

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica e Nucleare

A. a. 2022/2023

Sessione di Laurea Marzo 2023

Tesi di Laurea Magistrale

"Modelli e scenari futuri per l'energia e le emissioni climalteranti"

Relatori Candidato

prof. Massimo Zucchetti prof.ssa Raffaella Testoni Federico Pavarelli

Abstract

Questo testo contiene uno studio finalizzato ad analizzare e discutere alcuni dei più probabili scenari futuri riguardanti i consumi di energia e il livello delle emissioni di gas climalteranti. Il lasso temporale di questa analisi si estende dal giorno d'oggi fino a raggiungere la fine del nostro secolo.

Il documento è diviso sostanzialmente in due parti. Nella prima sezione, più introduttiva e discorsiva, viene descritta la normativa che regola l'Unione Europea, e di conseguenza anche l'Italia, in materia di consumi energetici e di emissioni, focalizzandosi soprattutto sugli obiettivi stabiliti per il futuro. Successivamente, sempre in questa parte, viene esaminata l'attuale situazione energetica dell'UE e dei suoi stati membri, analizzando alcuni dati significativi come quelli relativi alla produzione, al trasporto e al consumo dell'energia, inizialmente concentrandosi sull'Unione Europea in generale ed, in seconda analisi, proprio sull'Italia.

Nella seconda parte, meno divulgativa e più sperimentale, sono analizzati diversi ipotetici scenari relativi al futuro delle emissioni e dei consumi energetici globali. In questo studio, applicando differenti politiche energetiche e variando alcuni fattori, è possibile ottenere modelli molto accurati in grado di predire con precisione l'andamento dei consumi e delle emissioni, mettendo anche in luce le possibili conseguenze del riscaldamento globale, esaminando così anche il livello di sostenibilità e di impatto ambientale correlati ad uno specifico scenario.

Indice

1 Introduzione	7
2 Normativa europea su consumi energetici e sostenibilità ambientale	9
3 L'IPCC e il riscaldamento globale	11
4 Situazione energetica dell'Unione Europea	13
4.1 Aspetti generali	13
4.2 Consumi di energia nell'Unione Europea	14
4.2.1 Consumi per fonte energetica	14
4.2.2 Consumi per settore energetico	15
4.2.3 Consumi per paese europeo	17
4.2.4 Consumo pro capite	19
4.3 Produzione di energia elettrica	22
4.4 Interconnessione della rete elettrica europea	24
4.5 Fonti rinnovabili	27
4.6 Idrogeno	29
4.7 Importazioni	33
4.7.1 Combustibili fossili solidi	33
4.7.2 Petrolio	35
4.7.3 Gas naturale	36
4.8 Emissioni di gas climalteranti	38
4.8.1 Principali gas climalteranti	40
4.8.2 Principali gas nocivi per l'ambiente	41
4.8.3 Situazione dell'Unione Europea	42
4.9 Le conseguenze del COVID-19	45
4.9.1 Evoluzione dei consumi	45
4.9.2 Evoluzione delle emissioni globali	46

4.9.3 Effetti sulle fonti rinnovabili	47
4.10 Le conseguenze del conflitto in Ucraina	49
5 Situazione energetica dell'Italia	53
5.1 Mix energetico italiano	53
5.2 Bilancio dei flussi energetici in Italia	55
5.3.1 Settore delle fonti rinnovabili	59
5.3.1a Idroelettrico	59
5.3.1b Solare	60
5.3.1c Eolico.	62
5.3.1d Geotermico	63
5.3.1e Bioenergie	64
5.3.2 Settore del gas	65
5.3.3 Settore del petrolio	67
5.3.4 Settore dei combustibili solidi	67
6 Sviluppo di modelli per scenari futuri	71
6.1 Report speciale sugli scenari di emissione	72
6.1.1 Scenario A1	73
6.1.2 Scenario A2	77
6.1.3 Scenario B1	80
6.1.4 Scenario B2	82
6.2 Scenario "No climate policy"	86
6.2.1 Emissioni	86
6.2.2 Conseguenze	90
6.3 Scenario IPCC con incremento della temperatura sotto i 2 °C	93
6.3.1 Ipotesi e parametri considerati	93
6.3.2 Produzione energia elettrica	94
6.3.3 Emissioni	96
6.3.4 Risultati	97

6.4 Scenario "Actual trend"	102
6.4.1 Economia e popolazione	102
6.4.2 Produzione energia elettrica	104
6.4.3 Emissioni	107
6.4.4 Risultati	109
7 Conclusioni	113
8 Riferimenti	114

1 Introduzione

Al giorno d'oggi, il problema relativo allo sfruttamento delle diverse fonti di energia è un argomento di cruciale importanza nella programmazione e nella gestione delle risorse di un paese e, più in generale, esso costituisce un dibattito fondamentale per l'intera economia globale. Proprio per la sua assoluta importanza, questo tema risulta centrale nella pianificazione del futuro a livello mondiale. Il problema dell'energia, per la sua grande rilevanza, viene affrontato in prima linea dall'Organizzazione delle Nazioni Unite (ONU). Con la stesura, nel 2015, degli obiettivi di sviluppo sostenibile (SDG), presenti nell'Agenda 2030, l'ONU ha evidenziato tale problematica con la redazione di ben tre target: "Affordable and clean energy", "Sustainable cities and communities" e "Climate action".

Tali obiettivi hanno come scopo quello di individuare un percorso sostenibile in grado di condurre la comunità globale verso l'ottenimento di tali risultati, prefissati per il 2030. Per raggiungere tale scopo, lo studio accurato di modelli e la formulazione di diversi possibili scenari relativi al consumo globale di energia e alle conseguenti emissioni assumono un ruolo di fondamentale importanza.

Un'altra problematica strettamente correlata allo sfruttamento dell'energia è la questione riguardante le emissioni di gas climalteranti. Esse dipendono naturalmente dalla tipologia di fonte energetica utilizzata, ma non solo da quest'ultima. Le emissioni, infatti, vengono prodotte non soltanto nella combustione delle fonti fossili ma anche, in quantità non trascurabili, nel trasporto delle materie prime e nella produzione degli elementi che compongono gli impianti di produzione dell'energia, anche quelli ad energia rinnovabile. È dunque fondamentale conoscere di quale tipo e in quale quantità le emissioni di gas nocivi o pericolosi per l'ambiente possano essere. Per ottenere uno studio approfondito sull'argomento ed essere realmente in grado di valutare l'impatto ambientale di un determinato mix energetico, la stima delle emissioni deve essere valutata su ogni singolo processo che porta alla produzione di energia ma anche sul trasporto e sulla produzione di ogni componente. È proprio da questa volontà di poter misurare la generazione di inquinanti che nasce il metodo noto come Life Cycle Assessment (LCA).

Un'ulteriore difficoltà legata alla gestione e alla suddivisione delle risorse energetiche di un paese è costituita dalla condizione geopolitica di una nazione. La diversificazione di un mix energetico di uno stato dipende fortemente dalle risorse naturali presenti sul suo territorio, dai rapporti commerciali con i paesi importatori ed esportatori e dalle politiche energetiche portate avanti dal governo.

Oltre a tutti questi elementi, un fattore determinante per l'individuazione del fabbisogno energetico nazionale, è l'identificazione dell'efficienza e delle perdite relative alle reti di trasporto, soprattutto per quanto riguarda l'energia elettrica. Tali perdite possono anche raggiungere percentuali considerevoli in certi Paesi, i quali, conseguentemente, richiederanno una maggiore quantità di energia prodotta dalle diverse tipologie di impianti presenti. Tutto ciò porta, ovviamente, a costi di produzione e a livelli di emissioni più elevati. L'ottimizzazione di questi settori, insieme ad una consapevolezza ed una conoscenza accurata nell'ambito della produzione di energia, possono condurre ad una notevole riduzione dell'impatto sia dal punto di vista economico che dal punto di vista ambientale.

2 Normativa europea su consumi energetici e sostenibilità ambientale

Per raggiungere la sostenibilità, sia economica che ambientale, occorre sviluppare un sistema in grado di garantire l'approvvigionamento energetico necessario ad ogni paese ed è inoltre necessario limitare le emissioni sotto una certa soglia, il tutto senza rinunciare allo sviluppo e alla crescita della comunità.

L'Unione Europea, negli ultimi decenni, è stata molto attiva sul fronte dell'elaborazione di nuove politiche energetiche volte ad aumentare l'efficienza ed a ridurre le emissioni di gas dannosi per l'ambiente. In questo contesto, l'impegno portato avanti delle nazioni europee è stato senza dubbio il più concreto attuato fino ad ora, essendo l'UE la principale sostenitrice di tali riforme a favore dell'ambiente.

Fino dal principio delle politiche relative all'energia e al clima, l'Unione Europea ha approvato le direttive emanate dall'ONU. Le prime disposizioni inerenti a questo argomento risalgono alla Conferenza di Rio del 1992, durante la quale si formò l'United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), cioè la struttura con il compito di studiare i fattori in grado di scatenare il cambiamento climatico e con lo scopo di individuare le possibili soluzioni a tale problema. L'esito più importante di questa conferenza fu la creazione di un piano d'azione per la tutela ambientale.

Un ulteriore passo venne intrapreso nel 1997 con il Protocollo di Kyoto. Questo documento sancì la nascita di provvedimenti, approvati a livello internazionale, volti a ridurre le emissione di gas climalteranti. Sfortunatamente, tale accordo non estendeva questi obblighi ai Paesi in via di sviluppo come Cina e India ed, inoltre, alcune nazioni tra cui gli Stati Uniti e l'Australia, non ratificarono l'intesa. Di conseguenza, il Protocollo di Kyoto non raggiunse l'efficacia sperata nella lotta alle emissioni nocive e al riscaldamento globale.

In seguito, nel 2009 venne pubblicata la Renewable Energy Directive, una direttiva europea emanata allo scopo di perseguire tre obiettivi principali: la riduzione del 20% delle emissioni di gas serra rispetto ai livelli del 1990, l'abbattimento del 20% dei consumi, migliorando l'efficienza energetica e l'aumento fino al 20% della percentuale di energia prodotta da fonti rinnovabili. Per la stesura di questi target, tale documento è anche conosciuto come "20-20-20 by 2020". In aggiunta a tali obiettivi, la direttiva propone altri provvedimenti tra i quali l'attuazione dell'Emission Trading System (ETS) Directive, la Carbon Capture and Storage (CCS) Directive e la Fuel Quality Directive.

Il provvedimento successivo più rilevante è stato l'Accordo di Parigi del 2015. Tale accordo consiste nell'approvazione di un trattato internazionale da parte di 195 paesi, di cui poi, effettivamente, 183

di essi hanno deciso di aderire. Tale accordo ha come scopo quello di mantenere l'aumento della temperatura media della Terra ben al di sotto dei 2 °C, con l'obiettivo di non superare la soglia di 1,5 °C. Oltre a perseguire questo fine, le altre decisione inserite nel documento prevedono una prevenzione e un adattamento nei confronti del cambiamento climatico già in atto e la necessità di attuare politiche atte a ridurre la presenza del carbonio nell'atmosfera. Insieme all'Accordo di Parigi, sono stati formulati 17 obiettivi per lo sviluppo sostenibile, gli Sustainable Development Goals (SDGs). Tali obiettivi, inseriti nell'Agenda 2030, hanno come fine quello di raggiungere l'ottenimento di questi ambiziosi propositi entro il 2030.



Fig. 1 – Sustainable Development Goals (SDG). Fonte: Agenda 2030

L'ultimo grande traguardo raggiunto a livello temporale è la presentazione da parte dell'UE del 'Green Deal' nel 2019. Questo accordo ha come obiettivo principale quello di raggiungere, negli stati aderenti all'Unione, la neutralità del carbonio entro il 2050. Ciò implica che a partire da quella data, ogni paese dell'Unione Europea dovrà essere in grado di avere emissioni di carbonio nulle o negative, cioè che le emissioni di carbonio dovranno necessariamente essere minori o uguali alla quantità di carbonio sottratta dall'atmosfera. Il tutto non solo per attenuare il riscaldamento globale, ma per eliminarlo completamente. Un altro importante aspetto scaturito dal 'Green Deal' è il concetto di economia circolare. Con questo termine si intende un'economia ecosostenibile in grado di rigenerarsi in autonomia, senza avere un impatto negativo nei confronti dell'ambiente e della società. Attraverso questa politica, lo scopo è quello di ridurre gli sprechi e di conseguenza i rifiuti, riutilizzando e riciclando il più possibile i prodotti dell'uomo.

3 L'IPCC e il riscaldamento globale

Il problema del riscaldamento globale è un tema ben noto alla comunità scientifica e non solo, ormai da diversi decenni. Già negli anni '80 alcuni gruppi di ricerca, tra cui quello guidato da James Hansen, climatologo e astrofisico statunitense, svilupparono modelli climatici in grado di prevedere il riscaldamento della Terra nei decenni futuri. Negli anni seguenti, come descritto in precedenza, si sono susseguiti una serie di studi e di congressi con lo scopo di conoscere nei dettagli le cause di questo fenomeno e di trovare le possibili soluzioni. Tuttavia, fino alla fine degli anni 2000, niente di veramente concreto è stato fatto. Nel 2018 l'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), l'organizzazione internazionale dedita allo studio del cambiamento climatico, ha redatto un report speciale all'interno del quale sono analizzati i possibili impatti del riscaldamento globale di 1,5 °C rispetto ai livelli preindustriali. Nel documento sono presenti anche i probabili scenari causati dalle emissioni globali di gas climalteranti e le strategie adottate nell'Accordo di Parigi, tenutosi tre anni prima, per limitarle. Tali soluzioni vengono valutate anche nella ventunesima Conferenza delle Parti dell'UNFCCC. Nel testo viene illustrato come negli anni successivi al 2030 la soglia di riscaldamento globale di 1,5 °C verrà superata se i ritmi delle emissioni saranno rimasti costanti. Ciò implicherebbe un drastico cambiamento del clima, in quanto la presenza di gas pericolosi in atmosfera persisterebbe per secoli e contribuirebbe in maniera ancora maggiore ad alimentare questo fenomeno. Il che spingerebbe ad ipotizzare anche altri scenari più pessimistici rispetto a quello previsto nell'Accordo di Parigi del 2015, come quello con un aumento medio della temperatura di 2,0 °C o persino oltre. Questo scenario, non improbabile senza un reale impegno a livello globale, renderebbe i cambiamenti climatici ancora più drastici, con il verificarsi non solo di eventi naturali estremi nel corso dei prossimi decenni, ma con anche l'ulteriore innalzamento dei mari e lo scioglimento di una porzione non trascurabile dei ghiacciai di tutto il mondo.

3.1 Potenziali impatti e rischi associati

Nel report dell'IPCC vengono analizzate le possibili differenze tra gli scenari relativi all'aumento di temperatura rispettivamente di 1,5 °C e di 2,0 °C. Entrambi presentano problematiche e conseguenze per certi versi irreversibili. Nell'ipotesi dei 2,0 °C si ritiene che l'aumento del livello dei mari, entro il 2100, possa essere maggiore di circa 10 centimetri rispetto allo scenario più ottimistico. Questa differenza potrebbe essere fondamentale per permettere l'adattamento umano, specialmente nelle

piccole isole e nelle aree costiere. Per quanto riguarda la vita sulla terra, molti ecosistemi potrebbero essere sconvolti, con una maggiore probabilità di estinzione di varie specie nel caso di innalzamento delle temperature di 2,0 °C o più. Ovviamente con un aumento più elevato delle temperature questo fenomeno risulterebbe più drammatico. Infine, anche la vita stessa dell'uomo potrebbe essere minacciata in misura maggiore. L'aumento di oltre 2,0 °C danneggerebbe sensibilmente l'agricoltura, causando gravi carestie. Anche le ondate di siccità, così come le alluvioni, sarebbero più probabili. Tutto questo metterebbe in pericolo l'approvvigionamento idrico e la disponibilità di cibo in diverse parti del mondo, già oggi colpite in particolar modo da questi fenomeni. Alcune conseguenze secondarie, sempre strettamente legate al cambiamento climatico, sarebbero l'incremento di fenomeni migratori di persone costrette ad abbandonare le zone più povere del pianeta per cercare fortuna in quelle più ricche, creando ulteriori tensioni tra i governi di questi Paesi e malcontento all'interno delle popolazioni locali. Anche il rischio di nuovi conflitti sarebbe reale. Carestie, flussi migratori ed instabilità sia politica che economica, come la storia ci insegna, conducono molto spesso allo scoppio di guerre.

Infine, nell'ultima parte del documento, vengono messe in relazione le possibili opzioni per mitigare gli effetti del cambiamento climatico con gli obiettivi di sviluppo sostenibile, evidenziando quali possono essere gli aspetti positivi e quali, invece, quelli negativi. Nel report vengono considerati tre fattori principali: l'approvvigionamento energetico, la domanda di energia e la salvaguardia del territorio. Da questa analisi emerge come, in linea generale, per ognuno dei 17 obiettivi gli effetti positivi siano nettamente maggiori di quelli negativi. Questa affermazione risulta particolarmente verificata per quanto riguarda l'analisi del parametro relativo alla domanda di energia. Per questo settore le politiche di mitigazione e i piani di riduzione delle emissioni producono evidenti benefici, i quali superano di gran lunga gli svantaggi che tali politiche potrebbero comportare.

In conclusione, dunque, questo report illustra come il raggiungimento dell'obiettivo di mantenere il riscaldamento globale al di sotto di 1,5 °C sia improbabile e allo stesso tempo mostra come anche scenari più pessimistici, come quello dei 2,0 °C, siano comunque difficili da ottenere. La soluzione che il documento propone, oltre ovviamente ad un maggiore impegno politico a livello mondiale, è l'adattamento della popolazione nei confronti del cambiamento climatico e soprattutto incoraggia i governi ad attuare strategie di mitigazione che possano ridurre i possibili danni causati da questo fenomeno.

4 Situazione energetica dell'Unione Europea

4.1 Aspetti generali

Lo status energetico dei paesi appartenenti all'Unione Europea è considerevolmente eterogeneo e può mostrare grandi differenze da nazione a nazione. Come prima cosa, occorre notare come l'UE abbia un territorio molto vasto con oltre 4,2 milioni di km² di superficie. Questo implica una notevole differenza della tipologia di ambiente naturale e delle risorse che esso offre. Inoltre, le nazioni all'interno dell'Unione sono state caratterizzate nel tempo da eventi storici completamente diversi fra loro. Alcuni stati sono considerati delle potenze economiche da secoli, altri Paesi, invece, hanno una storia nazionale molto più recente e pertanto un'economia meno sviluppata. Di conseguenza, è facile comprendere come Paesi anche distanti tra loro, con un territorio ed una storia completamente diversi abbiano fatto affidamento a fonti di energia differenti.

A determinare la scelta del tipo di approvvigionamento energetico di ogni paese incidono diversi fattori. I principali sono la presenza sul territorio di risorse naturali come le fonti fossili, la posizione dal punto di vista geografico nel continente e dal punto di vista geopolitico nello scacchiere internazionale, la morfologia del paesaggio, l'estensione del territorio, lo sviluppo tecnologico ed industriale del paese ed infine le politiche adottate nel corso degli anni dai governi di tali nazioni.

Per esempio, è facile comprendere come un paese situato nell'Europa meridionale ed affacciato sul Mediterraneo possa trarre maggiore beneficio da fonti rinnovabili come il fotovoltaico e l'energia prodotta dal vento e dalle onde marine, mentre una nazione posta nel cuore del continente, con la massiccia presenza di montagne e senza sbocchi sul mare, dovrà sviluppare tutt'altra tipologia di impianti per la produzione di energia, probabilmente facendo affidamento maggiormente a combustibili fossili, centrali nucleari o energia idroelettrica.

4.2 Consumi di energia nell'Unione Europea

4.2.1 Consumi per fonte energetica

I consumi finali di energia dell'Unione Europea, sono dati molto difficili da ottenere a causa della grande complessità ed eterogeneità delle nazioni che la compongono. Un ente che si occupa della raccolta di dati e della elaborazione di statistiche relative agli stati membri dell'Unione è l'istituto statistico Eurostat. Esso ha l'obiettivo di studiare e di comparare le economie, e i numeri in senso più generale, dei diversi stati aderenti all'UE.

Come riportano i dati elaborati da Eurostat, i consumi finali di energia hanno subito variazioni nel corso degli ultimi tre decenni. Al 2020 questo valore si attesta a 37.086 PJ. Nel grafico sottostante è illustrato l'andamento dei consumi finali per tipologia di fonte energetica dal 1990 al 2020.

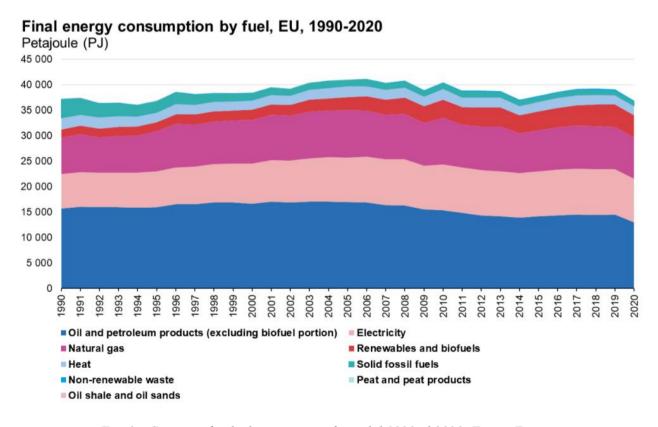


Fig. 2 - Consumo finale di energia per fonte dal 1990 al 2020. Fonte: Eurostat

Come si può osservare dal grafico, a partire dalla seconda metà degli anni '90, il valore dei consumi tende ad aumentare con il passare del tempo fino al 2006, anno in cui si registra una lieve decrescita. Tra il 2007 e il 2014, il trend non è costante, con l'alternarsi di picchi e valli causati principalmente dall'incertezza generata dalla grave crisi economica scoppiata nel 2008. La grave recessione

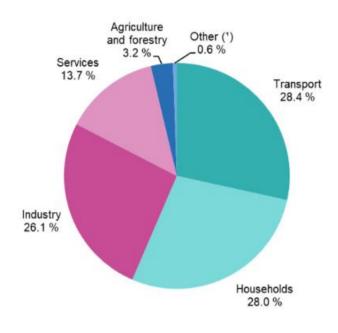
originatasi negli Stati Uniti ha avuto pesanti ripercussioni anche sul settore energetico in Europa, con la conseguenza della riduzione dei consumi. Dal 2014, invece, ricomincia a delinearsi un aumento progressivo dell'utilizzo di energia fino al 2019, anno della diffusione della pandemia di COVID-19. Il valore massimo dei consumi finali è stato registrato nel 2006 e coincide con 41.445 PJ, mentre il minimo è stato raggiunto proprio nel 2020. Durante quell'anno si è registrata una diminuzione dei consumi finali di circa il 10,5% rispetto al valore massimo del 2006. Risulta dunque evidente come i consumi finali di energia all'interno dell'UE siano fortemente correlati agli eventi di portata internazionale e come il trend tenda generalmente a crescere, con l'eccezione dei periodi caratterizzati da accadimenti fortemente negativi come lo scoppio di crisi economiche e la diffusione di pandemie.

Un altro aspetto molto importante che si può individuare analizzando il grafico è la decrescita dell'utilizzo di fonti fossili a partire dalla seconda metà degli anni '10, con il conseguente aumento del consumo di energia da fonti rinnovabili. Questo dato dimostra il sensibile decremento soprattutto di combustibili fossili solidi come il carbone. Il gas naturale, invece, rimane circa costante durante gli ultimi trenta anni, mostrando soltanto lievi oscillazioni. Tuttavia, sebbene questo trend sia tutt'ora in atto, ad oggi le fonti fossili occupano ancora una fetta importante dell'energia consumata nell'Unione Europea.

