile e degli sforzi per sradicare la povertà* (pp. 541-562). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157940.008>

Kartodihardjo, H. & Supriono, A. (2000). The impact of sectoral development on natural forest conversion and degradation: the case of timber and tree crop plantations. CIFOR Occasional Paper No. 26, Bogor Indonesia.

Myers, N. (1994). Tropical deforestation: rates and patterns. In K. Brown & D. Pearce (Eds.), *The Causes of Tropical Deforestation: The economic and statistical analysis of factors giving rise to the loss of the tropical forest* (pp 27-40). UCL Press.

Myers, N. & Mittermeier, R. A. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-854.

Okia, C. A. (Ed.). (2012). *Global perspectives on sustainable forest management*. BoD–Books on Demand.

Pires, J.C.M. (2019). Negative emissions technologies: A complementary solution for climate change mitigation, *Science of The Total Environment*, Volume 672, Pages 502-514, ISSN 0048-9697

Repetto, R. (1990). Deforestation in the Tropics. *Scientific American*, April, p. 37.

Robock, A. (2004). Climatic impact of volcanic emissions. *State of the Planet* (in prep.).

García-Olivares, A., Solé, J., & Osychenko, O. (2018). Transportation in a 100% renewable energy system, *Energy Conversion and Management*, Volume 158, Pages 266-285. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.12.053>

Sitografia:

- Agrisole. (2024, 11 gennaio). La lunga crisi dell'agricoltura italiana: oggi si produce il 10% in meno di vent'anni fa. Il Sole 24 Ore. Tratto da <https://www.agrisole.ilsole24ore.com/art/politiche-agricole/2024-01-11/la-lunga-crisi-dell-agricoltura-italiana-oggi-si-produce-10percento-meno-vent-anni-fa-122947.php?uuid=AF5aqTJC>
- ANSA (2022, 27 maggio). Economia dell'isola in ripresa ma ancora troppi gap e fragilità. Tratto da https://www.ansa.it/sardegna/notizie/2022/05/27/economia-dellisola-in-ripresa-ma-ancora-troppi-gap-e-fragilita_0e2a3140-202d-4e90-868e-15c8ac6f4d86.html
- ANSA. (2024). I ghiacciai delle Alpi destinati a dimezzarsi entro il 2050. Tratto da https://www.ansa.it/canale_scienza/notizie/terra_poli/2024/01/23/i-ghiacciai-delle-alpi-destinati-a-dimezzarsi-entro-il-2050-_667f7de2-e826-49be-8d17-741db12be804.html#:~:text=Se%20il%20riscaldamento%20globale%20proseguir%C3%A0,soltanto%20degli%20ultimi%2010%20anni.
- ANSA. (2022, 18 giugno). Mediterraneo su di 1 metro entro il 2100: Coste italiane a rischio. Tratto da https://www.ansa.it/canale_scienza_tecnica/notizie/terra_poli/2022/06/18/mediterraneo-su-di-1-metro-entro-il-2100-coste-italiane-a-rischio-video_f4991e3c-fca5-449e-bfc4-0434c197c69e.html
- ANSA. (2024, 24 gennaio). Alluvione in Toscana: Censiti 2,7 miliardi di danni diretti. Tratto da https://www.ansa.it/toscana/notizie/2024/01/24/alluvione-in-toscana-censiti-27-miliardi-di-danni-diretti_93ad347d-14d6-46b4-a251-887233e87741.html#:~:text=L'alluvione%20che%20ha%20colpito,Regione%20nella%20sua%20prima%20ricognizione
- ANSA. (2023, 25 luglio). Cambiamento climatico colpisce le spiagge del Lazio: 48 eventi estremi. Tratto da https://www.ansa.it/lazio/notizie/2023/07/25/cambiamento-clima-colpisce-spiagge-del-lazio48-eventi-estremi_67838c46-fbe9-4d33-b91b-be672a937333.html
- ARPA Valle d'Aosta. (2012, 30 maggio). L'ozono. Tratto da <https://www.arpa.vda.it/en/aria/l-inquinamento-atmosferico/2531-l-ozono>