4.2.2 Consumi per settore energetico

Un dato rilevante per lo studio della ripartizione dell'energia in un paese è la suddivisione per campi. Il grafico a torta riportato di seguito illustra il consumo finale di energia in UE per settore nel corso del 2020. Come si può facilmente osservare, i settori ai quali occorre una quantità di energia maggiore sono quelli relativi ai trasporti (28,4%), agli edifici (28,0%) e all'industria (26,1%). Le rimanenti percentuali indicano i consumi per servizi con il 13,7%, per l'agricoltura con il 3,2% ed il restante 0,6% è relativo di tutti gli altri settori non precedentemente indicati. Nella statistica i serbatoi dell'aviazione e del trasporto navale internazionale sono esclusi dalla categoria dei trasporti.

Final energy consumption by sector, EU, 2020 (% of total, based on terajoules)



(1) International aviation and maritime bunkers are excluded from category Transport.

Fig. 3 - Consumo finale di energia per settore, UE 2020. Fonte: Eurostat

Il diagramma mostra dunque come i campi più energivori in Europa siano quello dei trasporti e degli edifici. Entrambi, sfortunatamente, sono caratterizzati da una forte dipendenza dalle fonti fossili: i carburanti come benzina e diesel per i trasporti e il gas naturale per il riscaldamento degli edifici. Risulta quindi complicato ridurre l'impatto ambientale di questi due settori, essendo essi difficilmente convertibili all'energia elettrica prodotta in modo più sostenibile. Una soluzione per quanto riguarda i trasporti potrebbe essere lo sviluppo di veicoli elettrici e l'introduzione di biocarburanti, soprattutto per macchine che richiedono grande potenza ed autonomia. Quest'ultima tecnologia, meno dannosa nei confronti dell'ambiente rispetto alle fonti fossili tradizionali, ad oggi è poco diffusa principalmente per la bassa resa energetica dei biocarburanti. Probabilmente in futuro, quando le proprietà di tali sostanze saranno migliorate, esse potranno avere una più vasta diffusione e ed una maggiore rilevanza. Per il settore degli edifici, invece, la soluzione più realistica è la graduale transizione a dispositivi di riscaldamento alimentati ad elettricità o ad idrogeno, sostenuti dall'installazione di nuovi impianti ad energia rinnovabile, magari integrati direttamente negli edifici o situati nelle vicinanze. La decentralizzazione della produzione di energia e la diffusione della figura del cosiddetto 'prosumer' saranno fondamentali per il successo di questo importante passaggio.

4.2.3 Consumi per paese europeo

Un'ulteriore statistica che risulta fondamentale per conoscere a fondo come soddisfare il fabbisogno energetico è quella relativa alla quantità e alla composizione di consumi delle nazioni appartenenti all'Unione Europea. Tali consumi, come spiegato in precedenza, sono molto diversi fra di loro e la stessa cosa vale per la loro tipologia di produzione. Il grafico fornito da Eurostat mostra in percentuale la quantità dei consumi per fonte di ogni stato appartenente all'Unione nel corso del 2020.

Si osserva come la media dei consumi dell'Unione Europea sia composta per il 35% da prodotti derivati dal petrolio, per il 22,3% da gas naturale, per il 2,7% da fonti fossili solide, per il 5% da energia termica derivata, per l'11,8% da fonti rinnovabili e per il restante 23,2% da elettricità. In seguito, nel capitolo successivo, un'ulteriore studio verrà affrontato per analizzare da quali fonti l'energia elettrica viene prodotta in UE. Inoltre, è bene ricordare che in questo grafico per energia rinnovabile si intende quella non trasformata in elettricità, cioè solare termico, geotermico e biomassa per il riscaldamento di ambienti interni.

Share of energy products in total final energy consumption, 2020

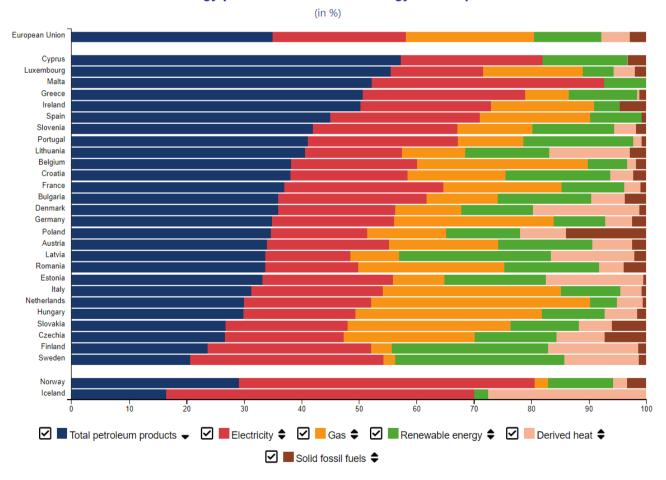


Fig. 4 - Percentuale dei consumi energetici per paesi appartenenti all'UE, 2020. Fonte: Eurostat

Esaminando ancora il diagramma, risulta evidente quali Paesi facciano maggiore utilizzo di fonti fossili e quali invece abbiano modificato il proprio mix energetico a favore di altre forme di energia. Cipro, Lussemburgo e Malta sono gli stati più legati al petrolio, con una dipendenza da questa risorsa ancora di circa il 50%. Tralasciando per il momento la componente dell'elettricità, Belgio e i Paesi bassi sono, in assoluto, i paesi che nel 2020 hanno consumato una percentuale maggiore di fonti fossili nell'UE, con valori che si attestano a circa il 68% del totale.

L'Italia, invece, risulta essere poco al di sotto della media europea per quanto riguarda il consumo di prodotti derivati dal petrolio. Di contro si registra una forte dipendenza dal gas naturale, soprattutto da quello russo, con una percentuale del 31%, valore decisamente più elevato della media. Per quanto riguarda i consumi da fonti rinnovabili, il nostro Paese ne utilizza solamente circa il 10%, una cifra comparabile alla media UE. Fortunatamente, in Italia l'uso dei fonti fossili solide come il carbone è molto ridotto, con solo lo 0,7%, uno dei valori più bassi nell'Unione.

In relazione all'uso diretto di fonti rinnovabili, sempre tralasciando la produzione di elettricità, i Paesi con una percentuale più alta sono quelli appartenenti all'Europa settentrionale come Svezia (29,4%), Finlandia (27,2%) e Lettonia (26,4%). Nel grafico si può anche notare come la percentuale di consumi legati alla produzione di energia tramite fonti fossili solide sia più elevata nei Paesi dell'Europa orientale. I valori maggiori si registrano per Polonia (13,9%), Repubblica Ceca (7,2%) e Slovacchia (6,0%).

Infine, per completezza, la statistica riporta anche i consumi di due stati non appartenenti all'Unione ma geograficamente situati in Europa: la Norvegia e l'Islanda. Queste due nazioni sono caratterizzate da un grande consumo di elettricità e un ridotto utilizzo di fonti fossili. Molto particolare è il caso dell'Islanda, in grado di consumare circa il 30% da fonti di calore. Ciò è ovviamente dovuto alla forte presenza di calore geotermico sull'isola.

Tutti questi risultati, relativi al tipo di consumi, sono influenzati dalla posizione geografica, dal tipo di politica e dall'economia di ogni stato preso in esame. Osservando il diagramma si può vedere come i Paesi situati ad est abbiano una forte dipendenza da fonti fossili come carbone e gas naturale, come quelli più piccoli e con un economia meno sviluppata, tra cui Malta e Lussemburgo, facciano maggiore affidamento al petrolio, come le nazioni dell'Europa meriodionale ed occidentale tra cui Italia, Spagna, Portogallo e Francia abbiano un mix energetico più equilibrato ed, infine, come le nazioni scandinave mostrino una maggiore apertura al rinnovabile e una netta riduzione delle fonti fossili.

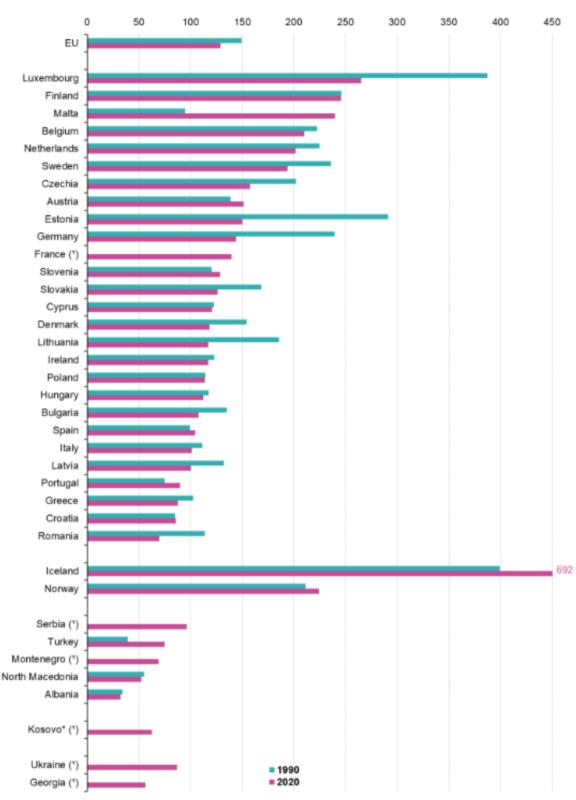
4.2.4 Consumo pro capite

Un dato sicuramente interessante per lo studio dell'utilizzo dell'energia riguarda i consumi pro capite all'interno degli stati aderenti all'Unione Europea. Attraverso questi numeri è possibile prevedere in modo più efficacie in quali nazioni, in futuro, i consumi tenderanno maggiormente a crescere grazie ad un maggiore sviluppo. È chiaro, infatti, che il progresso dell'economia e l'aumento del benessere di una nazione non solo permettono l'incremento della popolazione stessa, ma consentono la crescita anche della richiesta energetica di ogni individuo. Allo stesso tempo, questo tipo di dati permette di conoscere quali Paesi sono i più adatti ad attuare misure che mirino alla riduzione dei consumi sia con iniziative volte alla riduzione del fabbisogno energetico individuale che attraverso politiche relative all'efficientamento dell'intero settore di produzione e di trasporto dell'energia. Più uno stato soddisfa il fabbisogno pro capite con quantità elevate di energia, maggiore è la sua ricchezza e il suo impatto sull'ambiente.

Nel diagramma illustrato di seguito, tratto da uno studio svolto da Eurostat, viene mostrata l'energia lorda pro capite dei diversi Paesi europei. Nel grafico sono riportati i valori, in TJ, relativi al 1990 e al 2020. Questi numeri permettono di confrontare il trend delle diverse nazioni negli ultimi tre decenni. Sulla base di essi è anche possibile ipotizzare un possibile andamento futuro.

Gross available energy, 1990 and 2020

(terajoules per capita)



Source: Eurostat (online data codes: nrg_bal_s, demo_pjan)

^(*) No data for 1990.

* This designation is without prejudice to positions on status, and is in line with UNSCR 1244 and the ICJ Opinion on the Kosovo Declaration of Independence. eurostat 🔯

Dalla Figura 5 si osserva come il trend dei consumi energetici dei Paesi europei non sia uniforme. Alcuni stati nel corso degli ultimi trent'anni hanno ridotto notevolmente i consumi pro capite mentre altri hanno addirittura aumentato il consumo per persona. Tutto ciò è dovuto a diversi fattori, tra cui i principali si possono individuare in un rapido cambiamento dei settori trainanti dell'economia, in una forte variazione demografica oppure in un cambiamento dello stile di vita degli abitanti di un determinato paese. Tuttavia, è doveroso ricordare che la quantità di energia utilizzata da ogni singolo cittadino oltre a dipendere dalla prosperità della nazione e dalle sue possibili inefficienze, dipende fortemente dalla condizione climatica in cui il paese si trova. Più sarà esposto a condizioni ambientali rigide, maggiormente i cittadini saranno spinti necessariamente a consumare quantità di energia più elevate.

In generale, come mostra anche la media UE, la tendenza è quella della riduzione dei consumi pro capite, soprattutto mediante il miglioramento dell'efficienza e una riduzione degli sprechi. Ciò è la conseguenza dell'applicazione delle politiche e delle norme europee relative all'energia e all'ambiente emanate nel corso degli ultimi decenni e descritte in precedenza. Anche il costante aumento del costo della produzione dell'energia, prevalentemente a causa del prezzo delle materie prime, ha spinto la maggior parte degli stati ad una ottimizzazione del settore. Paesi principali come Germania, Italia, Olanda e Belgio hanno ridotto i loro consumi pro capite nel corso degli anni. Per la Francia il dato relativo ai consumi nel 1990 non è disponibile, quindi risulta complicato comprendere il trend del paese. Alcune nazioni tra cui Polonia, Finlandia, Ungheria e Cipro hanno mantenuto l'impiego di energia per persona circa costante, in quanto, probabilmente, la crescita del benessere e il miglioramento dell'efficienza sono andati di pari passo. Invece, altri Paesi come Austria, Portogallo, Spagna e Malta hanno incrementato i consumi. Per questi stati è complicato dire con certezza quali siano state le cause che hanno portato nel corso degli anni ad un aumento, seppur ridotto, dell'utilizzo di energia. Emblematici, invece, sono i casi di Lussemburgo e Malta. Il primo ha ridotto di circa un terzo l'uso pro capite di energia mentre Malta li ha più che raddoppiati. Ciò implica una forte variazione nell'economia o dello stile di vita della popolazione in queste due nazioni. Tuttavia, sebbene i numeri di questi stati si discostino molto dalla media europea, i loro valori hanno poca influenza sulla statistica in quanto le loro popolazioni sono quasi trascurabili in confronto al totale degli abitanti dell'Unione.

4.3 Produzione di energia elettrica

La produzione di energia elettrica è fondamentale nel mix energetico di ogni stato. Tale forma di energia occupa una fetta importante dei consumi finali, soprattutto nei paesi sviluppati come è il caso di quelli appartenenti all'Unione Europea.

Sempre nella figura 4, illustrata in precedenza, è possibile osservare come la percentuale di elettricità consumata sia generalmente minore negli stati più piccoli e in quelli con economie meno sviluppate come i paesi dell'est Europa. Le nazioni scandinave e quelle dell'Europa centro-meridionale, invece, sono caratterizzate da consumi di energia elettrica in percentuale più elevati, per il loro maggiore sviluppo in ambito tecnologico ed industriale. Un'eccezione a quanto appena detto è Malta, la quale consuma la maggior percentuale di energia elettrica dei paesi membri dell'UE. A Malta, come riportano i dati, tale risorsa viene utilizzata per oltre il 40% del totale delle fonti energetiche nazionali.

Per conoscere con precisione i consumi finali per ogni tipo di fonte degli stati membri, occorre dunque approfondire il campo dell'elettricità, analizzando quali sono le forme di energia dalle quali viene prodotta la potenza elettrica. La sottostante Figura 6 rappresenta, in percentuale, la tipologia di fonte dalla quale nel 2020 si è generata energia elettrica per tutti gli stati dell'UE con l'aggiunta, come in precedenza, di Islanda e Norvegia. Sebbene la media dei consumi dell'Unione riporti il 35,6% da fonti fossili, il 24,6% dal nucleare, il 38,8% da fonti rinnovabili ed il restante 1,0% da altro, fin da subito si osserva come le percentuali dei diversi Paesi siano profondamente disomogenee.

Production of electricity by source, 2020

(in %) European Union Malta Cyprus Netherlands Greece Italy Ireland Estonia Czechia Germany Portugal Bulgaria Hungary Latvia Croatia Romania Lithuania Spain Belgium Slovenia Slovakia Austria Denmark Finland France Luxembourg Sweden Norway Iceland 40 30

Fig. 6 - Produzione di elettricità per fonte nei paesi appartenenti all'UE, 2020. Fonte: Eurostat

Fossil fuels

Nuclear

Wind

Hydro

Biofuels

Solar

Solar

Other

Dal diagramma si percepisce come gli stati più inclini all'utilizzo di fonti fossili nel proprio mix energetico tendano a produrre anche l'elettricità da quest'ultime. È il caso di Malta, Cipro e Polonia le quali superano la percentuale del 80% di produzione di corrente elettrica da fonti fossili. In seguito si trovano stati, tra cui i Paesi Bassi e Grecia, i quali utilizzano per oltre il 60% questo tipo di fonte.

L'Italia fa parte delle nazioni con il maggiore utilizzo di forme fossili, anche se in percentuale minore rispetto a quelle precedentemente elencate. Il valore si attesta al 56,7%. La seconda forma di energia sulla quale il nostro paese fa affidamento è l'idroelettrico, circa il 17,7%. Oltre a queste due fonti che coprono gran parte del fabbisogno elettrico, l'Italia produce elettricità in percentuali tra di loro comparabili dall'eolico (6,7%), dal fotovoltaico (8,9%) e dalla biomassa (7,0%). Il restante 3,0% proviene da altro, in gran parte dall'energia geotermica presente in alcune regioni del territorio italiano.

Una fonte di energia non presente nel panorama del nostro Paese è il nucleare. Questa risorsa energetica, tuttavia, è largamente utilizzata da altre nazioni europee tra le quali soprattutto Francia (66,6%), Slovacchia (53,6%), Ungheria (46,2%) e Bulgaria (40,8%). In questo caso la Francia rappresenta un caso particolare nell'UE, in quanto essa è in grado di coprire esattamente i due terzi

della propria produzione di elettricità solamente con il nucleare. Di conseguenza ha una minore percentuale di fonti fossili utilizzate per la generazione elettrica, solo 1'8,6%, un valore tra i più bassi dell'Unione. Lo stato che ha ridotto in maniera più consistente l'uso di risorse fossili è la Svezia. Essa ne impiega solamente per lo 0,5%. La restante produzione è composta da nucleare (30,0%) e da fonti rinnovabili di varia natura (69,5%), per oltre il 44% da idroelettrico.

Considerando i Paesi con il maggiore utilizzo di fonti rinnovabili per la generazione di elettricità, al primo posto si trova il Lussemburgo con poco meno del 90%. A seguire c'è la Danimarca. Questa nazione è capace di produrre elettricità quasi per l'85% solamente da fonti rinnovabili, con oltre il 56% dall'eolico. Di seguito si trova l'Austria, anch'essa con una percentuale che supera l'80%. Nel caso dell'Austria, il settore di produzione di elettricità dominante è l'idroelettrico, con ben il 62,5% della produzione totale di elettricità.

Un caso a parte sono la Norvegia e l'Islanda, con la prima che produce l'elettricità per oltre il 98% da fonti rinnovabili, con la netta prevalenza dell'idroelettrico (92,0%). L'Islanda, invece, è l'unico paese in Europa in grado di soddisfare per il 100% la generazione elettrica attraverso fonti rinnovabili. Le forme di energia utilizzate da questo stato sono solamente l'idroelettrico (68,8%) e il geotermico (31,2%). Ciò è reso possibile dalla vasta disponibilità di calore geotermico e dalla grande presenza di bacini idrici; inoltre il basso numero di abitanti dell'isola rende la gestione delle risorse e della rete più semplice. Allo stesso tempo, la pianificazione del carico elettrico durante il giorno diventa più prevedibile e meno complicata da supervisionare in confronto alle altre grandi nazioni europee.

4.4 Interconnessione della rete elettrica europea

Un aspetto fondamentale relativo alle reti di distribuzione è sicuramente l'interconnessione. Questa caratteristica comporta numerosi benefici alle rete elettrica e per questo motivo tale aspetto deve essere perseguito il più possibile. I principali vantaggi sono la riduzione del rischio di blackout causati da condizioni metereologiche avverse o da guasti alle infrastrutture, un aumento dell'affidabilità energetica con una maggiore garanzia di approvvigionamento elettrico, riduzione del numero di centrali necessarie per la produzione di energia e una più facile gestione dei crescenti livelli di energie rinnovabili intermittenti immesse nella rete. L'interconnessione, inoltre, ha come scopo principale quello di collegare diversi sistemi nazionali di trasmissione altrimenti isolati e di rendere possibile l'acquisto e la vendita di energia elettrica tra gli stati europei. L'interconnessione della rete elettrica

risulta dunque fondamentale per garantire una sicurezza nel trasporto e nell'approvvigionamento dell'elettricità e per creare un mercato comune europeo dell'energia.

Proprio per questi motivi, l'Unione Europea ha stabilito obiettivi per aumentare il livello di interconnessione di ogni paese membro. L'intento è quello di raggiungere entro il 2030 il 15 % di interconnessione della rete elettrica, mentre il precedente obiettivo, stabilito nel 2014 e relativo al 2020, era quello del 10 %. Per chiarezza, con percentuale di interconnessione della rete si intende la capacità di importare energia elettrica in relazione alla capacità complessiva di produrre elettricità di un determinato paese.

Un importante ente creato dal desiderio di interconnettere la rete elettrica europea è l'European Network of Transmission System Operators for Electricity (ENTSO-E). Tale associazione è nata nel 2009 con lo scopo di unire gli operatori dei sistemi di trasmissione di 36 Paesi europei e di unificare e liberalizzare il mercato elettrico. Attraverso l'ENTSO-E, per gli stati europei è possibile comprare e vendere elettricità. Questo processo rende più facile e flessibile la produzione nazionale di energia con una più semplice gestione dei picchi della domanda. I Paesi europei, infatti, producono gran parte dell'elettricità da diversi tipi di risorse, alcune pensate per un uso costante e continuo, come il nucleare, mentre altri stati fanno largo uso di fonti meno controllabili come le rinnovabili tra cui fotovoltaico ed eolico. Grazie alla creazione di un unico grande mercato europeo, è possibile scambiare l'energia elettrica tra diverse nazioni secondo il bisogno di ognuna di esse con maggiore flessibilità ed efficienza.

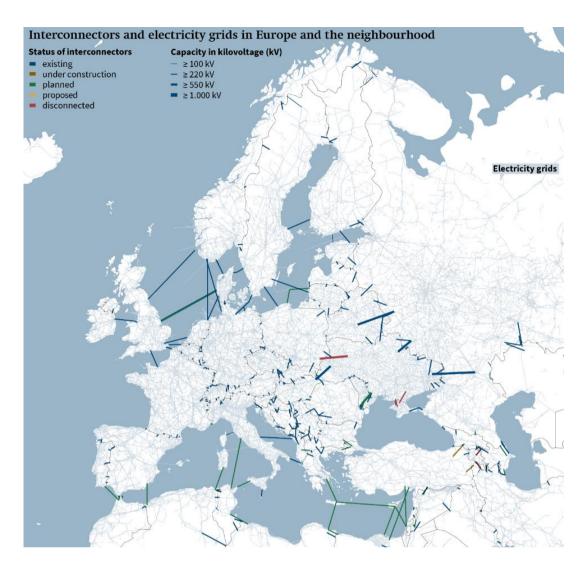


Fig. 7 – Interconnessione della rete elettrica europea. Fonte: ENTSO-E

Per quanto riguarda l'Italia, la Rete di Trasmissione Nazionale (RTN), è interconnessa con l'estero mediante diverse linee, in totale 25. I Paesi coinvolti nell'interconnessione sono principalmente gli stati confinanti o comunque vicini all'Italia, tra cui sono presenti la Francia, la Svizzera, l'Austria, la Slovenia, la Grecia e Malta. Tali reti sono in continua espansione per poter raggiungere il target imposto dall'Unione e, come si può osservare nella Figura 7, molte interconnessioni tra diversi stati sono in programma.

L'Italia nel corso del 2020 ha importato, secondo dati Terna, una quantità di elettricità pari al 10,4 % dei consumi totali di energia elettrica, circa 32.200 GWh al netto delle modeste esportazioni. Di questa energia circa la metà viene fornita dalla Svizzera mentre un terzo è acquistato dalla Francia. La restante parte proviene da Slovenia ed Austria.

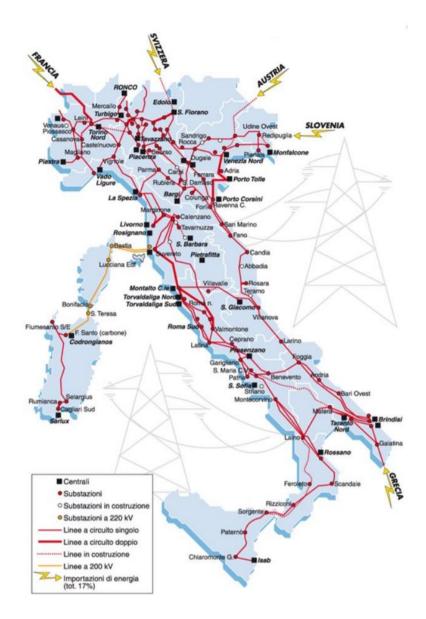


Fig. 8 – Interconnessioni rete elettrica italiana. Fonte: Terna

4.5 Fonti rinnovabili

L'Unione Europea ha deciso negli ultimi anni di investire sempre di più sulle fonti rinnovabili. Con l'emanazione della Renewable Energy Directive (RED) e la Renewable Energy Directive II (RED II), rispettivamente nel 2009 e nel 2018, l'Europa ha prefissato obiettivi specifici e concreti per aumentare la diffusione di queste nuove tecnologie per la produzione di energia pulita, senza il rilascio in atmosfera di alcun gas dannoso per l'ambiente.

Come descritto in precedenza, la RED I stabilisce l'abbattimento del 20% dei consumi incrementando l'efficienza, la riduzione del 20% delle emissioni rispetto a quelle del 1990 e il raggiungimento del

20% di produzione di energia da fonti rinnovabili. La RED II, invece, si pone come obiettivo quello di ottenere, entro il 2030, almeno il 32% di produzione dell'energia dalle rinnovabili, con la possibilità di incrementare tale percentuale entro il 2023.

Nel grafico sottostante è possibile individuare le percentuali dei consumi energetici dei Paesi europei nel corso del 2020. Risulta subito evidente come l'obiettivo prefissato nel 2009 dall'Unione, per mezzo della RED I, è stato raggiunto con successo. Nel 2020, infatti, la media dei consumi europei è composta per il 22,1% da energia rinnovabile. Tuttavia, è doveroso ricordare che tra gli effetti della pandemia di COVID-19 scoppiata in Europa proprio in quell'anno, si registra una decrescita dei consumi da fonti fossili a favore di un aumento di quelle rinnovabili. Ciò è stato causato della drastica diminuzione della domanda energetica. Quindi, è prevedibile che negli anni seguenti possa avere luogo un lieve calo della percentuale di consumi di energia proveniente da fonti rinnovabili.

Analizzando la situazione in generale, si nota che quasi tutte le nazioni hanno raggiunto i propri obiettivi. L'unica eccezione è rappresentata dalla Francia; essa, infatti, si è fermata ad una percentuale di poco superiore al 19% a fronte di una previsione del 23%. Le nazioni che hanno superato ampiamente i propri obiettivi sono la Svezia con il raggiungimento del 60% invece del 49% stabilito, la Croazia con il 31% a fronte del 20% previsto e la Bulgaria, con il 23% piuttosto che il 16%. I due Paesi non appartenenti all'UE, Islanda e Norvegia, raggiungono percentuali di oltre l'83% la prima e di oltre il 75% la seconda, con gli obiettivi imposti rispettivamente di 64% e 67,5%. L'Italia nel 2020 ha raggiunto una porzione pari al 20,4% a fronte di un obiettivo del 17%.

Share of energy from renewable sources

(in % of gross final energy consumption)

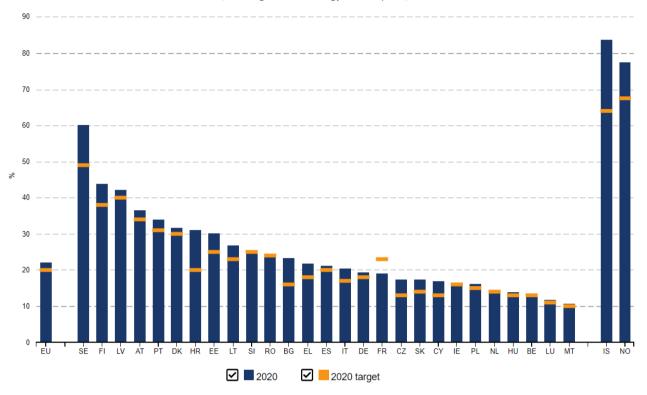


Fig. 9 – Percentuale di energia rinnovabile consumata nei Paesi UE. Fonte: Eurostat

4.6 Idrogeno

Un'importante risorsa per il futuro dell'energia in Europa e nel mondo è sicuramente l'idrogeno. Questo elemento, fondamentale per la transizione energetica, può essere utilizzato direttamente come combustibile in alternativa alle fonti fossili oppure come vettore energetico per l'accumulo e il trasporto di energia. L'Unione Europea ha individuato in questo elemento un fattore essenziale al fine di conseguire l'obiettivo della neutralità nelle emissioni di carbonio entro il 2050, in quanto la sua combustione non produce CO_2 , bensì soltanto acqua.

Esistono diversi metodi per produrre H_2 . Principalmente questo elemento si può ottenere attraverso l'energia elettrica, utilizzata nei processi di elettrolisi tramite gli elettrolizzatori. Tali dispositivi, in base alla tecnologia che sfruttano, sono in grado di convertire una sostanza in idrogeno, ad esempio l'acqua o il metano oppure il monossido di carbonio, per mezzo del consumo di elettricità. Il principio di funzionamento è quello di una cella elettrochimica. Dato che per attivare il processo è necessaria la corrente elettrica, oltre ad una certa quantità di energia termica, una soluzione ottimale sarebbe quella di associare questi dispositivi alle fonti rinnovabili. Gli impianti più adatti a questo scopo,

basandosi sulla tecnologia disponibile oggi, sono gli elettrolizzatori Proton Exchange Membrane (PEM), i quali sono molto dinamici e necessitano di tempi brevi per l'accensione e lo spegnimento, oltre che di poca energia termica, in quanto operano a temperature di circa 70 °C. Un'altra grande categoria di elettrolizzatori, i Solid Oxide Electrolyzer Cells (SOEC), ha caratteristiche di funzionamento incompatibili con le operazioni delle fonti rinnovabili intermittenti, poiché tali dispositivi necessitano di alte temperature (circa 800 °C) e non permettono un avvio ed uno spegnimento rapido.

Il modus operandi, quindi, consisterebbe nella fornitura di elettricità da parte delle fonti rinnovabili alla rete quando essa è richiesta, mentre nei periodi in cui la domanda di energia è ridotta l'elettricità prodotta sarebbe resa disponibile alle PEM, le quali convertirebbero l'energia elettrica, difficilmente accumulabile, in idrogeno, sostanza di più facile stoccaggio. Successivamente l'idrogeno potrebbe essere utilizzato come combustibile oppure, tramite il processo inverso, ritrasformato in energia elettrica mediante una cella a combustibile, nel momento in cui la domanda di elettricità dovesse crescere. Quest'ultima modalità viene comunemente indicata con il termine Power to Power (P2P). Dunque, $1'H_2$ mostra grandi potenzialità anche per quanto riguarda lo stoccaggio di energia prodotta dalle fonti rinnovabili.

Un altro metodo per la produzione dell'idrogeno è quella derivata dalla gassificazione di combustibili fossili come carbone e biomassa oppure direttamente dal gas naturale. Con i combustibili solidi innanzitutto occorre trasformare gli elementi in gas sintetici definiti syngas. Tale trasformazione solitamente avviene tramite processi di pirolisi e di gassificazione. Una volta ottenuti CH_4 e CO è possibile ricavare l'idrogeno, attraverso reazioni di Steam Reforming e di Water Gas Shift (WGS). A questi processi possono essere aggiunti dispositivi per la cattura della CO_2 , per ridurre le emissioni. Attualmente, quasi la totalità di idrogeno prodotto per fini industriali è ricavato con questo metodo, eccezion fatta per alcuni prototipi di impianti che utilizzano strategie differenti.

Il piano dell'Unione Europea è quello di favorire la produzione di idrogeno da fonti rinnovabili, in quanto questi processi non impattano sul clima. Tuttavia, per la fase di transizione associata al prossimo futuro, l'UE riconosce anche l'importanza dell'idrogeno ottenuto da fonti fossili, a condizione che nei processi siano inseriti dispositivi per la cattura dell'anidride carbonica e che quindi tali metodi risultino a basso impatto ambientale. Per portare a termine questo obiettivo sono state fissate tre fasi. Nella prima fase, il target è quello di raggiungere i 6 GW di elettrolizzatori entro il 2024, cercando di decarbonizzare la produzione già esistente il più possibile. Nella seconda fase, individuata tra il 2024 e il 2030, si punta a fare diventare l'idrogeno parte integrante del sistema energetico, fino ad ottenere 40 GW di produzione. L'ultima fase, con scadenza nel 2050, prevede la

piena maturità delle tecnologie legate alla produzione di H_2 ed una totale decarbonizzazione di tutti i settori, specialmente grazie a questa risorsa. L'obiettivo stabilito dal Green Deal è appunto la neutralità carbonica entro il 2050.

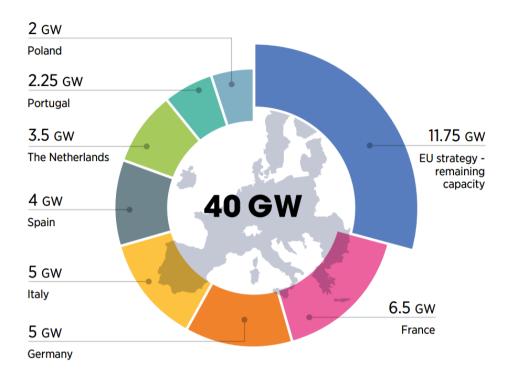


Fig. 10 – Obiettivi di capacità per la produzione di idrogeno entro il 2030 in UE. Fonte: IRENA

Negli ambiti in cui si prevede l'inserimento dell'idrogeno nei prossimi decenni, si trovano soprattutto il settore dei trasporti e quello del riscaldamento degli edifici. Tali ambiti risultano i più difficili dai quali eliminare l'utilizzo di combustibili fossili, in quanto la conversione all'energia elettrica si mostra poco efficiente o molto complicata da attuare. L'idrogeno, dunque, può condurre a nuove soluzioni. Ad esempio, oltre alle macchine elettriche, sono in studio automobili alimentate a idrogeno o ibride. I vantaggi sarebbero un più semplice stoccaggio dell'energia rispetto alle sole batterie elettriche e una più facile riconversione delle stazioni di rifornimento di benzina o diesel già presenti sul territorio a favore dell'idrogeno. Per quanto riguarda il settore degli edifici, invece, il gas naturale, utilizzato come fonte primaria per il riscaldamento, verrebbe gradualmente sostituito con l'idrogeno, riducendo al contempo le emissioni di carbonio e la dipendenza dalle importazioni estere.

Sfortunatamente, l'idrogeno non presenta solamente caratteristiche positive ma anche delle complessità da affrontare. Prima tra tutti la sua densità estremamente bassa uguale a $0.09 \, {}^{kg}/{}_{m^3}$ in

condizioni normali (1 bar e 0 °C). Essa causa difficoltà nel trasporto e nello stoccaggio, poiché per raggiungere quantità elevate occorrono pressioni molto alte, nell'ordine delle centinaia di bar, o temperature molto basse, vicine allo zero assoluto. In secondo luogo, occorre fronteggiare la densità di energia volumetrica espressa in $^{MJ}/_{m^3}$, la quale risulta essere circa tre volte inferiore a quella del metano, in conseguenza della bassa densità dell' H_2 . Attualmente, queste peculiarità mostrano problematiche nella sostituzione immediata del gas naturale a favore dell'idrogeno, in quanto le apparecchiature presenti negli edifici non sono adatte alle proprietà della nuova sostanza e ciò potrebbe causare problemi di sicurezza. Nonostante ciò, in futuro si considera la totale riconversione delle strutture odierne del gas in infrastrutture per l'idrogeno.

Anche dal punto di vista economico, al giorno d'oggi, l'idrogeno prodotto da fonti rinnovabili o da processi con incluse tecnologie di CCS risulta non ancora competitivo. L' H_2 ottenuto da fonti fossili, in Europa, si attesta ad un costo di circa $1,50 \in$ al kg, mentre negli altri casi il prezzo varia tra i 2,50 e i $5,50 \in$ al kg, anche se questi valori sono in calo. Con lo sviluppo della tecnologia e con l'economia di scala, si prevede che l'obiettivo dei $1,50 \in$ possa essere raggiunto circa tra una decina di anni, nei dintorni del 2030. Raggiunto questo traguardo, l'idrogeno rinnovabile sarebbe competitivo non solo nei confronti dell'idrogeno prodotto da fonti fossili, ma avrebbe anche un prezzo inferiore rispetto agli stessi combustibili fossili come gas naturale e benzina.

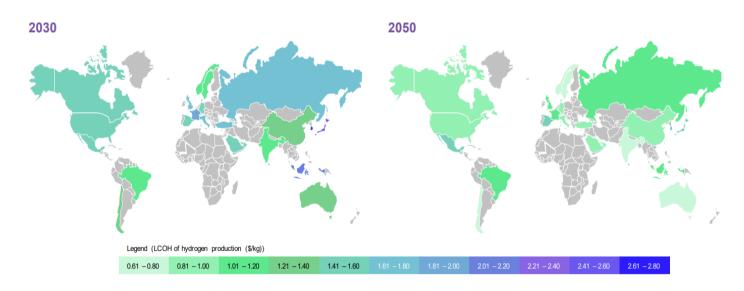


Fig. 11 -Levelized Cost of Hydrogen (LCOH), proiezioni per il 2030 e per il 2050. Fonte: BloombergNEF

In conclusione, le caratteristiche fisiche e le valutazioni economiche attuali rendono complesso l'utilizzo dell'idrogeno e più problematico il passaggio a questa risorsa. Tuttavia, l'idrogeno rimane un elemento fondamentale e molto promettente per la transizione ecologica ed il futuro dell'energia in un'ottica di azzeramento delle emissioni di carbonio.

4.7 Importazioni

Un fattore di estrema rilevanza, per quanto riguarda gli equilibri geopolitici ed energetici dell'Unione Europea, consiste nelle importazioni dei materie prime per la produzione di energia. Considerando che i territori aderenti all'UE non sono particolarmente ricchi di risorse utili alla produzione di energia, l'unica soluzione attualmente percorribile, almeno fino all'indipendenza dalle fonti fossili, risulta essere l'importazione delle materie prime. Le principali entrate di merci in abito energetico consistono in fonti fossili come combustibili solidi, petrolio e gas naturale.

Lo scambio di risorse con altre nazioni, in maggior parte con Paesi meno sviluppati, può favorire la crescita delle loro economie e permette l'instaurazione di rapporti commerciali e diplomatici con essi ma, d'altra parte, tutto ciò può evidenziare una forte dipendenza dell'Unione Europea in materia di energia nei confronti di stati esteri che talvolta mostrano poca affidabilità e poco rispetto dei valori fondanti dell'Unione. Questo rischio diventa ancora più concreto considerando le stime di energia acquistata dall'estero nel corso del 2020: il 58% dell'energia consumata nell'Unione è importata e solamente il 42% è prodotto all'interno dei confini.

I numeri delle analisi e i grafici presentati in seguito sono ricavati dalle statistiche redatte da Eurostat per l'anno 2020. I seguenti diagrammi riportano le percentuali di utilizzo di prodotti energetici in rapporto all'energia disponibile per ogni paese dell'UE.

4.7.1 Combustibili fossili solidi

Con il termine combustibili fossili solidi si intendono le diverse varietà del carbone e i suoi prodotti derivati. Nel grafico sottostante è possibile analizzare le percentuali di energia ricavata da combustibili fossili solidi rispetto all'energia totale dei Paesi stessi.

Share of energy products in total energy available, 2020 (in %)

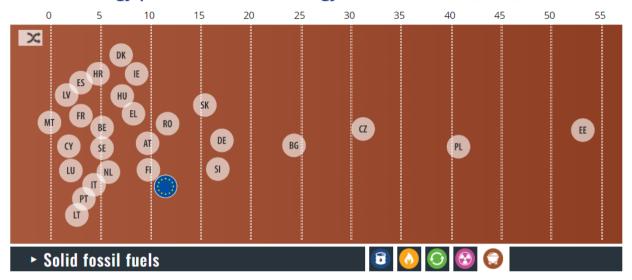


Fig. 12 – Percentuale di energia ricavata da combustibili fossili solidi rispetto a quella totale dei Paesi UE nel 2020. Fonte: Eurostat

La media europea si colloca all'incirca al 11,5% per l'utilizzo di energia prodotta da combustibili fossili solidi ma, come si può notare, anche in questo caso i valori dei diversi stati sono molto diversi tra loro. Per esempio, Malta non importa e non utilizza per nulla combustibili fossili solidi, in quanto questa risorsa non è contemplata nel mix energetico nazionale. L'Estonia, al contrario, ne richiede per il 53% della sua energia totale. Questa elevata percentuale è coperta in parte dalle importazioni dalla Russia e in parte dalle proprie riserve nazionali. Una situazione analoga è presente in Polonia. La Polonia, infatti, consuma una gran percentuale di carbone nel suo mix energetico e sebbene sia anche un'esportatrice di questo prodotto, in parte è costretta ad importarlo da territori al di fuori dei confini dell'UE, soprattutto da Russia, Australia e Colombia.

In Italia la percentuale relativa all'utilizzo di carbone è molto ridotta, solo del 4,4%. La quasi totalità dei combustibili fossili solidi provengono dalla Federazione Russa, dagli Stati Uniti e dal Sud America. Le esportazioni di queste materie prime per il nostro Paese sono quasi nulle.

Come si può constatare dal diagramma, gli stati che fanno maggiore affidamento sulle fonti fossili solide sono quelli appartenenti all'Europa orientale, nella quale la vicinanza di un grande esportatore come la Russia e la presenza del materiale anche all'interno del proprio territorio hanno favorito l'utilizzo su larga scala di questa specifica risorsa. I Paesi con un'economia più grande, al contrario, preferiscono l'importazione di petrolio o gas naturale, anche per una questione di minore impatto ambientale.

Un'altra caratteristica peculiare delle fonti fossili solide e dei loro prodotti derivati è la relativa uniformità dei giacimenti; le miniere di carbone, infatti, si trovano in tutto il mondo, sebbene in quantità e qualità differenti. Si può quindi sostenere che molti stati europei abbiano, seppure in misura limitata, una riserva di carbone e per questo motivo le importazioni siano tutto sommato ridotte. Lo stesso discorso non vale per il gas naturale e specialmente per il petrolio.

4.7.2 Petrolio

Il petrolio è la risorsa più importante per la produzione di energia non solo in Europa ma in tutto il mondo. Nell'immagine riportata di seguito è subito evidente come le percentuali relative all'utilizzo del petrolio nella produzione di energia nei paesi appartenenti all'Unione Europea sia più elevata rispetto ai combustibili fossili solidi.

Share of energy products in total energy available, 2020 (in %)



Fig. 13 – Percentuale di energia ricavata dal petrolio rispetto a quella totale dei Paesi UE nel 2020. Fonte: Eurostat

È interessante notare come le nazioni più dipendenti da questa risorsa siano le due isole di piccole dimensioni, Cipro e Malta, con percentuali oltre l'85%. Ciò può essere dovuto al facile trasporto del petrolio attraverso grandi navi e alla posizione geografica favorevole delle due nazioni, facilmente raggiungibili dal nord Africa, trovandosi nel sud del Mediterraneo. A seguire si trova il Lussemburgo, un altro stato di piccole dimensioni e molto dipendente dalle fonti fossili.

Il paese con minore utilizzo di petrolio è l'Estonia con solo il 5,2%, ciò è dovuto alla sua grande dipendenza da un'altra fonte: il carbone. Per i restanti Paesi la percentuale si aggira tra il 20% e il 50%, con le principali economie dell'Unione, tra cui Germania, Francia e Italia, tra il 30% e il 35%. Su quest'ultimi valori si attesta anche la media della dipendenza dal petrolio europea. Per questo tipo di fonte la dipendenza dell'UE tocca il valore percentuale maggiore, esattamente 34,5%. Le importazioni totali di petrolio nel 2020 dei paesi membri dell'UE ammontano a 18.675 PJ. Il che rende questa risorsa energetica la più importata nella Comunità Europea.

La situazione dell'Italia, come già detto, è simile alla media UE. Nel corso del 2020 il nostro Paese ha importato 65.419,1 migliaia di tonnellate di petrolio. Le principali importazioni provengono da Azerbaijan (15,3%), Arabia saudita (12,6%), Iraq (13,3%), Federazione Russa (12,5%) e in parte minore anche dalla Libia (5,9%). La restante percentuale si divide fondamentalmente tra alcuni stati Nord Africani e altri stati Sud Americani.

Considerando l'insieme di tutti i Paesi membri dell'Unione Europea, i principali esportatori di petrolio dai quali ci si approvvigiona con maggiori quantità sono la Federazione Russa, la Norvegia, gli Stati Uniti e il Medioriente. Alcuni dei Paesi con i maggiori traffici commerciali con l'Unione Europea, tuttavia, talvolta mostrano una situazione politica precaria e le loro forniture non sono considerate del tutto affidabili. Ciò rende problematica la forte dipendenza dell'Europa dal petrolio e dalle fonti fossili in generale.

4.7.3 Gas naturale

Nel grafico seguente è illustrata la dipendenza degli stati europei dal gas naturale. Da esso si comprende come la percentuale di gas utilizzato per la produzione di energia è altamente variabile a seconda di quale nazione si stia analizzando.

Share of energy products in total energy available, 2020 (in %)



Fig. 14 – Percentuale di energia ricavata dal gas naturale rispetto a quella totale dei Paesi UE nel 2020. Fonte: Eurostat

Ovviamente i Paesi citati in precedenza come maggiori utilizzatori di fonti fossili solide e petrolio presentano percentuali esigue per quanto riguarda l'uso di gas naturale. La media UE si attesta poco al di sotto del 25%.

Un dato particolare, in questo caso, consiste nel fatto che le maggiori economie europee non sono allineate, come in precedenza abbiamo osservato per il petrolio. La Francia utilizza il gas solo per il 16% della sua produzione totale di energia, la Germania per il 26% e l'Italia, prima in questa classifica, ne utilizza oltre il 40%.

Tale condizione del nostro Paese è dovuta a diversi motivi. Prima di tutto, avendo rifiutato l'utilizzo del nucleare e non essendo ai primi posti per l'utilizzo delle fonti rinnovabili, inevitabilmente ha dovuto considerare il gas come alternativa. Un'altra ragione consiste nella posizione che l'Italia occupa in Europa. Essa, infatti, può ottenere facilmente grandi quantità di gas naturale dalla Federazione Russa, attraverso un sistema di gasdotti e allo stesso tempo può comprare questa preziosa materia prima anche da alcuni stati del Nord Africa, tra cui Libia e Algeria. Questa elevata dipendenza dal gas, come approfondito in seguito nel testo, può sfortunatamente trasformarsi in una criticità strategica per l'Italia stessa, in caso di conflitto o contrasto con i governi delle nazioni fornitrici.