- Assagenti. (2016). Impatto economico-sociale del Porto di Genova. Tratto da <https://www.assagenti.it/Public/datareportFile/ImpattoEconomico-socialePorto-diGenova.pdf>
- Banca d'Italia. (2024). La ricchezza dei settori istituzionali. Tratto da <https://www.bancaditalia.it/pubblicazioni/ricchezza-settori-istituzionali/2024-ricchezza-settori-istituzionali/index.html>
- CACIP. (n.d.). Area industriale di Cagliari. Tratto da <https://cacip.it/cacip-cosa-facciamo/area-industriale-di-cagliari/>
- Canale Energia. (n.d.). Cambiamenti climatici. Tratto da <https://www.canaleenergia.com/tag/cambiamenti-climatici/>
- Centro Funzionale Regionale (CFR) Toscana. (n.d.). Tratto da <https://www.cfr.toscana.it/>
- Città Clima. (2023, 28 dicembre). Bilancio 2023: Città Clima. Tratto da <https://cittaclima.it/2023/12/28/bilancio-2023-citta-clima/>
- Climate Action. (n.d.). Cause dei cambiamenti climatici. Tratto da https://climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change_it
- Comune di Rimini (2023, 8 agosto). Tratto da <https://www.comune.rimini.it/novita/turismo-rimini-prima-tra-i-comuni-balneari-valore-aggiunto>
- Confindustria. (n.d.). Industria italiana e produttività. Tratto da <https://www.confindustria.it/home/centro-studi/temi-di-ricerca/tendenze-delle-imprese-e-dei-sistemi-industriali/dettaglio/industria-italiana-e-produttivita>
- Consiglio dell'Unione Europea. (n.d.). Paris Agreement. Tratto da <https://www.consilium.europa.eu/it/policies/climate-change/paris-agreement/>
- CONSOB. (n.d.). La crisi del debito sovrano 2010-2011. Tratto da <https://www.consob.it/web/investor-education/crisi-debito-sovrano-2010-2011>
- CONSOB. (n.d.). La crisi in Italia. Tratto da <https://www.consob.it/web/investor-education/crisi-in-italia>
- De Agostini Scuola. (n.d.). Geofacile 14: L'Italia, popolazione ed economia. Tratto da <https://blog.geografia.deascuola.it/articoli/geofacile-14-litalia-popolazione-ed-economia#:~:text=Settore%20primario&text=L'Italia%20C3%A8%20tra%20i,%2C%20riso%2C%20ortaggi%2C%20frutta>

- Distretto Turistico Costa d'Amalfi. (2022, 14 dicembre). Presentati a Salerno i dati sul turismo in Costa d'Amalfi. Tratto da <https://distrettocostadamalfi.it/presentati-a-salerno-i-dati-sul-turismo-in-costa-damalfi/>
- Ecostiera. (2024, 19 gennaio). The Greeners: 5 milioni l'anno in Costiera, serve turismo sostenibile. Tratto da <https://www.ecostiera.it/the-greeners-5-milioni-l'anno-in-costiera-serve-turismo-sostenibile/>
- Enel Green Power. (2022). Scoperta cambiamento climatico. Tratto da <https://www.enelgreenpower.com/it/learning-hub/gigawhat/cerca-articoli/articles/2022/10/scoperta-cambiamento-climatico>
- European Commission. (n.d.). Conseguenze del cambiamento climatico. Tratto da https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences-climate-change_it#conseguenze-naturali
- European Environment Agency (EEA). (n.d.). Che impatto ha l'inquinamento atmosferico? Tratto da <https://www.eea.europa.eu/it/help/domande-frequenti/che-impatto-ha-l-2019-inquinamento-atmosferico#:~:text=Le%20malattie%20cardiache%20e%20,anche%20dalla%20vulnerabilit%C3%A0%20dei%20singoli>
- European Flood Awareness System (EFAS). (2023). Flooding in Tuscany region, Italy – November 2023. Tratto da <https://www.efas.eu/en/news/flooding-tuscany-region-italy-november-2023>
- European Space Agency (ESA). (n.d.). I satelliti mappano le conseguenze delle alluvioni in Emilia-Romagna. Tratto da [https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Italy/I_satelliti_mappano_le_conseguenze_delle_alluvioni_in_Emil-Romagna#:~:text=Didascalie&text=%20Romagna%20\(1\)-,La%20regione%20italiana%20deIl'Emilia%20DRomagna%20%C3%A8%20stata%20devastata%20da,8%20C8%20miliardi%20di%20euro](https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Italy/I_satelliti_mappano_le_conseguenze_delle_alluvioni_in_Emil-Romagna#:~:text=Didascalie&text=%20Romagna%20(1)-,La%20regione%20italiana%20deIl'Emilia%20DRomagna%20%C3%A8%20stata%20devastata%20da,8%20C8%20miliardi%20di%20euro)
- Eurostat. (n.d.). Labour productivity and unit labour costs. Estratto da https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/namq_10_lp_ulc_cu_stom_10099755/default/table
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2020). The state of the world's forests 2020. Tratto da <https://www.fao.org/3/ca9825en/ca9825en.pdf>