Considerando i Paesi di tutta l'UE, le importazioni di gas naturale più importanti provengono dalla Federazione Russa (oltre il 40%), soprattutto se si considera la parte orientale dell'Europa. La restante

parte è colmata principalmente da Nord Africa e Medioriente. Nel complesso, secondo dati Eurostat, nel corso del 2020 l'Unione ha importato un corrispettivo di 13.786 PJ di gas naturale. Il che rende il gas la seconda risorsa naturale importata nell'Unione per fini energetici.

4.8 Emissioni di gas climalteranti

Il problema delle emissioni dei gas serra è una questione di cruciale importanza alla quale l'Unione Europea sta cercando di porre rimedio attraverso l'attuazione di politiche volte alla tutela ambientale e alla conseguente riduzioni delle emissioni, soprattutto di CO2, ma anche di altri gas nocivi per l'atmosfera. A maggio 2022 la concentrazione di anidride carbonica in atmosfera ha superato la soglia delle 420 ppm, raggiungendo il valore di 421,13 ppm come rilevato dall'osservatorio di Mauna Loa. Il progressivo aumento a livello globale delle emissioni di gas climalteranti sta provocando diverse conseguenze. Prima tra tutte quella relativa all'incremento delle temperature e al cambiamento climatico. Al giorno d'oggi è ormai ben chiaro quali siano le cause dell'aumento delle temperature e, a questo punto, gli sconvolgimenti nel clima e il surriscaldamento globale sono un fatto constatato nel corso degli ultimi decenni. Grazie a molti studi condotti su questo argomento, si sono conosciute a fondo anche le conseguenze di questi fenomeni. Le principali consistono nell'innalzamento del livello dei mari, nel verificarsi sempre più spesso di calamità naturali estreme come alluvioni e siccità, dovute rispettivamente alla troppa abbondanza o all'assenza di precipitazioni, la maggior frequenza di uragani nelle zone tropicali e l'estinzione di varie specie vegetali e animali, non più in grado di sopravvivere nel loro habitat a causa di un clima sensibilmente diverso. Questi sono soltanto alcuni degli effetti che le conseguenze dello sviluppo irresponsabile dell'uomo hanno generato sull'ambiente.

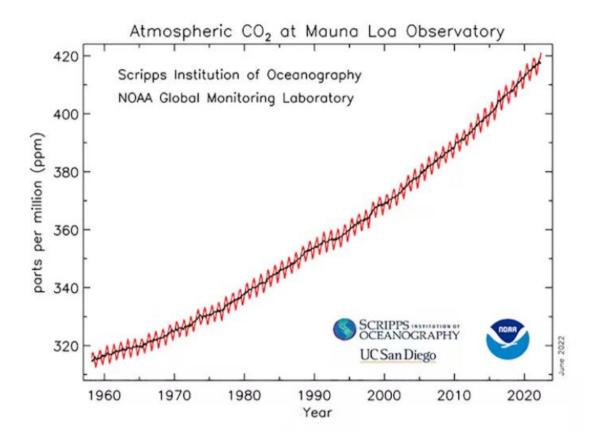


Fig. 15 – L'andamento delle rilevazioni di CO2 presso l'osservatorio di Mauna Loa. Fonte: NOAA

Ovviamente non è pensabile poter azzerare nel giro di poco tempo tutte le emissioni dei gas nocivi e i loro effetti; allo stesso modo è anche irrealistico credere che i consumi causati dalla produzione di beni ed energia necessari per lo sviluppo delle economie possano ridursi o addirittura arrestarsi a livello globale. È più credibile ipotizzare e studiare scenari futuri più plausibili che abbiano certamente come obiettivo quello di ridurre consumi ed emissioni, ma in modo realistico e senza prevedere un'improvvisa frenata dello sviluppo dell'economia globale.

Innanzitutto, prima di andare ad analizzare la situazione dell'Unione Europea in materia di emissioni, occorre individuare quali sono i principali gas responsabili dei danni all'ambiente e delle alterazioni nei confronti del clima.

4.8.1 Principali gas climalteranti

I principali gas climalteranti sono riportati e descritti nell'elenco seguente:

- Anidride carbonica (CO₂):

L'anidride carbonica è un gas incolore e inodore, prodotto dalla combustione nel carbonio. È la principale sostanza incriminata per l'innalzamento delle temperature e per l'effetto serra. La sua concentrazione in atmosfera è strettamente legata alla temperatura media globale. Il GWP (Global Warming Potential) è un indicatore che esprime attraverso una cifra l'apporto di una sostanza nel fenomeno dell'effetto serra. Esso considera l'impatto e la durata di permanenza nell'atmosfera di un gas. Il GWP della CO₂ equivale a 1, poiché tale sostanza è presa come modello di riferimento.

- Metano (CH₄):

Il metano appartiene alla categoria degli idrocarburi. Anch'esso è considerato un gas climalterante a causa delle sue caratteristiche e il suo GWP è considerato essere uguale a 28, secondo il Greenhouse Gas Protocol. In atmosfera è presente in concentrazioni minori rispetto all'anidride carbonica, ma i suoi effetti risultano più dannosi.

- Ossido di diazoto (N₂0):

L'ossido di diazoto o ossido nitroso, è un gas analgesico ed esilarante. Questa sostanza è utilizzata nei motori a combustione interna e come propellente per razzi. Il GWP di tale gas è pari a 265.

- Clorofluorocarburi (CFC):

Con questo termine si indica un insieme di sostanze chimiche inodori, incolori ed infiammabili. Il loro utilizzo principale in passato consisteva nella refrigerazione e nella produzione di aerosol. Sebbene le quantità di CFC presenti in atmosfera siano minime, il loro GWP varia da poche migliaia ad oltre diecimila. Risultano, quindi, essere gas molto pericolosi per il surriscaldamento globale ed, in passato, anche per il fenomeno della formazione del "buco nell'ozono".

- Perfluorocarburi (PFC):

I perfluorocarburi sono sostanze chimiche considerate tossiche, tuttavia ancora presenti in alcuni oggetti di uso quotidiano. La loro immissione in atmosfera è molto dannosa in quanto il GWP di questi composti si aggira negli intorni di diecimila.

- Esafluoruro di zolfo (SF₆):

È un gas inerte, poco reattivo e non tossico. Il suo utilizzo è molto diversificato nei vari settori industriali, dall'edilizia alla metallurgia. Tale composto presenta il potenziale di riscaldamento globale più alto (23.500) e per questo motivo il suo rilascio in atmosfera risulta estremamente pericoloso.

4.8.2 Principali gas nocivi per l'ambiente

I gas nocivi per l'ambiente più significativi vengono illustrati tramite l'indice sottostante:

- Ossidi di zolfo (SO_x) :

Questi composti dello zolfo, principalmente SO₂ e SO₃, sono gas incolori e solubili in acqua. La loro formazione è originata dall'ossidazione dello zolfo nella combustione di carburanti contenenti questo tipo di impurità. I danni principali consistono nell'acidificazione dell'acqua e nel fenomeno delle piogge acide, con tutte le loro conseguenze.

- Ossidi di azoto (NO_x):

L'inquinante principale è il biossido di azoto. Esso è un gas irritante, con un impatto dannoso sull'uomo e sulla vegetazione. Gli NO_x vengono prodotti dall'uomo attraverso la combustione ad alte temperature, per esempio nelle camere di combustione industriali e nei motori termici dei veicoli.

- Monossido di carbonio (CO):

È un gas incolore e insapore tossico per l'uomo. La sua pericolosità consiste nell'intossicazione se inalato oltre certe concentrazioni. La sua origine in natura è imputabile a combustioni naturali come grandi incendi o eruzioni vulcaniche, mentre la sua provenienza antropogenica deriva dalla combustione in condizioni di carenza di ossigeno. Per questa

sostanza il danno inflitto all'ambiente e alla vegetazione è ridotto se paragonato a quello causato all'uomo.

- Particolato (PM):

Con il termine particolato si intendono le sospensioni in atmosfera di polveri con grandezza variabile. La pericolosità per l'uomo è determinata dell'inalazione di micro polveri che possono causare danni all'apparato respiratorio, mentre il danno per l'ambiente consiste nello sporcamento del suolo e della vegetazione. Il PM (particulate matter) è originato prevalentemente dalla combustione di combustibili fossili e dallo sfregamento di materiali antropici di vario genere.

- Benzene (C_6H_6) :

È una sostanza incolore, volatile e molto infiammabile, appartenente alla categoria degli idrocarburi. Il benzene è considerato come una sostanza capace di favorire lo sviluppo di tumori e leucemie. Esso è la componente principale degli idrocarburi e dei carburanti.

4.8.3 Situazione dell'Unione Europea

Nell'immagine sottostante sono riportati i dati relativi alle emissioni di gas serra dell'intera Unione Europea, dal 1990 al 2019. Il grafico, redatto dall'Agenzia Europea dell'Ambiente, include i dati dell'aviazione internazionale ma esclude il calcolo dei valori relativi alla produzione indiretta di CO₂, all'uso del terreno e alla silvicoltura. Sull'asse delle ordinate sono riportate le emissioni attraverso un indice che paragona, attraverso una percentuale, la quantità di gas serra rilasciata ad ogni anno in rapporto al 1990. Esso, dunque, individua un valore in grado di confrontare i livelli di emissione dei diversi anni presi in analisi dalla statistica. Il valore delle emissioni del 1990, in UE, risulta essere di 4.687 milioni di tonnellate di CO₂ equivalenti e la percentuale è uguale al 100%. Di conseguenza, conoscendo gli indici degli anni successivi, è possibile individuare l'andamento delle emissioni nel corso di quasi tre decenni.

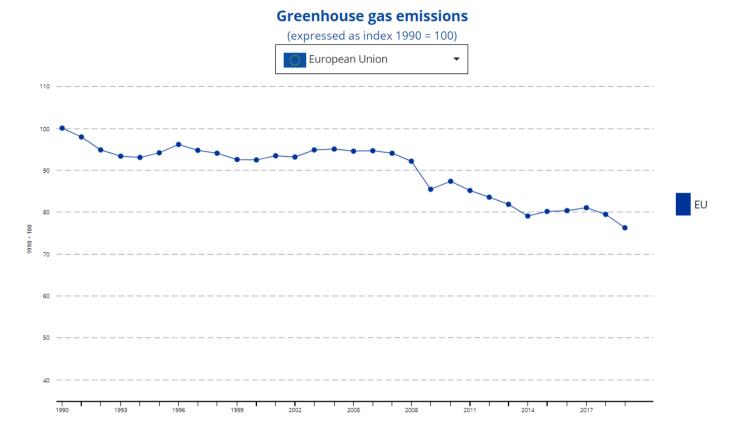


Fig. 16 - Emissioni di gas serra dal 1990 al 2019 dell'UE. Fonte: Agenzia Europea dell'Ambiente

Come si può osservare, le emissioni di gas climalteranti a livello europeo sono state ridotte nel corso degli anni. A partire dal 1990 si registra una debole decrescita fino al 1995, anno in cui le emissioni aumentano di qualche punto percentuale. Fino al 2008 il rilascio di gas serra rimane circa costante, con soltanto qualche lieve oscillazione. Una significativa riduzione si verifica nel 2009, a seguito della grave crisi economica esplosa l'anno precedente. Come abbiamo già analizzato in precedenza, anche le emissioni di gas climalteranti si comportano in modo analogo ai consumi energetici; essi, infatti, sono due fenomeni strettamente connessi e la loro brusca decrescita è correlata al verificarsi di eventi drammatici globalmente rilevanti. In seguito, dopo una breve ripresa nel 2010, le emissioni sono in calo fino al 2014. Da quell'anno si registra una crescita, seppur molto ridotta. Ciò indica la ripresa dell'economia europea. Gli ultimi due anni analizzati dalla statistica riportano una nuova riduzione della produzione di gas serra. In conclusione, come facilmente individuabile dal grafico, dal 1990 al 2019 la contrazione delle emissioni in UE, anche a fronte di una crescita economica, è stata pari al 24%, con l'emissione nel 2019 di 3.497 milioni di tonnellate di CO₂ equivalenti. Nell'anno successivo, anche se non visibile nell'immagine, la decrescita delle emissioni è stata ancora più brusca, con un calo, sempre secondo fonti Eurostat, di oltre il 33% rispetto ai livelli di riferimento

del 1990. Ciò è ovviamente dovuto alla diffusione della pandemia di COVID-19 che ha ridotto drasticamente i consumi e di conseguenza la quantità delle emissioni.

In relazione alla provenienza dei gas climalteranti, in Figura 17 è possibile individuare da quali settori hanno origine le emissioni dei gas responsabili del surriscaldamento globale prodotti in Unione Europea.

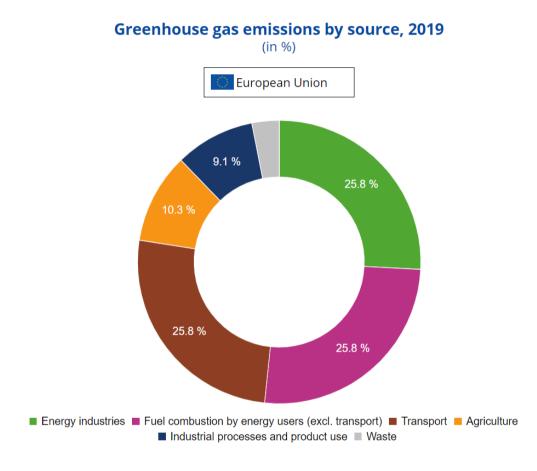


Fig. 17 – Emissioni di gas serra per settore nel 2019. Fonte: Agenzia Europea dell'Ambiente

In UE ci sono tre settori principali responsabili della maggior parte del rilascio di gas in atmosfera: il settore dell'industria energetica, il campo della combustione di carburanti per usi energetici (riscaldamento e produzione di calore) e il ramo del trasporto. Nel corso del 2019, secondo i dati raccolti ancora una volta da Eurostat, questi tre settori hanno avuto il medesimo impatto condividendo la stessa percentuale pari al 25,8%, cioè corrispondente a circa 902 milioni di tonnellate di CO₂ equivalenti. Da soli, essi sono la causa di oltre i tre quarti delle emissioni di gas serra. Nel diagramma a torta sono anche presenti il settore agricolo e il campo dei processi industriali e dell'utilizzo dei prodotti. Essi rispettivamente impattano per il 10,3% e il 9,1% sul totale. Infine, la restante porzione di emissioni è occupata dalla gestioni dei rifiuti (3,2%).

4.9 Le conseguenze del COVID-19

Un evento che ha cambiato il modo di gestire le risorse energetiche in Europa e che merita di essere approfondito è certamente il COVID-19. Con lo scoppio della pandemia nel nostro continente, all'inizio del 2020, il settore energetico e tutti i mercati globali più in generale, hanno subito un brusco sconvolgimento.

4.9.1 Evoluzione dei consumi

I primi mesi del 2020 sono stati un periodo di estrema incertezza sotto molti punti di vista, i mercati energetici mondiali non hanno fatto eccezione. Con l'obbligo di quarantena e il susseguirsi dei lockdown imposti dai governi di quasi tutti i Paesi europei, la domanda di energia è calata drasticamente, riducendo al contempo le emissioni. Ciò ha determinato la sovrabbondanza di alcune risorse come gas, petrolio e carburanti. La vasta disponibilità di materie prime ha portato ad un repentino calo dei prezzi, in quanto i consumi di tali risorse sono drasticamente calati. Secondo la Global Energy Review del 2020, rilasciata dall'IEA, a metà aprile la domanda settimanale media di energia nei Paesi in stato di completo lockdown, considerando tutto il mondo, è diminuita del 25%, mentre negli stati in lockdown parziale il calo risulta essere del 18%.

Contemporaneamente alla riduzione dell'utilizzo delle fonti fossili, si è verificato un aumento di circa il 7% della generazione di potenza da fonti rinnovabili. In concreto, la domanda di energia elettrica durante il COVID-19 è stata nettamente inferiore rispetto alle condizioni pre-pandemia e ciò ha permesso di coprire tale richiesta di elettricità con una percentuale maggiore prodotta da fonti rinnovabili. In sostanza, l'energia rinnovabile è aumentata in percentuale nel mix energetico europeo, toccando valori record in Italia e in altri paesi, non solo europei.

Un'altra conseguenza in ambito energetico legata alla diffusione del virus è stata la digitalizzazione del mondo del lavoro. Questa nuova tendenza, resa inizialmente necessaria dalla pandemia, ha continuato la sua diffusione anche al termine delle restrizioni sugli spostamenti. Tale fenomeno è principalmente dovuto al fatto che le aziende hanno riscontrato, attraverso studi specifici sull'argomento, una riduzione dei costi relativi alla gestione dei luoghi di lavoro. Infatti, evitando la presenza del personale in ufficio per i compiti che possono essere svolti efficacemente anche da remoto, le imprese risparmiano sulle risorse, specialmente su quelle energetiche come elettricità e riscaldamento. Allo stesso tempo, anche il lavoratore ne trae vantaggio; non dovendo più recarsi sul

luogo di lavoro, risparmia tempo e soprattutto può evitare gli spostamenti quotidiani tra casa e lavoro, riducendo i costi e le emissioni relativi al viaggio. Questa nuova concezione del lavoro, quindi, può rivoluzionare la domanda di energia degli utenti dei Paesi sviluppati. La richiesta di carburante per il trasporto e la quantità di gas utilizzata per il riscaldamento di grandi sedi aziendali potrebbero diminuire. D'altra parte, di conseguenza, è possibile che i consumi di energia elettrica di ogni abitazione aumentino. Il che porta ad una parziale trasformazione del fabbisogno energetico, in quanto una crescita della domanda di elettricità potrebbe essere coperta, se non nell'immediato quantomeno in futuro, dall'installazione di nuove fonti rinnovabili o da moderni impianti di generazione elettrica con minore impatto ambientale, mentre una probabile riduzione dei consumi di energia fossile, tra cui petrolio, gas e benzina, porterebbe ad un calo delle emissioni di gas nocivi per l'ambiente.

Tutte le conseguenze legate alla pandemia, riportate in precedenza, inducono a pensare che le statistiche relative ai consumi di energia e al rilascio di emissioni in atmosfera relative al 2020 siano fortemente influenzate da questo grave avvenimento. In sostanza, quindi, bisogna tenere in considerazione che il repentino calo dei consumi e dell'emissione di gas serra non sia dovuto, se non solo in piccola parte, all'efficacia delle politiche attuate dall'Unione Europea e che tutti questi dati possono essere poco significativi per identificare un trend preciso. È infatti ipotizzabile che negli anni seguenti verrà registrata una nuova crescita sia dei consumi che delle emissioni a causa di una rapida ripresa economica. Risulta, dunque, necessario contestualizzare questo tipo di informazioni e saperle interpretare in un'ottica più ampia che comprenda le cause che le hanno generate.

4.9.2 Evoluzione delle emissioni globali

Il seguente grafico, redatto dall'IEA, rappresenta l'andamento globale delle emissioni di CO₂ correlate alla produzione di energia. Come si può notare, solitamente la produzione di biossido di carbonio tende ad aumentare nel tempo ad eccezione di quando si verificano eventi di rilevanza globale come intense crisi finanziarie, collassi del mercato del petrolio, gravi conflitti o, in generale, avvenimenti drammatici con conseguenze su scala mondiale. Nel caso preso in analisi, l'epidemia di COVID-19, l'emissione di anidride carbonica si è ridotta di oltre 2,5 Gt rispetto all'anno precedente, durante il quale sono state emesse approssimativamente 38 Gt di CO₂. Ciò rappresenta un calo di circa il 7%. Pur considerando la diversa quantità di gas emesso a metà del secolo scorso, stimato intorno alle 5,1 Gt, le conseguenze di questo evento sono quasi paragonabili a quelle della Seconda Guerra Mondiale, durante la quale le emissioni diminuirono per più di 1 Gt, cioè circa del 20%. Ad

ogni modo si può affermare con certezza che nessun evento dopo la guerra ha avuto conseguenze simili a quelle generate dalla recente pandemia.

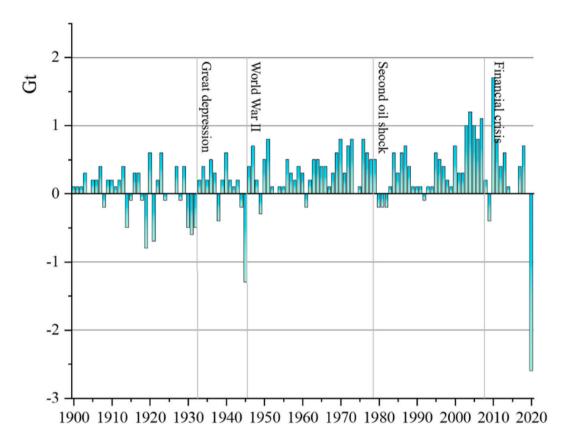


Fig. 18 - Variazione annuale delle emissioni globali di CO₂ relative alla produzione di energia dal 1900 al 2020. International Energy Agency, 2020.

4.9.3 Effetti sulle fonti rinnovabili

Come già riportato in precedenza, oltre alla riduzione delle emissioni e dei consumi durante il periodo di quarantena dovuto alla pandemia, anche il mercato energetico è stato coinvolto da bruschi cambiamenti tra cui una drastica riduzione del costo dell'energia. Il prezzo dell'elettricità prodotta da fonti rinnovabili non ha fatto eccezione.

Uno studio Eurostat riporta che nel corso del 2020 la produzione di energia elettrica in Unione Europea è stata generata per circa il 36% da fonti fossili come carbone, petrolio e gas naturale. Sempre nella durata dello stesso anno, secondo il già citato ente statistico, la produzione di energia da fonti rinnovabili, per un limitato periodo di tempo, ha superato per la prima volta in assoluto quella ottenuta da fonti fossili. Considerando che la percentuale di energia totale prodotta da fonti rinnovabili in UE si attesta intorno al 22% del portfolio energetico europeo, si può affermare che l'obiettivo della

Renewable Energy Directive emanata nel 2009 è stato raggiunto. Questo grande traguardo è stato ottenuto principalmente grazie alla grande crescita del fotovoltaico e dell'eolico, oltre al contributo del già sviluppato settore idroelettrico. Ovviamente, per raggiungere gli obiettivi imposti dal Green Deal per il 2030 e per il 2050, i soli campi del fotovoltaico e dell'eolico non saranno sufficienti, ma sarà necessario lo sviluppo di altri settori come quello dei biocarburanti, quello geotermico e soprattutto di quello della fusione nucleare.

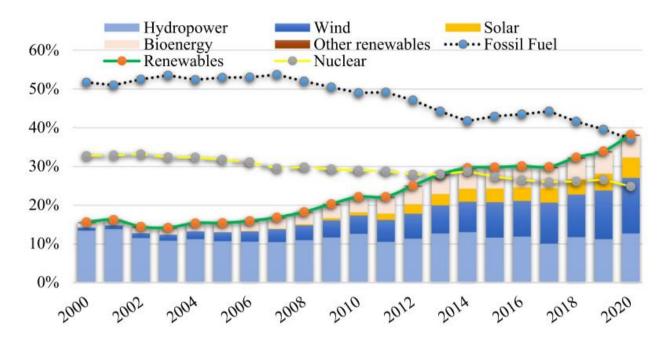


Fig. 19 - Mix della generazione elettrica nei paesi UE dal 2000 al 2020. Fonte: Eurostat e Ember (Sandbag Climate Campaign)

Dalla Figura 19 è possibile osservare come nel corso degli ultimi anni la diffusione e la crescita del fotovoltaico e dell'eolico siano significative. Tale sviluppo ha permesso di raggiungere nel 2020 una percentuale di produzione di elettricità da fonti rinnovabili vicina al 40% con la conseguente diminuzione dell'utilizzo di fonti fossili.