- Focus. (n.d.). Smog e salute: Gli effetti dell'inquinamento atmosferico sul corpo umano. Tratto da <https://www.focus.it/scienza/salute/smog-e-salute-gli-effetti-dell-inquinamento-atmosferico-sul-corpo-umano>
- Il Sole 24 Ore. (n.d.). COP27: I dati sulle emissioni di CO2 nel mondo. Tratto da <https://lab24.ilsole24ore.com/cop27-dati-CO2-mondo/>
- Il Sole 24 Ore. (2023, 21 marzo). Persi ogni anno dieci milioni di ettari di foresta: Buon International Forest Day. Tratto da <https://www.infodata.ilsole24ore.com/2023/03/21/persi-ogni-anno-dieci-milioni-di-ettari-di-foresta-buon-internationalforestday/>
- Il Sole 24 Ore. (2024, 14 gennaio). Italia: Sono stati 378 gli eventi climatici estremi. Tratto da <https://www.infodata.ilsole24ore.com/2024/01/14/italia-sono-stati-378-gli-eventi-climatici-estremi-ecco-le-citta-piu-colpite/>
- Il Sole 24 Ore. (2023, 27 novembre). Italia sempre più a rischio alluvioni. Tratto da <https://www.ilsole24ore.com/art/italia-sempre-piu-rischio-alluvioni-ultimi-14-anni-684-alla-gamenti-e-86-frane-piogge-intense-166-esondazioni-fluviali-AFQythnB>
- Il Sole 24 Ore. (2023, 25 agosto). Mai così caldo a Milano in 260 anni di storia. Tratto da <https://www.infodata.ilsole24ore.com/2023/08/25/mai-cosi-caldo-a-milano-in-260-anni-di-storia-secondo-i-dati-di-arpa-il-23-agosto-e-stata-una-giornata-record/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (n.d.). Carbon capture and storage (CCS). Tratto da <https://ipccitalia.cmcc.it/carbon-capture-and-storage-ccs/>
- ISPRA. (2023). Maltempo in Emilia-Romagna: Piogge record, fiumi e corsi d'acqua esondati. Tratto da <https://www.isprambiente.gov.it/it/archivio/notizie-e-novita-normative/notizie-ispra/2023/05/maltempo-in-emilia-romagna-piogge-record-fiumi-e-corsi-dacqua-esondati>
- ISTAT. (n.d.). Valore aggiunto per branca di attività trimestrale. Estratto da https://esploradati.istat.it/databrowser/#/it/dw/categories/IT1,DATAWARE-HOUSE,1.0/UP_ACC_TRIMES/IT1,163_24_DF_DCCN_QNA_1,1.0
- Italia in Dati. (n.d.). PIL italiano. Tratto da <https://italiaindati.com/pil-italiano/>
- Italia in Dati. (n.d.). I numeri. Tratto da <https://italiaindati.com/i-numeri/>

- Italia in Dati. (n.d.). Turismo in Italia. Tratto da <https://italiaindati.com/turismo-in-italia/>
- Italia in Dati. (n.d.). Agroalimentare in Italia. Tratto da <https://italiaindati.com/agroalimentare-in-italia/>
- Italia in Dati. (n.d.). Inquinamento in Italia. Tratto da <https://italiaindati.com/inquinamento-in-italia/>
- Italia in Dati. (n.d.). Settori dell'economia italiana. Tratto da <https://italiaindati.com/settori-economia-italiana/>
- La Repubblica. (2024, 19 gennaio). Crisi climatica: Innalzamento dei mari e effetti sul PIL. Tratto da https://www.repubblica.it/green-and-blue/2024/01/19/news/crisi_clima_innalzamento_mari_effetti_pil_costi_regioni-421918563/
- La Stampa. (2023). Il conto dei disastri climatici in Italia negli ultimi 43 anni: Più di 100 miliardi di euro di danni. Tratto da https://www.lastampa.it/cronaca/2023/07/23/news/il_conto_dei_disastri_climatici_in_italia_negli_ultimi_43_anni_piu_di_100_miliardi_di_euro_di_danni-12961593/
- Legambiente. (2022). Report incendi 2022. Tratto da <https://www.legambiente.it/wp-content/uploads/2021/11/report-incendi-2022.pdf>
- Legambiente. (2022). I gas refrigeranti e il clima: Una sfida possibile. Tratto da https://www.legambiente.it/wp-content/uploads/2022/12/FACTSHEET_I_gas-refrigeranti-e-il-clima-una-sfida-possibile.pdf
- Legambiente. (2022). Emergenza eventi climatici estremi. Tratto da <https://www.legambiente.it/comunicati-stampa/emergenza-eventi-climatici-estremi/#:~:text=Da%20gennaio%20a%20luglio%202022%20si%20sono%20registrati%20in%20Italia,sono%20verificati%201318%20eventi%20estremi>
- Legambiente. (2019, novembre). Il clima è già cambiato. Tratto da <https://www.legambiente.it/wp-content/uploads/2019/11/Il-Clima-e%CC%80-gia%CC%80-cambiato-2019.pdf>