Per quanto riguarda il fotovoltaico nello specifico, durante questo periodo complicato, si è registrato il costo più basso dell'energia proveniente da questa risorsa mai raggiunto nella storia. Ciò ha reso tale tecnologia molto competitiva, anche nei confronti dei tradizionali impianti a combustibili fossili. Come si può facilmente immaginare, nel corso del 2020, anche l'installazione di nuovi impianti fotovoltaici, al pari di ogni altro tipo di impianto per la produzione di energia, ha subito dei rallentamenti dovuti alla carenza di personale tecnico e di una mancanza di risorse reindirizzate dal governo ad altre priorità, per esempio alla gestione dell'emergenza e al settore sanitario.

Un comportamento analogo è stato osservato per l'energia eolica. Anche per questa tipologia di fonte rinnovabile è stato rilevato un aumento percentuale della produzione in relazione al mix energetico europeo, inoltre i costi dell'elettricità prodotta sono stati più bassi rispetto agli anni precedenti.

4.10 Le conseguenze del conflitto in Ucraina

Un altro evento che negli ultimi tempi ha sconvolto l'intera Europa è la recente invasione dell'Ucraina da parte della Federazione Russa. Questo evento drammatico, cominciato nel febbraio del 2022 e tuttora in corso, è avvenuto solamente a pochi mesi di distanza dalle ondate più critiche del COVID-19, destabilizzando ulteriormente i governi e le risorse di gran parte dei paesi europei. Oltre ad aggravare la situazione economica, lo scoppio della guerra ha colpito in maniera diretta, in modo ancora maggiore rispetto alla pandemia, il settore energetico. La maggior parte dei Paesi del continente europeo, infatti, si rifornisce di gas naturale e di petrolio proprio dalla Russia. I flussi di fonti fossili, a seguito delle sanzioni internazionali imposte dall'Unione Europea alla Federazione Russa, si sono ridotti drasticamente con il trascorrere dei mesi. Di conseguenza, la dipendenza energetica dei paesi europei nei confronti della Federazione Russia è diventato un problema di cruciale importanza.

Tra il febbraio del 2021 e quello del 2022 il prezzo del gas naturale è salito da 20 ad 80 €/MWh, cioè da poco più di 20 ad 87,5 c€/Smc, con picchi anche di 180 €/MWh. Le conseguenze non hanno riguardato solo il settore del gas, anche la produzione di energia elettrica in Europa ha risentito di questo aumento dei prezzi, essendo questa forma di energia prodotta in UE in media ancora per circa il 30% da fonti fossili. Tuttavia, questa percentuale varia molto a seconda del paese analizzato, il che spiega l'aumento in maniera più consistente del costo dell'elettricità in alcuni stati piuttosto che in altri. L'Italia, per esempio, è molto dipendente dal gas russo e per questo motivo i rincari energetici ne hanno risentito in forma maggiore.

La multinazionale Gazprom, controllata dal governo della Federazione Russa, dall'inizio del 2022 ha ridotto e, in alcuni casi anche fermato, il transito di gas naturale verso i Paesi europei tra cui Polonia, Bulgaria, Finlandia e ovviamente l'Ucraina. Diminuendo l'afflusso di questa risorsa nei condotti delle nazioni elencate, il gas ha raggiunto in quantità sempre minore il resto dell'Unione Europea durante l'estate del 2022. Questo fenomeno è la principale causa dell'aumento dei prezzi e della crescita dell'apprensione internazionale. Il gas e il petrolio russo, quindi, si sono trasformati in una risorsa strategica che il governo di Mosca utilizza per indebolire il supporto europeo nei confronti del popolo ucraino.

Un'altra problematica da considerare, nell'ottica del conflitto ucraino, è la tipologia di entrate del governo russo. La Federazione Russa, infatti, finanzia la guerra principalmente attraverso i proventi della vendita di materie prime, tra cui specialmente gas e petrolio. Secondo il portale di notizie Rainews, l'export russo legato al settore dell'energia ammonta ad una cifra pari al 53,8%. Una somma di denaro enorme se si considera che le intere esportazioni russe sono stimate intorno al valore di 400 miliardi, con ben 23,7 miliardi solamente per quanto riguarda l'Italia.

Proprio per questa ragione i Paesi europei hanno optato per una riduzione dell'importazioni di risorse energetiche dalla Federazione Russa. Una grande mossa strategica consiste nell'embargo da parte dell'UE del petrolio proveniente dal territorio russo. Questo pacchetto di sanzioni, approvato ad inizio giugno 2022, prevede lo stop all'importazione del 90% del petrolio entro la fine dello stesso anno. L'acquisto del restante 10% è permesso, eccezionalmente, ad Ungheria, Slovacchia e Repubblica Ceca a causa della loro forte dipendenza di questa risorsa energetica.

Nell'immagine seguente è riportato l'andamento del prezzo del gas naturale nel corso degli ultimi due anni in Italia. Il grafico, redatto dall'IntercontinentalExchange (ICE), mostra l'indice PSV, cioè di Punto di Scambio Virtuale. Tale parametro definisce il prezzo del gas all'ingrosso, al quale successivamente i fornitori possono applicare una cifra aggiuntiva per gli utenti finali relativa al trasporto e alla distribuzione.

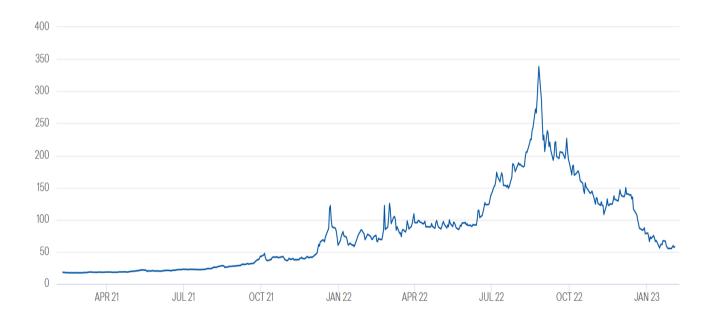


Fig. 20 – Andamento prezzo del gas naturale in c€/Smc. Fonte: IntercontinentalExchange (ICE)

L'indice che evidenzia in modo chiaro l'incremento del prezzo del gas è proprio il PSV. Dall'andamento di quest'ultimo possiamo osservare come dalla fine del periodo più critico relativo alla pandemia, dal febbraio del 2021, il prezzo sia aumentato inizialmente in modo graduale. Nel corso dell'autunno successivo il costo comincia a lievitare sensibilmente e nei mesi antecedenti all'inizio del conflitto il valore di uno Smc di gas è soggetto a forte instabilità, con picchi e crolli. Nel marzo 2022, il mese successivo all'inizio dell'invasione, si registra un nuovo picco. Il prezzo supera i 135 c€/Smc. Nella primavera seguente il costo del gas tende lievemente a diminuire fino a maggio. Da giugno si verifica un'altra impennata dei prezzi, questa volta ancora più consistente. Ciò è dovuto alle sanzioni inflitte da parte dell'Unione Europea alla Federazione Russa. Proprio in questo mese, infatti, l'UE ha approvato lo stop dell'importazione del petrolio russo, oltre alle restrizioni economiche precedentemente imposte. Durante tutta l'estate si assiste ad un continuo aumento del costo del gas, una crescita dei prezzi senza precedenti. Ad agosto si raggiunge la cifra di quasi 350 c€/Smc, cioè un aumento rispetto ai primi mesi del 2021 del 1300%. In sostanza il prezzo è aumentato di quasi 14 volte. Nei mesi successivi, sebbene l'arrivo dell'autunno abbia incrementato la domanda di gas, il prezzo è sceso considerevolmente, fino ad arrivare a valori di poco maggiori a 50 c€/Smc nel mese di gennaio 2023. Questo calo può essere considerato il frutto delle sanzioni e del 'price cap' stabilito a 180 €/MWh, approvato a fine dicembre 2022 dall'UE per l'acquisto di gas russo.

Di seguito è anche riportato il grafico relativo al prezzo dell'energia elettrica in €/MWh, tratto dal GME. Anche in questo caso è evidente l'aumento dei prezzi dell'elettricità in seguito allo scoppio del conflitto e dell'imposizione delle sanzioni europee.

Come si può facilmente notare, il costo dell'elettricità segue di pari passo la variazione del prezzo del gas naturale, imitandone il trend, i picchi e le valli. Ad agosto 2022 il prezzo medio mensile dell'elettricità, indicato attraverso il PUN (Prezzo Unico Nazionale), ha raggiunto i 543 €/MWh, con picchi fino a 558 €/MWh. Questi valori mostrano un aumento di oltre l'800% rispetto al prezzo mensile medio di inizio 2021. Anche nel caso dell'elettricità, con l'arrivo dell'inverno e con l'applicazione delle sanzioni nei confronti della Federazione Russa, il prezzo è sceso al di sotto dei 200 €/MWh, a circa 180 €/MWh. Tali valori, seppur più bassi rispetto a quelli degli ultimi mesi, risultano comunque elevati se comparati a quelli precedenti al conflitto e alla pandemia.

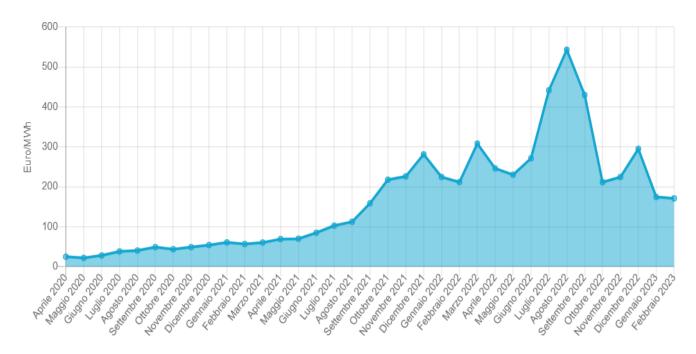


Fig. 21 – Andamento del mercato elettrico in €/MWh. Fonte: Gestore dei Mercati Energetici

La progressione di tutti questi eventi mostra come la presenza di risorse naturali in un luogo piuttosto che in altro possa influenzare pesantemente la politica energetica di un intero continente. Inoltre, questa successione di eventi drammatici ha mostrato come le politiche in ambito energetico adottate dall'Unione Europea fino ad ora siano risultate insufficienti e non del tutto adeguate, tanto che la guerra ha mostrato con chiarezza la dipendenza dei Paesi europei dalle potenze straniere, spesso non affidabili e poco inclini alla risoluzione pacifica dei conflitti.

Da questi recenti avvenimenti e dalle circostanze da essi generati, la sfida che si pone l'Unione Europea è quella di programmare una politica energetica comune che prevarichi gli interessi delle singole nazioni, a favore del raggiungimento dell'indipendenza energetica nei confronti dei Paesi esteri. Questa via può essere percorsa attraverso ampi investimenti che assicurino la diffusione delle moderne fonti rinnovabili e la garanzia di sostenibilità di fonti già presenti sul territorio come quella nucleare. Per la valutazione di modelli e scenari futuri relativi al portfolio energetico dell'Europa, è bene considerare anche la possibilità che eventi come quelli descritti in precedenza, sebbene spiacevoli e non graditi, possano ripetersi. Soprattutto occorrerà valutare con molta attenzione tutte le possibili conseguenze e le implicazioni che questi accadimenti possono portarsi dietro, nel breve e, soprattutto, nel lungo periodo.

5 Situazione energetica dell'Italia

Dopo aver esaminato il quadro generale inerente al consumo di energia e all'emissione di gas serra in Unione Europea, da ora l'analisi si concentra in modo più approfondito sulla situazione del nostro Paese. L'Italia, essendo un membro dell'Unione Europea, aderisce a tutte le leggi e a tutte le norme vigenti all'interno dei confini dell'Unione. Risulta, quindi, impegnata nella lotta al cambiamento climatico e nella riduzione dei consumi di energia, oltre ad avere l'ambizione di raggiungere gli obiettivi stabiliti nell'Agenda 2030, attraverso le varie direttive promulgate dal parlamento europeo a tutela dell'ambiente nel corso degli ultimi decenni.

5.1 Mix energetico italiano

Per analizzare e comprendere la situazione energetica di un paese, prima di tutto occorre identificare e studiare la tipologia di risorse che compongono il mix energetico della nazione. Questo tipo di dati permette di identificare la situazione energetica dell'Italia, mettendo in evidenza quali sono i settori da cui essa è maggiormente dipendente. Di conseguenza, questi valori sono anche in grado di indicare, in seconda analisi, quali possono essere i principali problemi relativi all'approvvigionamento energetico del nostro Paese. Per esempio, una forte dipendenza da fonti fossili, come il nostro caso mostra, comporta uno stretto legame nei confronti dei grandi Paesi esportatori di gas naturale e petrolio come la Federazione Russa, alcuni stati nord Africani e parte delle nazioni affacciate sul Golfo Persico. Questo fenomeno è ovviamente causato ed amplificato dalla scarsa presenza all'interno dei confini nazionali di preziose risorse prime convertibili in energia.

Nel diagramma successivo sono riportati i dati relativi alla composizione dell'approvvigionamento energetico dell'Italia. Questi valori, ottenuti da uno studio condotto da Eurostat, riguardano l'anno 2020.

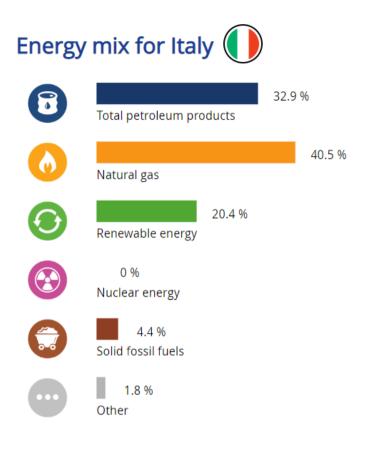


Fig. 22 – Mix energetico italiano nel 2020. Fonte: Eurostat

Dal grafico, come anticipato in precedenza, si nota subito la forte dipendenza da risorse energetiche fossili. Sommando fonti fossili solide, prodotti petroliferi e gas naturale si ottiene una percentuale pari al 77,8%. Questi valori tengono conto di tutti i tipi di consumo dell'energia, tra i quali il settore dei trasporti, quello relativo alla climatizzazione degli edifici e soprattutto il settore dedito alla produzione dell'energia elettrica. In questa immagine, dunque, l'energia elettrica non è presente e le fonti da cui essa viene prodotta sono ripartite nelle categorie illustrate. Per questa ragione la percentuale di fonti fossili risulta estremamente elevata. Per la stessa motivazione anche il valore delle fonti rinnovabili risulta maggiore rispetto alle statistiche che considerano l'energia elettrica come una componente del mix energetico. Questo studio risulta essere molto importante perché è in grado di mettere bene in evidenza quali sono le fonti energetiche primarie da cui realmente dipende l'Italia. Un altro dato particolare è l'assenza di produzione di energia da centrali nucleari a fissione. Ciò è determinato dalla scelta del popolo italiano di non impiegare questo tipo di risorsa. Questa drastica scelta è dovuta ai possibili pericoli che l'energia nucleare potrebbe comportare, alla luce dei fatti che sono avvenuti più di trent'anni fa a Chernobyl e, più recentemente, a Fukushima. Tuttavia, negli ultimi anni, soprattutto a causa della crescente crisi energetica, determinata anche dalla forte dipendenza nell'acquisto di fonti fossili nei confronti di stati politicamente ostili al nostro Paese, in Italia si è riaperto il dialogo nei confronti della possibilità di inserire, in futuro, la fissione nucleare nelle componenti del mix energetico, sebbene l'opinione pubblica risulti essere spaccata su questo argomento, preferendo un maggiore sviluppo delle fonti rinnovabili.

5.2 Bilancio dei flussi energetici in Italia

Un'altra serie di dati molto significativa per cogliere a pieno il contesto energetico italiano è costituita dal bilancio del flusso energetico nazionale. Tale schema è molto indicativo, in quanto esso è in grado di rappresentare al contempo la produzione italiana di energia, le importazioni, le esportazioni, le perdite, il consumo finale e i metodi attraverso i quali le materie prime vengono trasformate in energia elettrica o termica. Il grafico, redatto ancora una volta dall'agenzia statistica europea Eurostat, mostra la natura dei flussi di energia che l'Italia ha gestito nel corso del 2019.

Dal diagramma si coglie immediatamente come la principale fornitura energetica dell'Italia derivi dalle importazioni. Esse in totale ammontano ad una cifra pari a 6.359.886 TJ, circa l'80,5% dell'energia che entra nel settore energetico italiano. Le importazioni sono composte essenzialmente da petrolio e suoi prodotti derivati (53,0%) e dal gas naturale (38,3%). Il restante 8,7% è formato da combustibili solidi (4,3%), elettricità (2,5%) e fonti rinnovabili (1,8%). Per quanto riguarda la produzione propria la cifra ammonta a 1.545.335 TJ, pari solamente al 19,5%. Per questo settore la situazione appare ribaltata con la produzione di energie rinnovabili pari al 73,4% e con la somma di tutte le fonti fossili uguale 23,3%. Questa particolarità è dovuta allo stesso tempo dalla scarsità di materie prime per la produzione di energia in Italia e alla presenza di condizioni favorevoli per l'utilizzo di tecnologie rinnovabili.

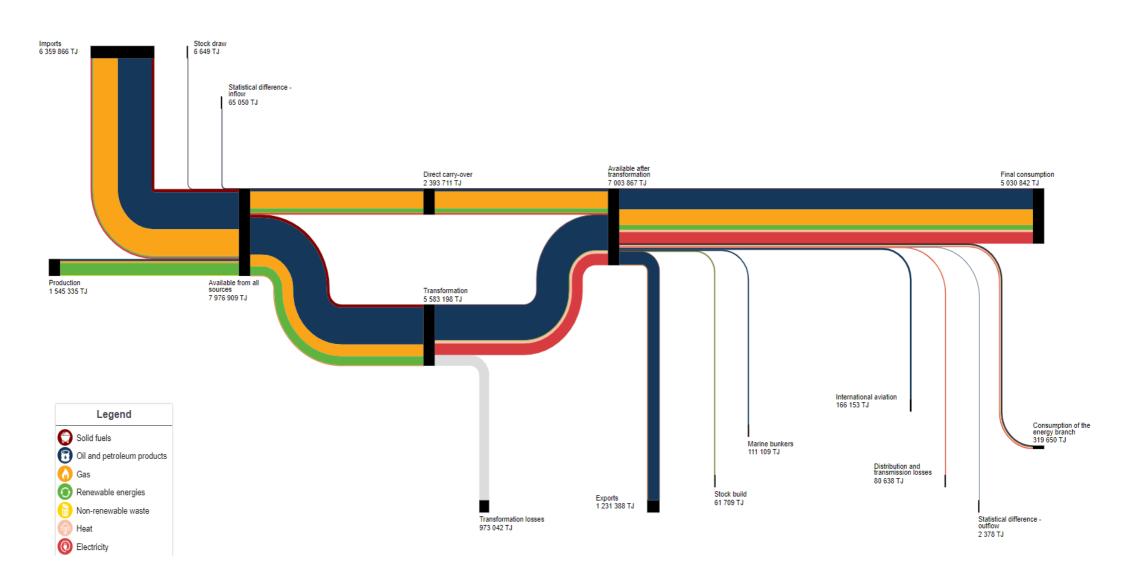


Fig. 23 –Bilancio del flusso energetico italiano nel 2019. Fonte: Eurostat

Il totale dell'energia disponibile da tutte le risorse ammonta al valore di 7.976.909 TJ. Il 30,0% di questa cifra, composta da gas, petrolio, fonti rinnovabili ed elettricità, è direttamente usufruita dalle varie utenze finali, mentre il 70,0% dell'energia viene trasformato attraverso vari processi, tra i quali la produzione di energia elettrica e la raffinazione dei carburanti. Durante il processo di trasformazione, l'energia trattata è uguale a 5.583.196 TJ e le perdite stimate sono pari a 973.042 TJ, circa il 17,4% del totale. La restante parte viene convertita principalmente in prodotti petroliferi come benzina ed altri carburanti, in elettricità e in calore.

L'energia disponibile dopo la fase di trasformazione risulta essere 7.003.867 TJ. A questo valore vanno sottratti le porzioni relative all'export (17,6%), all'energia destinata alla navigazione marina e all'aviazione internazionali (4,0%) e, infine, alle perdite di trasmissione e al consumo energetico per il trasporto (5,7%). Il consumo finale di energia dell'Italia risulta pari a 5.030.842 TJ, solamente il 63,0% dell'energia originariamente disponibile da tutte le risorse. Ciò evidenzia una non perfetta efficienza dei sistemi di trasformazione e di trasmissione dell'energia, i quali necessitano di interventi per migliorare le loro prestazioni.

In conclusione questo grafico mostra in maniera molto accurata e dettagliata come i flussi di energia vengono gestiti nel nostro Paese, mettendo in evidenza quali sono i settori che presentano le principali problematiche e quali sono, invece, le risorse più utilizzate delle quali l'Italia ad oggi non può fare a meno. Attraverso l'analisi di questi dati è possibile individuare le criticità del sistema e, successivamente, studiare delle soluzioni in grado di ottimizzare e migliorare l'intero settore energetico italiano, mediante valutazioni che partano dall'acquisto delle risorse prime, fino ad arrivare alla loro trasformazione e all'utilizzo finale sotto diverse forme.

5.3 Settori per la produzione di energia in Italia

Come visto già in precedenza, i principali settori per la produzione di energia presenti in Italia si limitano a fondamentalmente a quattro tipologie: fonti rinnovabili, gas naturale, petrolio e combustibili solidi. Il grafico sottostante illustra la suddivisione in percentuali della produzione energetica italiana nel corso del 2020. Essendo stato il 2020 un anno molto particolare, le statistiche all'interno di questa analisi potrebbero discostarsi da quelle relative agli anni precedenti ed a quelli immediatamente successivi. Tuttavia, ad oggi i dati produttivi del 2020 sono quelli più aggiornati.

La porzione più estesa riguarda l'energia rinnovabile che compone la generazione per il 72,6%. Di seguito si trovano la produzione di energia da gas naturale con il 15,5%, da petrolio con l'8,7% ed infine quella generata dai combustibili fossili solidi con solamente il 3,2%.

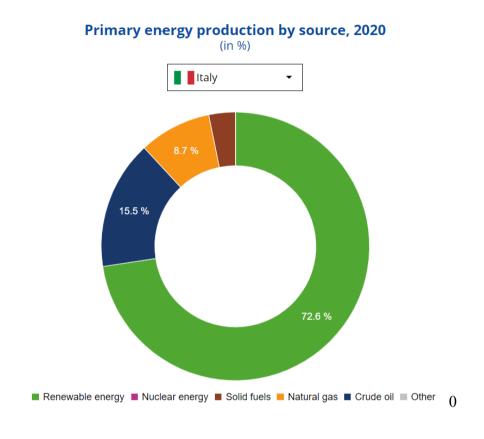


Fig. 24 – Produzione di energia primaria in Italia per risorsa, 2020. Fonte: Eurostat

Nei paragrafi successivi viene approfondito il discorso relativo alle differenti tipologie di risorse e vengono analizzati i diversi settori mediante i quali viene prodotta l'energia nel nostro Paese.

5.3.1 Settore delle fonti rinnovabili

Il settore delle fonti rinnovabili in Italia è suddiviso principalmente in cinque sottocategorie: l'energia idroelettrica, l'energia eolica, l'energia solare, l'energia geotermica e le bioenergie. Lo studio e i dati relativi a questa analisi fanno riferimento all'anno 2020. I dati presenti nel grafico si riferiscono a tutti i tipi di energia prodotta esclusivamente in Italia, cioè sia all'energia elettrica che all'energia termica generate con risorse estratte in Italia o attraverso fonti rinnovabili installate nel territorio. In questo studio, nel settore di produzione di energia termica, per pompe di calore si intendono dispositivi per la produzione di energia termica, alimentati da fonte aerotermica, geotermica o idrotermica.