- Legambiente. (2022, novembre). Rapporto CittàClima 2022. Tratto da <https://www.legambiente.it/wp-content/uploads/2022/11/Rapporto-CittaClima-2022.pdf>
- Legambiente. (2023). Report Città Clima 2023: Alluvioni. Tratto da <https://www.legambiente.it/wp-content/uploads/2023/11/Report-Citta-Clima-2023-Alluvioni.pdf>
- Milano Today. (n.d.). Più di 800 milioni di danni, 287 comuni colpiti: i numeri del disastro maltempo in Lombardia. Tratto da https://www.milanotoday.it/attualita/danni_lombardia-nubifragio-25-luglio.html#:~:text=Attualit%C3%A0%2C%20di%20800%20milioni%20di%20danni%2C%20287%20comuni%20colpiti%3A%20i%20de%20disastro%20maltempo%20in%20Lombardia&text=Una%20regione%20in%20ginocchio%2C%20luglio%20da%20due%20violentissimi%20nubifragi
- Ministero dell’Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE). (n.d.). COP 21: L’accordo di Parigi. Tratto da <https://www.mase.gov.it/pagina/cop-21-laccordo-di-parigi>
- Ministero della Salute. (n.d.). Notizie dal Ministero. Tratto da https://www.salute.gov.it/portale/news/p3_2_1_1_1.jsp?menu=notizie&p=dalministero&id=2096
- NASA. (n.d.). Methane: The other important greenhouse gas. Tratto da [https://svs.gsfc.nasa.gov/5116/#:~:text=Methane%20\(CH%E2%82%84\)%20is%20a%20powerful,activities%20and%20intensive%20agriculture%20began](https://svs.gsfc.nasa.gov/5116/#:~:text=Methane%20(CH%E2%82%84)%20is%20a%20powerful,activities%20and%20intensive%20agriculture%20began)
- NASA. (n.d.). The causes of climate change. Tratto da <https://climate.nasa.gov/causes/>
- National Geographic. (n.d.). Perché il cambiamento climatico è ancora la principale minaccia per la salute umana. Tratto da <https://www.nationalgeographic.it/perche-il-cambiamento-climatico-e-ancora-la-principale-minaccia-per-la-salute-umana>

- National Geographic. (n.d.). Planting trees helps fight climate change, but we need billions more seedlings. Tratto da <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/planting-trees-helps-fight-climate-change-but-we-need-billions-more-seedlings>
- Osservatorio Sardegna Turismo. (n.d.). Dati 2022. Tratto da <http://osservatorio.sardegneturismo.it/it/dashboard/dati-2022>
- Pecunia. (n.d.). Quanto è grande l'economia italiana? Tratto da <https://www.pecunia.com/it/blog/quanto-e-grande-l-economia-italiana/>
- Polaris, CNR. (2021). Quindici anni di frane e inondazioni in Italia. Tratto da <https://polaris.irpi.cnr.it/quindici-anni-di-frane-e-inondazioni-in-italia/>
- Porti Alto Tirreno. (n.d.). Porto di Livorno. Tratto da <https://www.portialtotirreno.it/i-porti/porto-di-livorno/>
- Porti di Roma. (n.d.). Porto di Civitavecchia. Tratto da <https://www.portidiroma.it/porto-di-civitavecchia>
- Protezione Civile Regione Emilia-Romagna. (2023, giugno). Alluvione: Oltre 8.8 miliardi di euro la stima provvisoria dei danni. Tratto da <https://protezionecivile.regione.emilia-romagna.it/notizie/2023/giugno/alluvione-oltre-8-8-miliardi-di-euro-la-stima-provvisoria-dei-danni-di-cui-1-8-per-interventi-necessari-a-fare-fronte-emergenza>
- Quotidiano di Puglia. (2023, 13 giugno). Bari: settore produttivo sud, cosa sappiamo. Tratto da https://www.quotidianodipuglia.it/bari/bari_settore_produttivo_sud_cosa_sappiamo-7458493.html#:~:text=Cos%C3%AC%20ne1%202020%2C%20se- condo%20i,24.164%2C%202%20milioni%20di%20euro
- Rai News. (2023). Maltempo, SIMA: Tra il 2022 e il 2023 in Italia si sono verificati 432 eventi climatici estremi. Tratto da <https://www.rainews.it/articoli/2023/07/maltempo-sima-tra-il-2022-e-il-2023-in-italia-si-sono-verificati-432-eventi-climatici-estremi-8c1d4015-f53d-4450-b1e0-dbb86937b07b.html>
- Regione Veneto. (n.d.). Evento atmosferico nelle Province di Padova, Verona e Vicenza. Tratto da <https://bur.regione.veneto.it/BurvServices/pubblica/DettaglioDgr.aspx?id=513172#:~:text=In%20particolare%2C%20l'evento%20atmosferico,Comuni%20delle%20Province%20di%20Padova%2C>

- Rutgers Climate Institute. (2021). State of the Planet. Tratto da <https://climate.earthsci.rutgers.edu/pdf/StateOfThePlanet5.pdf>
- Scienza in rete. (2012, 17 maggio). Consumo di suolo: Un'emergenza italiana. Tratto da <https://www.scienzainrete.it/contenuto/articolo/consumo-di-suolo-emergenza-italiana>
- Sky TG24. (2021 25 agosto). Incendi e desertificazioni in Italia: il report. Tratto da <https://tg24.sky.it/ambiente/2021/08/25/incendi-desertificazioni-italia-report>
- The Lancet. (2019). The 2019 report of The Lancet Countdown on health and climate change. Tratto da [https://www.thelancet.com/journals/lanplh/article/PIIS2542-5196\(19\)30262-1/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lanplh/article/PIIS2542-5196(19)30262-1/fulltext)
- United Nations Regional Information Centre (UNRIC). (n.d.). Che cosa sono i cambiamenti climatici? Tratto da <https://unric.org/it/che-cosa-sono-i-cambiamenti-climatici/>
- United Nations Regional Information Centre (UNRIC). (n.d.). Effetti del cambiamento climatico. Tratto da <https://unric.org/it/effetti-del-cambiamento-climatico/#effeti1>
- United States Geological Survey (USGS). (n.d.). Volcanoes can affect climate. Tratto da <https://www.usgs.gov/programs/VHP/volcanoes-can-affect-climate#:~:text=Injected%20ash%20falls%20rapidly%20from,potential%20to%20promote%20global%20warming>
- Windguru. (s.d). Italia – Amalfi. Windguru. Estratto da <https://www.windguru.cz/49049>
- Windguru. (s.d). Italia – Bari. Windguru. Estratto da <https://www.windguru.cz/49103>
- Windguru. (s.d). Italia – Cagliari. Windguru. Estratto da <https://www.windguru.cz/49179>
- Windguru. (s.d). Italia – Civitavecchia. Windguru. Estratto da <https://www.windguru.cz/1533>
- Windguru. (s.d). Italia – Genova. Windguru. Estratto da <https://www.windguru.cz/4855>
- Windguru. (s.d). Italia – Livorno. Windguru. Estratto da <https://www.windguru.cz/287>

- Windguru. (s.d). Italia – Rimini. Windguru. Estratto da <https://www.windguru.cz/73>
- World Meteorological Organization. (n.d.). WMO annual report highlights continuous advance of climate change. Tratto da <https://wmo.int/news/media-centre/wmo-annual-report-highlights-continuous-advance-of-climate-change>
- World Meteorological Organization (WMO). (n.d.). Greenhouse gases. Tratto da <https://wmo.int/topics/greenhouse-gases>
- XDI. (n.d.). Gross Domestic Risk Dataset. Tratto da <https://archive.xdi.systems/gross-domestic-risk-dataset/>