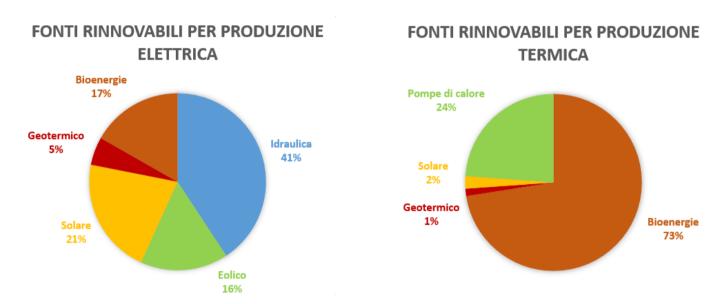


Fig. 25 – Energia da fonti rinnovabili in Italia per uso, 2020. Fonte: Ministero della transizione ecologica (GSE)

5.3.1a Idroelettrico

La fonte più utilizzata nel nostro Paese è l'energia generata dall'idroelettrico, con una produzione pari a 47,6 TWh, circa il 41% dell'energia rinnovabile italiana. Lo sviluppo e la diffusione di questo tipo fonte non è recente; già nel corso del secolo scorso, infatti, in Italia si è sfruttata l'energia idraulica. Grazie alla presenza di vaste catene montuose e corsi d'acqua, specialmente nelle regioni del nord, l'Italia ha fatto molto affidamento su questa risorsa. Ciò spiega perché ancora oggi, nonostante la diffusione di nuove tecnologie per la produzione di energia rinnovabile, essa sia ancora

quella più utilizzata, sebbene l'installazione di nuovi impianti sia praticamente nulla. Il grande sviluppo di altri settori rinnovabili e la mancata costruzione di nuovi impianti idroelettrici spiegano il perché, sebbene l'energia prodotta sia all'incirca costante, la percentuale rispetto al totale sia in decremento anno dopo anno.

Un aspetto negativo di questa tecnologia è il suo grande impatto ambientale. In passato questo aspetto veniva considerato di poco conto, ma oggigiorno esso risulta di primaria importanza. Un impianto idroelettrico è in grado di modificare pesantemente un intero ecosistema e la costruzione di dighe può potenzialmente compromettere irreparabilmente la vita di molti organismi. Inoltre, il suo funzionamento è basato sull'abbondante presenza di acqua e questo può risultare un problema. Specialmente negli ultimi anni, a causa del cambiamento climatico, le precipitazioni sono sempre meno omogenee, alternando periodi di estrema siccità ad altri con intesi e prolungati rovesci. Per tutte queste problematiche, in Italia, questo settore non sta subendo una crescita e uno sviluppo paragonabili a quelli di altre tecnologie rinnovabili.

5.3.1b Solare

In questa analisi con l'espressione energia solare si intendono sia l'energia prodotta dal fotovoltaico che quella generata dal solare termico. Per la produzione di elettricità il valore dell'energia si attesta al 21%, con 24,9 TWh, mentre per quanto riguarda l'energia termica esso è pari al 2%, con 2,7 TWh generati nel corso del 2020. Tali cifre sono in crescita da tempo, anno dopo anno, in quanto la tecnologia dei collettori e dei pannelli solari sta subendo un forte sviluppo. È proprio in poco più dell'ultimo decennio che questi dispositivi per la produzione di energia sono comparsi in gran parte del territorio italiano, sia per la piccola produzione privata di elettricità e calore che per la generazione di potenza per grandi impianti industriali. Ciò è soprattutto dovuto all'attuazione di politiche volte ad incrementare l'utilizzo di questo tipo di risorsa e alla riduzione del costo dei dispositivi solari. Negli ultimi anni, infatti, il governo ha concesso molti incentivi, soprattutto per privati, con il fine di raggiungere tale scopo. Secondo diversi studi, le fonti rinnovabili più importanti che in futuro potranno ridurre o addirittura azzerare il consumo di risorse fossili sono proprio il solare e l'eolico, ragione per cui l'Italia sta investendo molto in questi due settori. Inoltre, il nostro Paese presenta condizioni molto favorevoli per questo tipo di tecnologie, specialmente al sud dove la presenza di radiazione solare è molto diffusa e particolarmente intensa.



Fig. 26 –Densità di energia media dell'irradiazione solare in Italia. Fonte: Solargis

Un aspetto positivo che ha permesso la veloce diffusione dei dispositivi solari riguarda il basso impatto ambientale e la semplicità della modalità di installazione. Questi due motivi sono alla base della sua grande diffusione nell'arco di pochi anni. Il suo più grande svantaggio, tuttavia, è l'intermittenza della produzione di energia. Esso infatti dipende dalle condizioni atmosferiche e per questo può risultare una tecnologia non sempre affidabile. Tale problematica riguarda tutte le fonti rinnovabili intermittenti e può essere, se non completamente risolta, quantomeno attenuata dallo sviluppo di dispositivi per l'immagazzinamento di energia. Lo storage sotto forma di batterie elettriche o attraverso la conversione dell'elettricità in gas o idrogeno, dunque, può presentare la soluzione per lo sviluppo definitivo di questo tipo di tecnologie.

5.3.1c Eolico

L'energia prodotta dal vento nel corso del 2020 è stata la terza fonte rinnovabile per elettricità prodotta. Essa è stata in grado di generale 18,8 TWh, l'equivalente del 16% dell'energia elettrica totale prodotta da fonti rinnovabili, con una potenza installata complessiva di 11 GW. Tale risorsa, a differenza del solare, non produce anche energia termica. Per l'eolico vale il discorso affrontato con il solare in precedenza. Negli ultimi anni questa tecnologia sta avendo una grande diffusione grazie soprattutto a politiche incentivanti e allo sviluppo di dispositivi sempre più efficienti e potenti. Anche in questo caso l'energia prodotta dipende fortemente dalle condizioni metereologiche e dal luogo scelto per l'installazione. Il che rende questa tecnologia ancora non completamente affidabile, sebbene si stiano facendo passi avanti per accumulare l'energia in eccesso e utilizzarla in momenti in cui il vento non è presente.

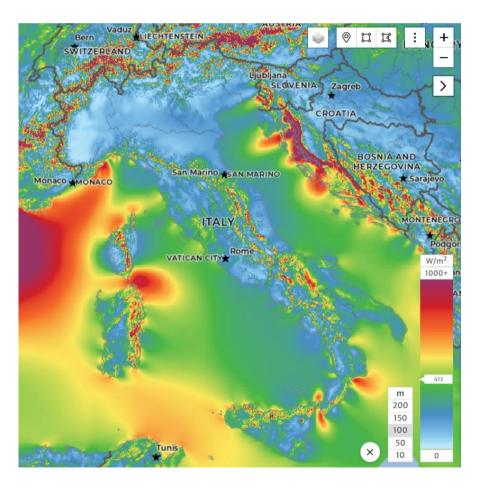


Fig. 27 – Densità media di potenza eolica ad un'altezza di 100 m in Italia. Fonte: Global Wind Atlas

In Italia il settore eolico è concentrato principalmente al sud, nelle isole e sulla catena degli Appennini, dove il vento soffia con maggiore costanza ed intensità. Nelle regioni del nord, soprattutto in pianura Padana, questo tipo di tecnologia è molto limitata a causa dell'assenza di flussi d'aria costanti. Sebbene l'eolico sia un settore già sviluppato in Italia, la nuova frontiera consiste nell'offshore, cioè nella costruzione di vasti parchi eolici non più sulla terraferma, bensì sul mare. In questo modo si riduce di gran lunga l'impatto ambientale dovuto principalmente al rumore e alla perturbazione visiva del paesaggio. Inoltre, in mare aperto i flussi d'aria sono maggiori rispetto alla terraferma dove la presenza di montagne, colline ed edifici riduce la potenza prodotta dalle turbine. I grandi spazi aperti renderebbero anche possibile l'installazione di turbine più grandi in grado di produrre maggiore potenza. Un primo esperimento in questo senso è stato fatto a Taranto, dove nell'aprile 2022 è stato inaugurato il primo parco eolico off-shore italiano. Un luogo ideale per la costruzione di impianti off-shore nel nostro Paese, soprattutto del tipo galleggiante, può essere la porzione di mare adiacente alle coste delle isole maggiori, la quale presenta fondali non troppo profondi e un buon potenziale del vento. Altri mari che bagnano la penisola come l'Adriatico e il Tirreno presentano fondali meno profondi e una batimetria più adatta ad impianti del tipo bottom fixed, tuttavia la scarsa presenza di vento rende la costruzione di parchi eolici off-shore in quelle aree economicamente insostenibile. Per queste ragioni, ad oggi alcuni progetti per parchi eolici off-shore sono in programma in Sardegna ed in Sicilia, con il primo di essi che dovrebbe essere costruito al largo delle coste di Marsala.

5.3.1d Geotermico

Il geotermico è un settore presente in diverse regioni d'Italia. Esso nel 2020 ha prodotto circa 6,0 TWh di elettricità e 1,6 TWh termici, rispettivamente per il 5% e l'1% del totale di energia generata. Il geotermico, sebbene sia una risorsa secondaria nella produzione energetica italiana, è un settore nel quale il nostro Paese potrebbe investire maggiormente in futuro. L'Italia, infatti, in molte sue aree presenta un alto potenziale geotermico, spesso non sfruttato. In alcune regioni come Toscana, Campania e Sicilia si trovano impianti per la produzione di energia sia termica che elettrica. Un aspetto positivo, a differenza di solare ed eolico, è che il flusso di calore proveniente dalla profondità della terra è costante nel tempo. Ciò rende questa risorsa prevedibile, affidabile e non soggetta a fattori esterni come le condizioni metereologiche. Tuttavia, gli impianti geotermici possono essere installati solamente in determinati territori nei quali vengono soddisfatte particolari condizioni del terreno e

alte temperature nel sottosuolo. Anche l'impatto ambientale è un fattore da considerare, in quanto il rumore e il rilascio in ambiente di vapore proveniente dal sottosuolo non sono problemi da poco.

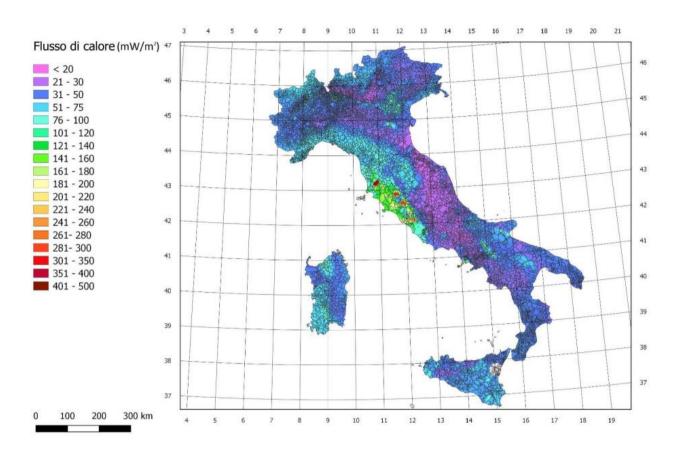


Fig. 28 – Flusso di calore geotermico in Italia, 2017. Fonte: Ministero dello Sviluppo Economico (MISE)

In Italia, generalmente, il geotermico è usato al contempo per la produzione di elettricità, tramite il calore ad alta entalpia e per l'utilizzo di energia termica generata dai vapori a bassa entalpia. Spesso, infatti, piccole e medie aziende, situate in zone dove le condizioni del sottosuolo sono favorevoli, impiegano questa risorsa per la generazione del calore necessario in molti processi industriali.

5.3.1e Bioenergie

Le bioenergie sono la seconda fonte rinnovabile più utilizzata in Italia. Esse incidono per il 17% nella produzione di elettricità con 19,6 TWh e per addirittura il 73% nella generazione di calore con 87,6 TWh. Con il termine bioenergie nel grafico vengono indicate diverse componenti tra le quali biomasse solide, bioliquidi, biogas e una frazione rinnovabile proveniente dalla combustione dei rifiuti. Questa risorsa rinnovabile, a differenza delle altre descritte in precedenza, presenta immissioni

di CO₂ in atmosfera. Tuttavia, le bioenergie vengono considerate ugualmente sostenibili in quanto la quantità di carbonio rilasciata nell'ambiente è la medesima che la biomassa, composta da piante, alberi e vari rifiuti organici, è in grado di assorbire durante il ciclo di vita.

In Italia, come in molti altri paesi, questo tipo di risorsa è molto diffusa. Ciò nonostante ci si sta interrogando se questa forma di energia sia effettivamente sostenibile poiché, nel corso del tempo, la biomassa che inizialmente veniva considerato uno scarto agricolo, si sta trasformando in un prodotto, il quale occupa in maniera sempre maggiore porzioni di terreno coltivabili, riducendo inevitabilmente lo spazio dedicato alla coltivazione di colture per la produzione alimentare. Il risultato è l'aumento delle emissioni di sostanze nocive, causate dalle coltivazioni intensive e dall'uso elevato di fertilizzanti. Con l'avvento dei biocarburanti, sostanze molto importanti per la sostituzione dei combustibili fossili con carburanti meno inquinanti, questo fenomeno si sta alimentando. Tuttavia, se i biocarburanti non saranno forse la risposta definitiva ai problemi delle emissioni, sicuramente per i prossimi anni essi saranno in grado di dare un grosso contributo alla lotta contro il rilascio in atmosfera di gas dannosi per il riscaldamento globale.

5.3.2 Settore del gas

L'Italia, per quanto non sia ricca di gas naturale, possiede diversi giacimenti di questa preziosa risorsa. I principali pozzi di estrazione si trovano sulle coste dell'Adriatico, in Emilia Romagna, in Basilicata e in Sicilia. Si stima che la quantità di gas sia compresa tra i 70 e i 90 miliardi di metri cubi, considerando solamente le risorse certe. Aggiungendo anche le riserve probabili si può raggiugere una cifra pari a 350 miliardi di metri cubi. Tuttavia, secondo delle stime del MISE, nel 2021 nel nostro Paese si sono estratti circa 3,34 miliardi di standard metri cubi all'anno (Smc), a fronte di un consumo pari a 76,1 miliardi di Smc.

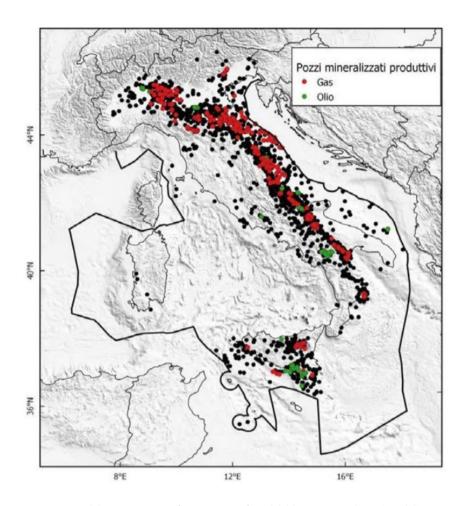


Fig. 29 – Pozzi produttivi in Italia, 2019. Fonte: ISPRA e GSI

La poca quantità di gas estratto è determinata da diversi fattori, tra cui principalmente l'articolo 8 della legge numero 133 del 6 agosto 2008, il quale vieta la prospezione, la ricerca e l'estrazione di idrocarburi nelle acque del golfo di Venezia. La ragione della stesura di questa legge si trova nella subsidenza, cioè un fenomeno che causa l'abbassamento del terreno se nel sottosuolo vengono estratti materiali. Un altro fattore che limita la produzione nazionale è costituito dalle politiche europee volte a limitare l'uso di fonti fossili. Per di più in Italia, per aumentare l'estrazione, sarebbero necessari alcuni anni solo per legiferare in merito e per costruire le infrastrutture necessarie. Inoltre, tali attività di estrazione durerebbero dai 10 a 20 anni, il che non porterebbe ad una riduzione delle emissioni di CO₂ nel breve periodo. Infine, la modesta quantità di gas presente nel sottosuolo presenta l'ostacolo principale. Anche massimizzando l'estrazione i costi sarebbero elevati e secondo i dati disponibili si potrebbe aumentare la produzione fino circa al 15% del gas consumato in Italia, rispetto al 4,4% del 2021. Il che non permetterebbe l'indipendenza energetica del Paese nei confronti di stati esteri, per quanto riguarda questa risorsa.

In seguito al conflitto in Ucraina e alla drastica riduzione delle importazioni di gas dalla Federazione Russa, il governo sta valutando misure speciali per poter incrementare temporaneamente l'estrazione e la produzione del gas naturale.

5.3.3 Settore del petrolio

La situazione del settore petrolifero italiano è simile a quello del gas naturale: le riserve sono insufficienti per soddisfare la domanda nazionale e le estrazioni sono complicate sia dal punto di vista legislativo che tecnico. I principali pozzi si trovano nell'Italia meridionale in Sicilia, tra Gela e Ragusa, in Calabria e in Basilicata, anche se molti di essi sono ormai in disuso. La stima della quantità di petrolio presente in Italia, tra risorse certe e riserve probabili, è tra gli 1,5 e i 1,8 miliardi di barili mentre l'estrazione al 2022 risulta essere di circa 80.000 barili al giorno, quindi circa 30 milioni di barili all'anno. Il fabbisogno di petrolio soddisfatto è inferiore al 10%. Anche per il caso del petrolio, politiche internazionali e opinione pubblica incrementano significativamente le difficoltà già presenti per l'estrazione di tale risorsa.

5.3.4 Settore dei combustibili solidi

In Italia la produzione di energia da combustibili fossili solidi di origine nazionale è molto limitata, solo il 3,2%. Il trend degli ultimi anni consiste, infatti, nella chiusura delle già poche centrali a carbone presenti sul territorio. Questa tendenza, però, ha trovato come ostacolo l'incremento vertiginoso del gas naturale, proveniente principalmente dalla Federazione Russa. Questo fattore ha determinato il rallentamento della chiusura delle centrali a carbone che al 2022 risultano essere ancora 7. All'interno dei nostri confini l'unica miniera di carbone ancora attiva è il Sulcis Iglesiente che si trova in Sardegna. Da questa miniera vengono ancora estratti, secondo i dati Assocarboni, circa 1 milione di tonnellate all'anno, anche se tali attività di estrazione subiscono spesso interruzioni e non siano costanti nel tempo. Questo tipo di risorsa, a causa di politiche relative alla riduzione delle emissioni, verrà utilizzata sempre meno in futuro fino alla completo abbandono previsto entro il 2030.

5.4 Emissioni in Italia

In Italia le emissioni di gas serra sono in calo ormai da diversi anni. Nel corso del 2019, come è visibile dal grafico seguente, la quantità rilasciata in ambiente di gas climalteranti è diminuita del 19% rispetto ai livelli del 1990. Il valore delle emissioni italiane nel 2019 ammonta ad una cifra pari a 418 milioni di tonnellate di CO₂ equivalente, secondo dati forniti dall'ISPRA. Ovviamente questo calo è determinato dall'attuazione delle politiche europee volte a salvaguardia dell'ambiente e alla riduzione dei consumi energetici. Il forte sviluppo e la veloce diffusione delle fonti rinnovabili, sommato ad un miglioramento dell'efficienza dell'intero settore energetico italiano, hanno sicuramente aiutato a raggiungere gli obiettivi preposti.

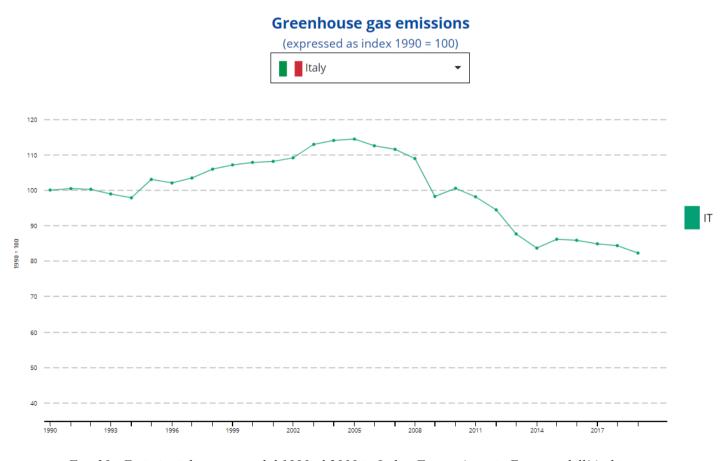


Fig. 30 - Emissioni di gas serra dal 1990 al 2019 in Italia. Fonte: Agenzia Europea dell'Ambiente

Analizzando la Figura 30 è possibile osservare l'andamento delle emissioni prodotte in Italia negli ultimi tre decenni. Si nota che nei primi anni '90 il rilascio in atmosfera di gas pericolosi per l'ambiente è circa costante, solamente con una lieve decrescita nel 1994. Dal 1995, invece, si verifica una crescita significativa destinata a perdurare quasi per un decennio, fino al 2005. Proprio durante il

corso di quell'anno le emissioni hanno raggiunto un livello il 15% più elevato rispetto al 1990. Nei tre anni successivi si registra una decrescita, seguita nel 2009 da un calo molto più marcato anche rispetto alla media europea, causato dalla grave crisi economica scoppiata nell'anno precedente. Il restante andamento fino al 2019 risulta quasi sempre in decrescita ad eccezione del 2010 e del 2015. Tale trend, determinato in parte, soprattutto nei primi anni '10, dalla crisi economica, è frutto delle normative imposte a livello europeo. Nel complesso si può dire che l'obiettivo inerente alla riduzione del 20% delle emissioni di gas serra entro il 2020 è stata raggiunta con successo dall'Italia.

Per quanto riguarda, invece, la distribuzione settore per settore delle emissioni nel nostro Paese è possibile osservare il diagramma fornito da Eurostat, rappresentato nella Figura 31. Tali dati fanno riferimento sempre all'anno 2019 e suddividono in percentuali le emissioni, inquadrandole in diversi ambiti responsabili della loro produzione.

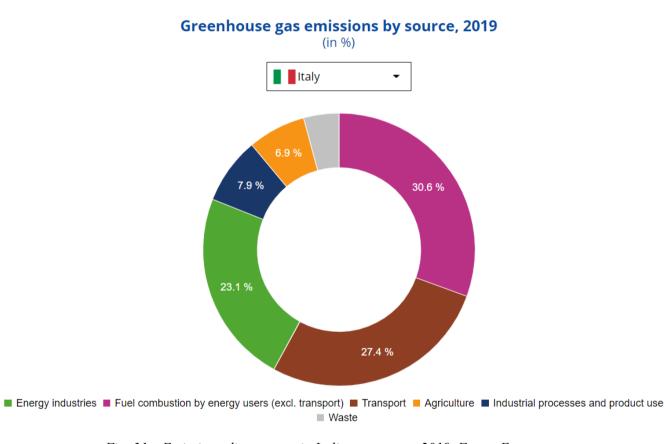


Fig. 31 – Emissione di gas serra in Italia per settore, 2019. Fonte: Eurostat

La percentuale maggiore è prodotta dalla combustione di risorse per soddisfare i bisogni energetici degli utenti, principalmente il settore degli edifici. Da quest'ultimo viene escluso il settore dei trasporti. Questo ambito ha prodotto il 30,6% delle emissioni totali. Il secondo settore più emissivo è proprio quello dei trasporti, il quale registra una percentuale pari al 27,4%. Un altro ramo in cui le emissioni sono molto significative è quello relativo alla produzione di energia. Questa sfera contiene al suo interno tutti gli impianti per la produzione di energia, tra cui soprattutto gli impianti termoelettrici, i quali producono grandi quantità di CO_2 e di altri gas pericolosi in relazione al riscaldamento globale. Il suo valore ammonta al 23,1%. Come si può facilmente notare, in totale questi tre settori da soli producono oltre l'80% delle emissioni italiane di gas serra. La restante parte, inferiore ma comunque non trascurabile, è composta per il 7,9% dai processi e dall'utilizzo dei prodotti industriali, per il 6,9% dall'agricoltura e per il 4,1% dallo smaltimento e dal trattamento dei rifiuti.

6 Sviluppo di modelli per scenari futuri

In questa seconda parte del documento verranno trattati diversi scenari relativi al futuro dei consumi energetici e delle emissioni di gas climalteranti. Il software utilizzato per questo tipo di analisi è Java Climate Model (JCM), versione del 15 maggio 2017. Questo programma, sviluppato dal Dr. Ben Matthews, è in grado di creare ed esplorare diversi possibili scenari attraverso l'inserimento di alcuni valori di input. A partire da questi, il software traccia i probabili andamenti di differenti parametri relativi al clima ed a fattori socio-economici. L'algoritmo si basa principalmente su una metodologia sviluppata dall'IPCC permettendo, mediante la sua implementazione in linguaggio java, un più facile utilizzo da parte dell'utente. Di conseguenza, le componenti principali e i dati correlati al clima vengono prelevati dai rapporti dell'IPCC, i quali vengono rilasciati ed aggiornati annualmente.

L'importanza di questi modelli è determinata dalla precisione e dalla relativa semplicità con le quali essi sono in grado di costruire diagrammi e curve molto simili a quelli prodotti dall'IPCC, utili a prevedere i possibili andamenti di diversi parametri. La modellazione di questi scenari varia a seconda che i dati indicati dall'utente contemplino l'una o l'altra condizione, per esempio l'attuazione di politiche dedite alla lotta nei confronti del cambiamento climatico e volte alla riduzione di consumi ed emissioni oppure alla loro completa assenza. Nella costruzione di uno scenario è anche possibile stabilire un obiettivo a lungo termine ed il software è in grado di tracciare il cammino che occorre intraprendere per ottenere tale risultato. I parametri che si possono fare variare da uno scenario all'altro sono molteplici, tra i quali i più significativi sono l'attuazione di politiche climatiche, la concentrazione di CO₂ in atmosfera, l'anno di stabilizzazione del clima e l'innalzamento massimo della temperatura che si intende raggiungere.

Prima di passare all'analisi di diversi possibili scenari è bene conoscere i livelli di emissione globale di CO₂ del presente e del passato. Nel grafito sottostante, costruito grazie ai dati rilevati dall'istituto "Carbon Dioxide Information Analysis Centre" (CDIAC), sono illustrate le quantità di anidride carbonica rilasciata in atmosfera fino al 2020. Ad oggi la produzione annuale mondiale di carbonio ammonta a quasi 10 giga tonnellate. Come mostra l'immagine, l'andamento nel corso della storia è sempre crescente, con gli incrementi maggiori che si sono registrati tra il 1960 ed il 1980 e nel primo decennio del secondo millennio, anni di grande crescita economica e demografica. Se il primo picco è stato determinato da una consistente crescita economica e da un maggiore sviluppo negli stati più avanzati, il secondo è stato causato dall'industrializzazione di grandi paesi emergenti come Cina ed India. Ad oggi i paesi più sviluppati, come quelli appartenenti all'UE e USA, stanno riducendo le proprie emissioni, in ottica del raggiungimento di obiettivi climatici, mentre in altre aree geografiche,

specialmente in Asia e Sudamerica, molte economie in via di sviluppo continuano ad aumentare la propria produzione di gas climalteranti.

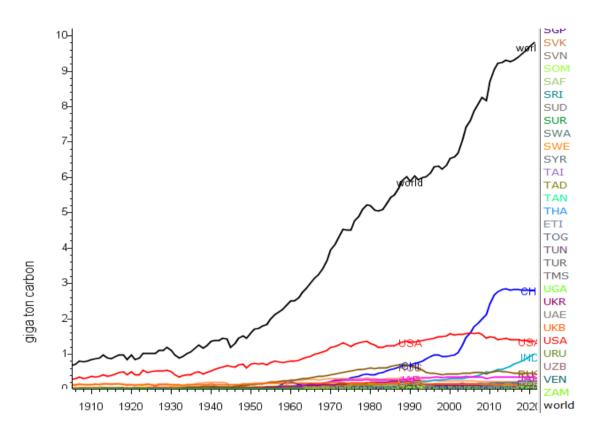


Fig. 32 – Andamento storico delle emissioni di carbonio. Fonte: Java Climate Model

6.1 Report speciale sugli scenari di emissione

L'IPCC, attraverso il documento "Special Report on Emissions Scenarios" (SRES), pubblicato nel 2000, ha ipotizzato diversi possibili scenari caratterizzati ognuno da particolari caratteristiche e da peculiarità proprie. Questi scenari vengono considerati di riferimento, in quanto analizzano in generale il contesto mondiale del futuro, ipotizzando diversi livelli di sfruttamento di combustibili fossili, una diversa crescita della popolazione e della ricchezza globale oltre a differenti sviluppi della tecnologia. Nello studio di questi modelli, le aree del mondo vengono analizzate secondo la ripartizione 'JMC 25 Region'. Tale struttura suddivide il globo in 25 macro aree, agglomerando gli stati e le regioni con entrate pro capite comparabili e con storia e sviluppo simili. Inoltre, anche gli obiettivi di sviluppo sostenibile e la ratifica dell'accordo di Kyoto sono parametri tenuti in considerazione per la creazione di queste aree, le quali, tuttavia, non hanno nessuna valenza politica. Gli scenari previsti dal SRES si distinguono principalmente in quattro categorie: A1, A2, B1 e B2.

6.1.1 Scenario A1

Lo scenario A1, conosciuto anche come "Scenario di rapida crescita convergente", prevede un veloce sviluppo tecnologico e una riduzione della differenza delle entrate nelle diverse zone del pianeta. Tale ipotesi consiste in un mondo futuro nel quale l'economia e la popolazione sono in crescita, con il picco demografico raggiunto intorno alla metà del nostro secolo, con circa 9 miliardi di individui. L'incremento demografico maggiore si registra in Asia e in Africa entro il 2050 e si prevede che la popolazione mondiale decresca fino a raggiungere circa i 7 miliardi di persone nel 2100.

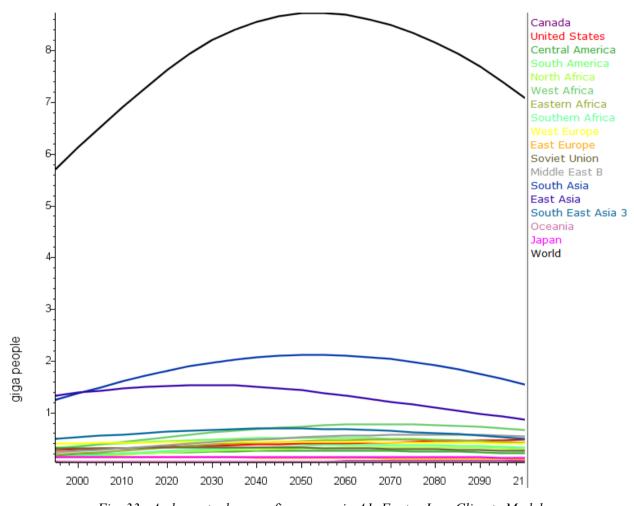


Fig. 33 – Andamento demografico, scenario A1. Fonte: Java Climate Model

Per quanto riguarda l'economia, anche in questo caso la crescita maggiore è prevista nei paesi in via di sviluppo, soprattutto in Asia. Tuttavia, si ipotizza che il PIL sia in crescita anche nelle nazioni più ricche come Stati Uniti ed Unione Europea. Il PIL mondiale si stima che possa aumentare dai 60 mila miliardi di dollari odierni fino a raggiungere i 600 mila miliardi di dollari, cioè di circa il 1000%.

Come si può comprendere, questo scenario appare molto ottimistico e fiducioso nell'ipotizzare il futuro dell'umanità in ambito di crescita economica e stabilizzazione demografica.

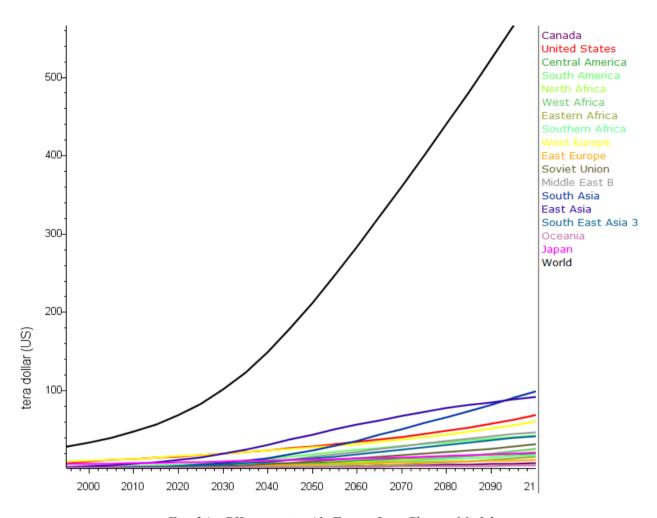


Fig. 34 – PIL, scenario A1. Fonte: Java Climate Model

Lo scenario A1 include a sua volta altre tre sottocategorie: A1F, A1B e A1T.

L'ipotesi A1F prevede una situazione basata su un utilizzo intensivo di combustibili fossili come petrolio, gas e carbone. Tale quadro energetico implica una crescita esponenziale delle emissioni di gas nocivi almeno fino al 2060 e successivamente un aumento più contenuto. Dal grafico è possibile estrapolare la relazione tra crescita demografica ed incremento delle emissioni, in quanto, in questa versione del futuro, non è ipotizzata una riduzione dei consumi pro capite. Quindi, finché la popolazione è destinata a salire, lo stesso varrà per le emissioni. Nella variante A1F, tuttavia, la produzione di carbonio non si stabilizza neanche entro il 2100, anno nel quale si pensa si possano raggiungere oltre 25 giga tonnellate di carbonio ed inoltre si prevede un aumento, anche se moderato, nel corso del ventiduesimo secolo. I paesi maggiormente responsabili di questa crescita sono quelli

in via di sviluppo come Asia e Sud America, i quali, nei successivi 30 anni, potrebbero vedere aumentare le loro emissioni da due a tre volte quelle attuali.

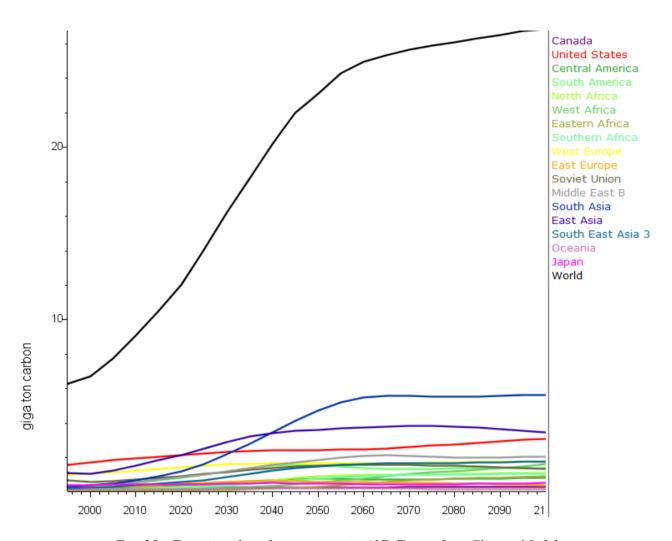


Fig. 35 – Emissioni di carbonio, scenario A1F. Fonte: Java Climate Model

Lo scenario A1B, invece, presenta un quadro più bilanciato, con la presenza sia di fonti fossili che di altre forme di energia come fonti rinnovabili di vario genere. Il picco delle emissioni viene raggiunto entro il 2050 con il rilascio annuale in atmosfera di poco meno di 20 giga tonnellate di carbonio. In seguito, le emissioni calano per tutta la durata della seconda metà del 21 secolo e per l'inizio di quello successivo. All'incirca nel 2100 si ipotizza si possano produrre poco meno di 16 giga tonnellate di carbonio all'anno.

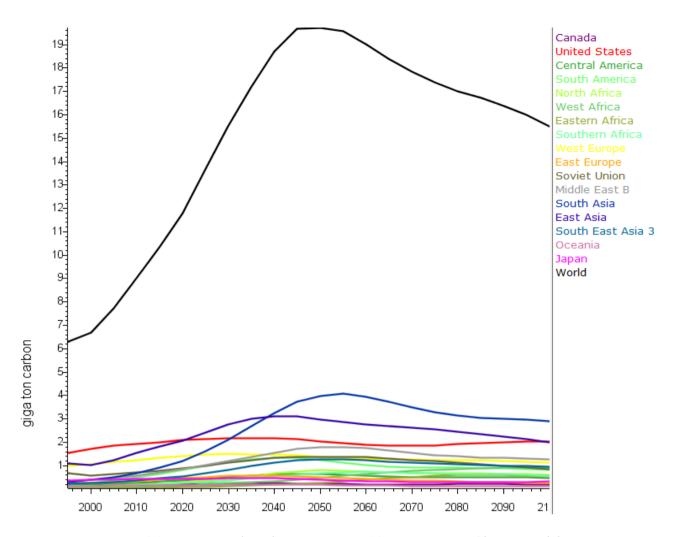


Fig. 36 – Emissioni di carbonio, scenario A1B. Fonte: Java Climate Model

Il modello A1T, infine, si focalizza sullo sviluppo della tecnologia necessaria per permettere la massiccia diffusione delle fonti rinnovabili, consentendo così una riduzione netta delle emissioni. In questo scenario il picco è raggiunto prima del 2050 e il successivo calo è molto marcato. Non solo i paesi in via di sviluppo tendono ad inquinare meno, ma anche le grandi potenze mondiali come Stati Uniti e le nazioni europee riducono notevolmente la produzione di carbonio con il passare degli anni. Il massimo delle emissioni è stimato essere intorno alle 17 giga tonnellate di carbonio ed il trend è in discesa anche oltre la fine del secolo, con una stima di poco meno di 10 giga tonnellate per il 2100.

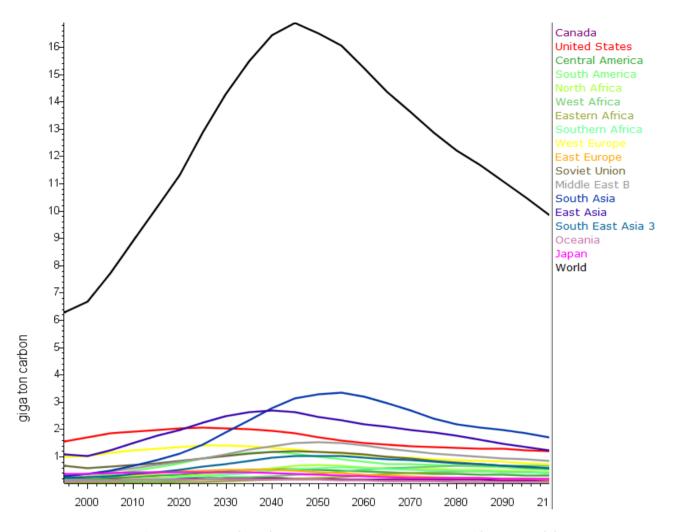


Fig. 37 – Emissioni di carbonio, scenario A1T. Fonte: Java Climate Model

6.1.2 Scenario A2

Lo scenario A2, anche indicato con il termine "Mondo frammentato", è appunto definito dall'esistenza di un mondo molto eterogeneo, caratterizzato dalla presenza di identità locali anche molto diverse.

In questa versione del futuro la popolazione è in continuo aumento, con una crescita quasi lineare fino agli ultimi decenni del nostro secolo, anni dopo i quali l'incremento risulta meno significativo. Dunque, la popolazione mondiale è stimata essere intorno ai 15 miliardi nel 2100, con una maggiore concentrazione di persone specialmente nelle regioni più povere del mondo.

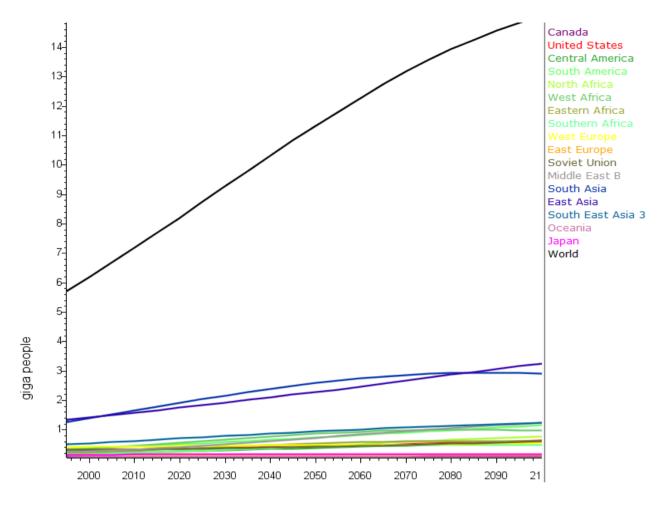


Fig. 38 – Andamento demografico, scenario A2. Fonte: Java Climate Model

Lo sviluppo economico è orientato e alimentato dagli interessi nazionali ed è significativamente inferiore rispetto all'ipotesi A1. Inoltre, la diffusione di nuove tecnologie è più graduale, ma soprattutto non omogenea nelle diverse parti del globo. In questo scenario, infatti, la ricchezza non viene ridistribuita con il passare del tempo: sono soprattutto i paesi ricchi a continuare ad incrementare le proprie economie, principalmente gli stati del Nord America e dell'Europa. Il PIL delle nazioni in via di sviluppo in Asia e in Sud America continua a crescere ma in maniera inferiore, mentre gli stati africani mostrano incrementi molto ridotti. Verso la fine del secolo si ipotizza un PIL mondiale pari a circa 250 mila miliardi di dollari.

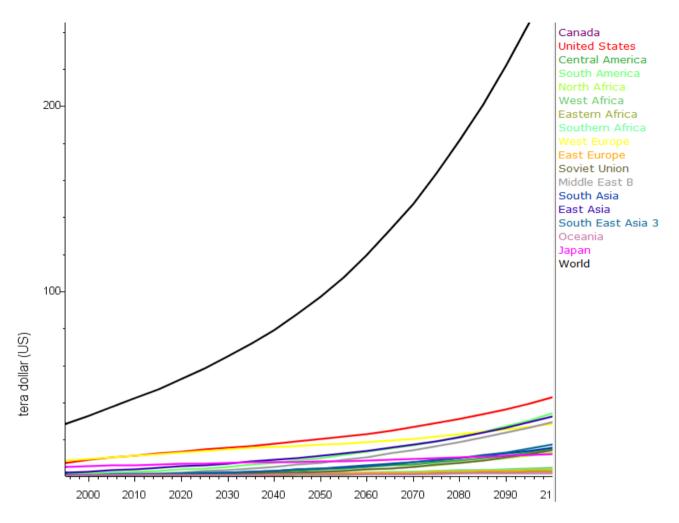


Fig. 39 – PIL, scenario A2. Fonte: Java Climate Model

Sempre nell'ipotesi A2, le emissioni di gas serra sono in continuo aumento, in perfetta relazione con l'aumento della popolazione globale. Con il passare del tempo la produzione di carbonio cresce linearmente e non raggiunge mai un picco. La quantità di tale sostanza rilasciata in ambiente è stimata essere di oltre 25 giga tonnellate di carbonio all'anno entro la fine del secolo. Le emissioni sia dei paesi più sviluppati che di quelli meno ricchi non tendono a diminuire, anzi grandi potenze mondiali come gli Stati Uniti potrebbero addirittura aumentare il rateo annuo di anidride carbonica equivalente negli ultimi decenni del 21 secolo. Ad oggi lo scenario A2 per quanto riguarda l'economia e l'andamento demografico sembra il più realistico e concreto, mentre per quanto concerne le emissioni, tale scenario appare fin troppo pessimistico, in quanto una riduzione della produzione di carbonio non viene mai raggiunta, nemmeno dagli stati più sviluppati e neanche sul lungo periodo. Il che appare quantomeno improbabile visto gli sforzi che molti paesi stanno facendo in tale direzione, ricordando per esempio il 'Green deal' europeo.

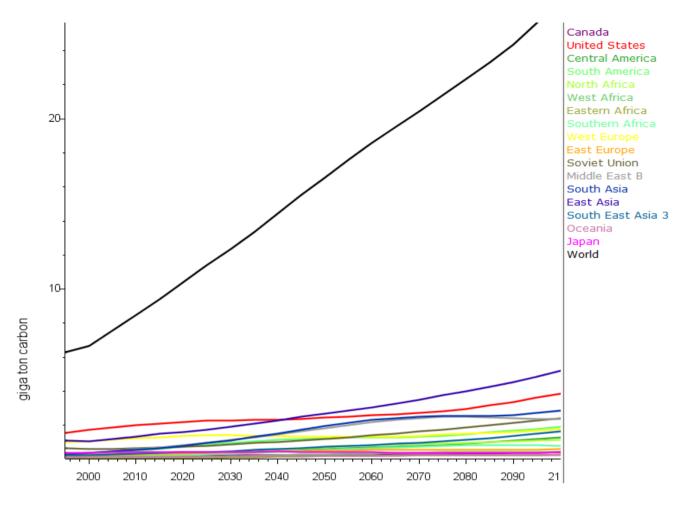


Fig. 40 – Emissioni di carbonio, scenario A2. Fonte: Java Climate Model

6.1.3 Scenario B1

Questo ipotetico futuro, identificato anche come "Scenario convergente con enfasi ambientale globale", è molto simile allo scenario A1 per quanto riguarda il numero della popolazione globale. Esso, infatti, presenta un andamento demografico uguale, con il picco demografico raggiunto a metà secolo con circa 9 miliardi di persone. Tuttavia, a differenza di quest'ultimo, esso presenta una riduzione dei consumi e l'introduzione di risorse pulite ed efficienti per la produzione dell'energia globale. L'enfasi data alle soluzioni globali riguardo l'economia, la sostenibilità ambientale e i problemi sociali è incentrata anche sulla giustizia e sull'uguaglianza, senza però attuare ulteriori iniziative climatiche.

Grazie al raggiungimento di questi obiettivi, la ricchezza mondiale è in forte crescita, soprattutto a partire dal 2030. Sebbene i margini di aumento del PIL non siano ottimistici come nello scenario A1, anche in questa ipotesi sono positivi, con una costante crescita sia da parte dei paesi più potenti e

sviluppati che da parte delle economie emergenti. Entro il 2100 il PIL globale dovrebbe superare i 360 mila miliardi di dollari.

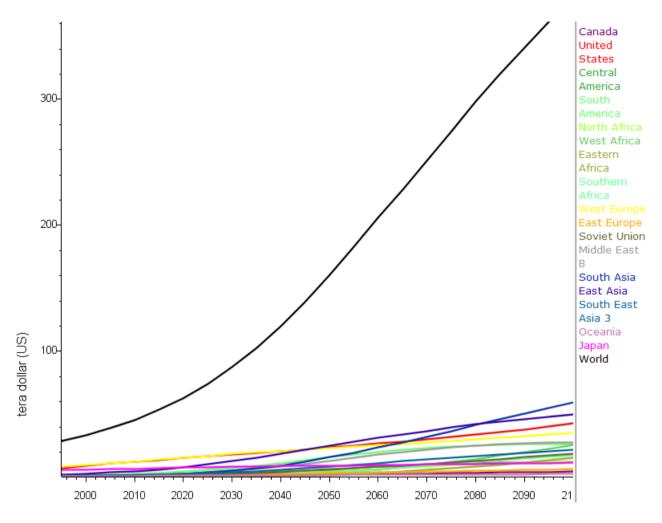


Fig. 41 – PIL, scenario B1. Fonte: Java Climate Model

Anche per quanto concerne le emissioni questa versione del mondo è positiva. Il picco viene raggiunto prima del 2050 ed entro la fine del secolo le emissioni globali sono addirittura inferiori di quelle attuali, scendendo al di sotto delle 6 giga tonnellate annue. Le nazioni ricche decrementano la produzione di carbonio già a partire negli anni immediatamente successivi ad oggi, mentre i paesi in via di sviluppo diminuiscono anch'essi le emissioni ma a partire dagli anni tra il 2040 e il 2060. In questo scenario, quindi, sia l'andamento della popolazione globale che i livelli di emissioni tendono a convergere, presentando una visione ottimistica e mostrando grande fiducia nei confronti della risoluzione, in futuro, dei principali problemi dell'intera umanità.

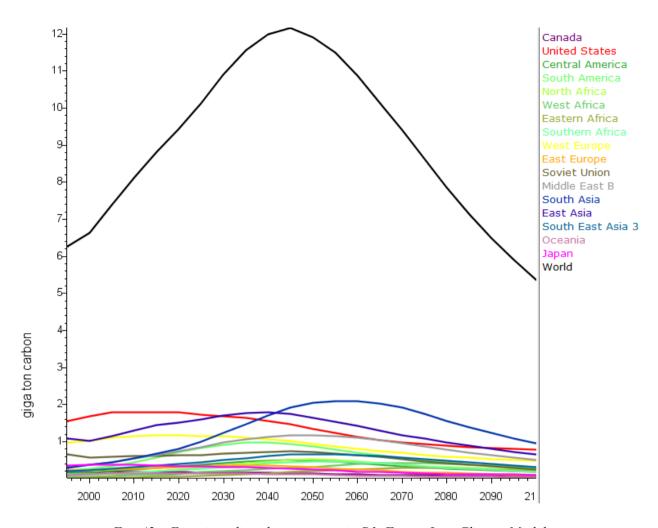


Fig. 42 – Emissioni di carbonio, scenario B1. Fonte: Java Climate Model

6.1.4 Scenario B2

L'ultimo scenario ipotizzato dall'IPCC è il B2, noto come "Sostenibilità locale". Questo futuro descrive un mondo che mette in risalto le soluzioni globali come il B1, ma con la differenza di una diffusione più lenta e diversificata di nuove tecnologie per le fonti rinnovabili. In generale lo scenario è orientato alla salvaguardia dell'ambiente e della giustizia sociale, focalizzandosi primariamente su una visione locale e regionale.

Tale scenario presenta un incremento della popolazione minore rispetto all'ipotesi A2. Per quanto non si raggiunga mai un picco demografico, il numero di individui supera la soglia dei 10 miliardi solamente verso la fine del secolo, con una crescita via a via sempre meno marcata.

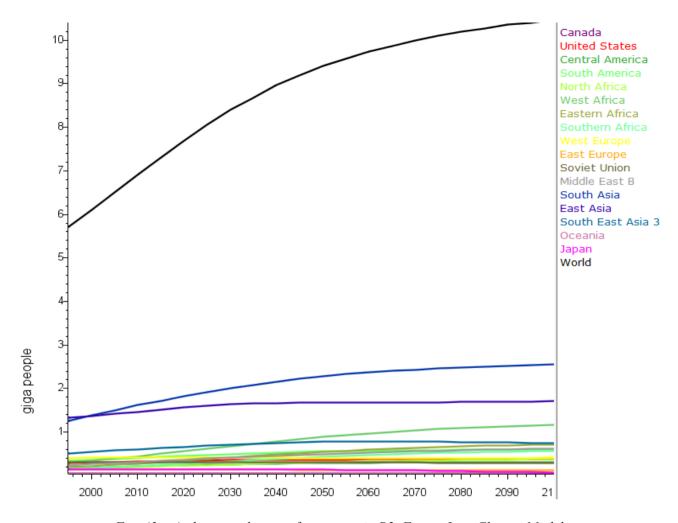


Fig. 43 – Andamento demografico, scenario B2. Fonte: Java Climate Model

La crescita economica in questa ipotesi è moderata, di poco superiore a quella prevista dallo scenario A2, ma con la grande differenza che con il passare degli anni, verso fine secolo, i PIL più elevati saranno quelli dei maggiori paesi asiatici come Cina ed India e non più quelli dei tradizionali stati occidentali.

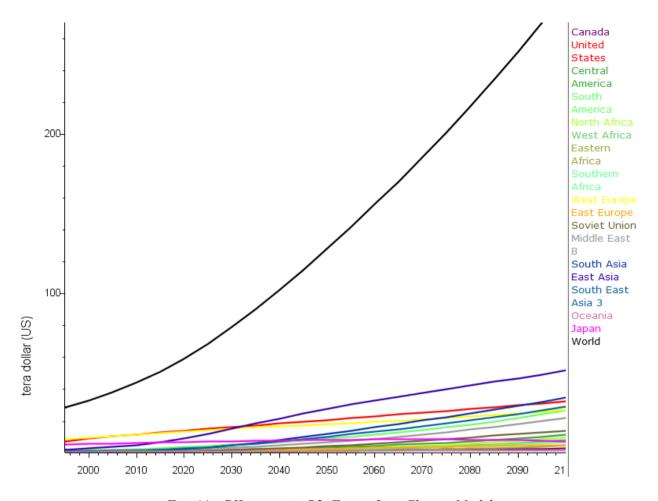


Fig. 44 – PIL, scenario B2. Fonte: Java Climate Model

A livello di emissioni lo scenario B2 ipotizza un rapido incremento della produzione di carbonio fino alla metà degli anni '30, con successivo raggiungimento di un picco tra le 12 e le 13 giga tonnellate all'anno. Negli anni successivi, intorno al 2050, è previsto un graduale decremento fino al raggiungere la stabilizzazione delle emissioni intorno ad un valore di poco superiore alle 11 giga tonnellate di carbonio. In questa versione del futuro le economie più sviluppate, tra cui le principali nazioni occidentali, riducono le proprie emissioni già a partire dai primi anni '20, per ottenere, entro il 2100, circa la metà delle attuali produzioni di gas serra. I paesi emergenti, invece, aumentano le proprie emissioni all'incirca fino al 2050 e da lì in avanti i più sviluppati tra di essi, tra cui la Cina, sono in grado di ridurne la produzione, mentre gli altri, principalmente gli stati africani e quelli sudamericani, mantengono le emissioni costanti per la restante durata del secolo.

Per quanto riguarda la previsione dell'andamento delle emissioni, questo scenario appare credibile ed abbastanza coerente con le politiche energetiche attuali e gli sforzi internazionali per ottenere una riduzione delle emissioni di gas serra.

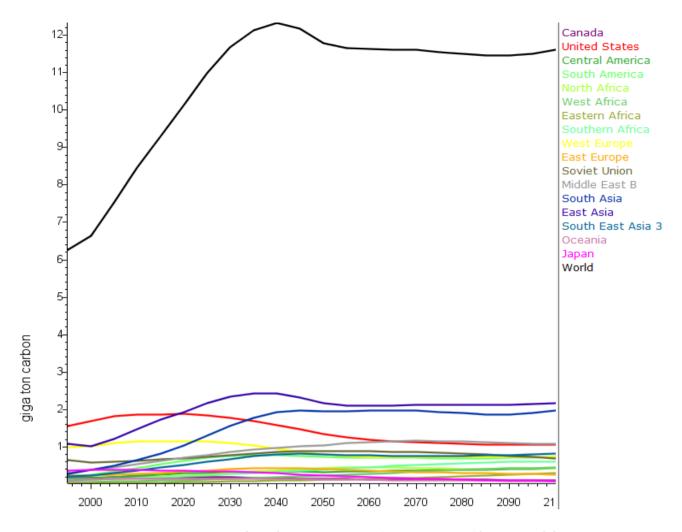


Fig. 45 – Emissioni di carbonio, scenario B2. Fonte: Java Climate Model

Analizzando i diversi scenari di riferimento è possibile tracciare delle similitudini e delle significative differenze tra di essi. Per esempio, gli scenari A1B, A1F, A1T e B1 prevedono tutti la medesima popolazione, inizialmente in crescita e successivamente in riduzione verso la fine del secolo l'A2 e il B2 mostrano una popolazione in continua crescita anche nel corso del XXII secolo. Ciò implica ovviamente il conseguente aumento delle emissioni di CO₂ e di altri gas dannosi. I primi scenari, quindi, sono in grado di raggiungere una convergenza più rapida, mentre i secondi non mostrano affatto una convergenza. La differenza principale delle sottocategorie dello scenario A1 è relativa alla tipologia di consumo energetico. Senza grandi sorprese lo scenario con un maggiore incremento della temperatura risulta essere l'A1F. Invece, l'ipotesi che contiene maggiormente la crescita delle temperature è la B1.

Nei successivi paragrafi saranno illustrati ed analizzati diversi tipi di scenari, partendo dalle condizioni attuali e applicando al modello decisioni e parametri differenti a seconda di ogni caso specifico. La previsione di questi scenari si estenderà fino all'anno 2100; ipotizzare periodi di tempo più lunghi sarebbe molto complicato e irrealistico, in quanto essi avrebbero poca affidabilità e scarsa precisione. In questo modo è possibile conoscere e capire a fondo ogni probabile causa capace di determinare una diversa variabile in grado, a sua volta, di costruire uno specifico scenario piuttosto che un altro.

6.2 Scenario "No climate policy"

Il primo scenario trattato riguarda un futuro caratterizzato dall'assenza di politiche climatiche e di norme finalizzate alla riduzione del riscaldamento globale, definito appunto scenario "No climate policy". Per sviluppare un tipo di ipotesi con queste caratteristiche, in partenza occorre concentrarsi sulla categoria di scenario A1F. Tale previsione appare la più coerente ed accurata perché, con ogni probabilità, in questa versione del mondo, l'assenza di norme che regolino la quantità delle emissioni porterà inevitabilmente ad un utilizzo massiccio di fonti fossili. Senza politiche incentrate sulla salvaguardia dell'ambiente non ci sarebbe interesse nello studiare e nello sviluppare tecnologie per fonti energetiche alternative, dunque le energie rinnovabili sarebbero troppo costose, poco efficienti e di conseguenza pressoché inutilizzate. Tutto ciò, ovviamente, non permetterebbe il raggiungimento di una produzione di energia sostenibile per l'ambiente, con gravi minacce per il pianeta e per l'uomo stesso.

6.2.1 Emissioni

Un grafico molto significativo che esprime a pieno la situazione ipotizzata da questo scenario è quello che rappresenta l'andamento delle emissioni di gas nocivi a livello globale. Le quantità di gas climalteranti sono espresse in giga tonnellate di CO₂ equivalente all'anno e sono suddivise in diverse categorie di sostanze gassose, tra le quali anidride carbonica, metano, idrofluorocarburi, clorofluorocarburi, ossido nitroso ed infine anche la somma di tutti i gas elencati nel protocollo di Kyoto come gas pericolosi (in seguito indicati come gas di Kyoto).

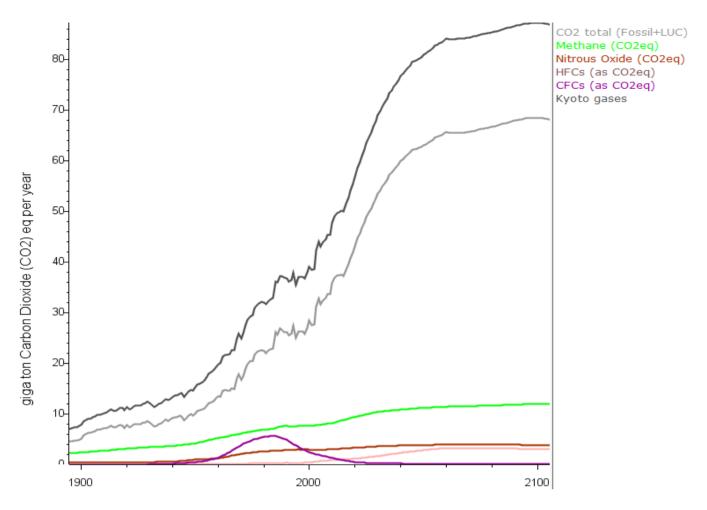


Fig. 46 – Emissioni globali di CO₂ equivalente all'anno, scenario "No climate policy". Fonte: Java Climate Model

Come si osserva dall'immagine, l'andamento globale dei gas di Kyoto è in costante aumento fino al 2100, anno nel quale la previsione dello scenario si conclude. Questa grande crescita esponenziale si registra fino circa alla metà del secolo, successivamente l'incremento è meno significativo ma comunque elevato. L'andamento della produzione di CO₂ è molto simile; questo perché la maggior parte delle emissioni sono dovute alla produzione di anidride carbonica. In tale scenario si stima che dalle odierne emissioni di gas serra di circa 40 giga tonnellate, si potrebbero sfiorare le 90 giga tonnellate entro il 2100, oltre il doppio di quelle attuali. Il trend delle altre tipologie di gas, invece, è più lineare, con crescite meno evidenti e quantità nettamente inferiori. Gli unici gas a diminuire nel tempo sono i clorofluorocarburi (CFC), già oggi in decrescita. Si prevede che tali sostanze tendano a scomparire o ad essere emesse in atmosfera in quantità trascurabili entro la metà del secolo.

Nella figura sottostante è possibile osservare i flussi atmosferici del carbonio. Tali valori corrispondono, fino all'anno 2015, a dati reali misurati, mentre per gli anni successivi vengono applicati dei modelli per la previsione di questi parametri.

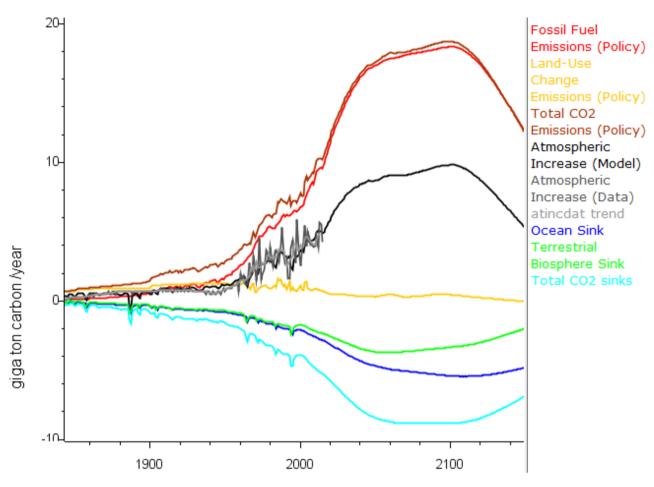


Fig. 47 – Flussi atmosferici del carbonio, scenario "No climate policy". Fonte: Java Climate Model

Dal grafico si può notare come le emissioni dovute ai combustibili fossili e, di conseguenza, la CO₂ totale prodotta sono in aumento fino al 2100, con una spinta più netta nella prima metà del secolo. Le emissioni generate dall'utilizzo del suolo e dal suo sfruttamento, invece, sono in riduzione, anche se il loro impatto è quasi trascurabile rispetto a quello causato dai combustibili fossili. Questo andamento implica una sempre maggiore presenza di carbonio nell'atmosfera terrestre, il ciò aggrava ulteriormente gli effetti del surriscaldamento globale e del cambiamento climatico. Tuttavia, nel ciclo del carbonio, tale elemento non viene soltanto emesso in ambiente, ma viene anche riassorbito. Infatti, la sua riduzione in atmosfera è dovuta principalmente all'assorbimento degli oceani e della biosfera terrestre. In totale, sfortunatamente, l'assorbimento del carbonio è nettamente inferiore alle emissioni umane dello stesso in atmosfera previste da questo scenario. Intorno alla fine del secolo si ritiene che le emissioni di CO₂ producano poco meno di 20 giga tonnellate di carbonio all'anno, mentre la quantità riassorbita dall'ambiente è di appena poco più di 8 giga tonnellate di carbonio all'anno.

Un altro parametro fondamentale per l'analisi del riscaldamento globale, causato dalle emissioni di gas climalteranti è la concentrazione di CO_2 in atmosfera. Nello scenario "No climate policy" la concentrazione atmosferica di CO_2 è in continua crescita per tutto il nostro secolo.

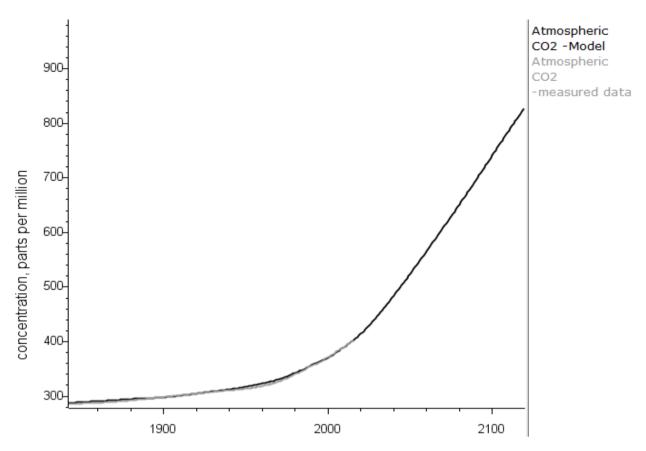


Fig. 48 – Concentrazione atmosferica di CO₂, scenario "No climate policy". Fonte: Java Climate Model

Dalla Figura 48 si osservano due linee: una grigia, rappresentante i dati misurati fino al 2017 e una nera, raffigurante l'anidride carbonica presente in atmosfera secondo il modello usato dal software Java Climate Model. Si comprende facilmente come l'assenza di politiche climatiche finalizzate alla riduzione delle emissioni generi un aumento incontrollato della quantità di CO₂. Secondo queste previsioni, intorno al 2050 si potrebbero superare le 550 ppm ed entro il 2100 è possibile che sia addirittura oltrepassata la soglia delle 800 ppm. Questi valori avrebbero conseguenze devastanti, considerando che aumenterebbero più del doppio rispetto ai livelli antecedenti al 1990. Inoltre, ad oggi, la concentrazione di CO₂ si attesta intorno alle 420 ppm, con un aumento medio della temperatura terrestre di circa 1,0 °C rispetto ai livelli preindustriali. Questo significherebbe che la temperatura media terrestre alla fine del Ventunesimo secolo potrebbe addirittura crescere di oltre 4,0 °C, ipotizzando un andamento lineare tra temperatura media e concentrazione di CO₂ nell'atmosfera. Ovviamente questa possibilità metterebbe a serio rischio le condizioni di vita sul pianeta, modificando pesantemente ogni tipo di equilibrio formatosi sulla terra nel corso del tempo.

6.2.2 Conseguenze

Il grafico successivo, rappresentato dalla Figura 49, mostra il globo suddiviso in diverse aree geografiche, ognuna delle quali illustra il probabile innalzamento della temperatura media annuale per l'anno 2100, nell'ipotesi di "No climate policy scenario". Come si può vedere tutto il mondo è soggetto all'incremento delle temperature ma le conseguenze più gravi si registrano soprattutto in prossimità del circolo polare artico, presso il quale, in alcune aree, la temperatura media potrebbe aumentare fino ad oltre 10 °C. Altre aree molto colpite sarebbero le zone equatoriali e tropicali, nelle quali viene stimato un aumento della temperatura media di circa 6,5 °C. In generale, considerando sia continenti che oceani, tutto il globo risentirebbe di un aumento medio di più di 5 °C. Inutile spiegare quanto sarebbero tragiche le conseguenze sia per l'uomo che per gli ecosistemi locali se questo fenomeno dovesse realmente avere luogo.

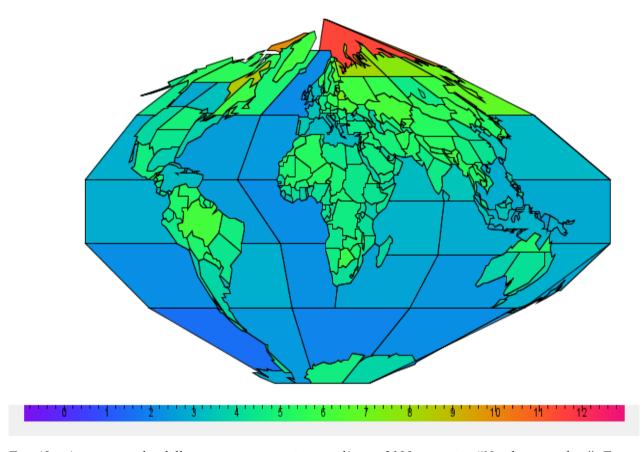


Fig. 49 – Aumento medio delle temperature previsto per l'anno 2100, scenario "No climate policy". Fonte: Java Climate Model

Infine, viene riportato l'andamento nel tempo della temperatura media globale. Si può notare come già dall'inizio del Ventesimo secolo il trend sia in aumento, con un deciso incremento dagli anni '80 in avanti. Ad oggi la temperatura media globale è già aumentata di 1,0 °C rispetto ai livelli preindustriali e nello scenario "No climate policy" si ipotizza, come visto anche in precedenza, che tale parametro possa sfiorare i 5,0 °C entro il 2100.

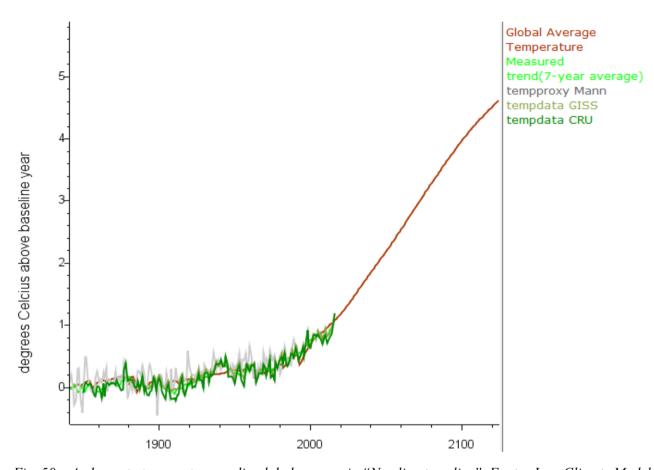


Fig. 50 – Andamento temperatura media globale, scenario "No climate policy". Fonte: Java Climate Model

Un altro aspetto sul quale l'aumento della temperatura avrebbe un effetto pericoloso è il fenomeno dell'innalzamento del livello dei mari, generato dallo scioglimento dei ghiacciai polari e delle nevi perenni d'alta quota. Nel diagramma sottostante vengono identificate le varie cause che alimentano questo fenomeno.

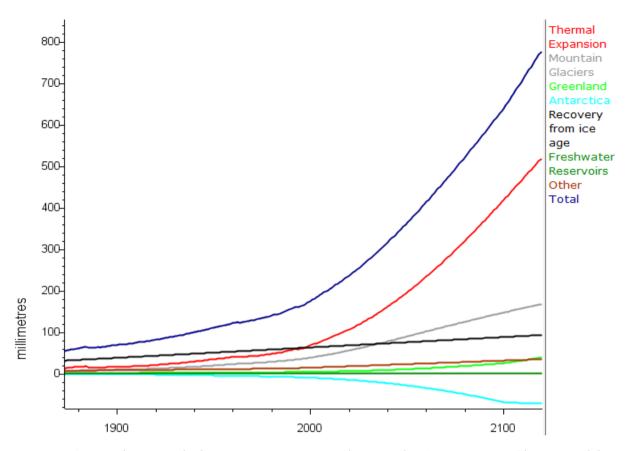


Fig. 51 – Innalzamento degli oceani, scenario "No climate policy". Fonte: Java Climate Model

I fattori che alimentano in maniera maggiore l'innalzamento dei mari sono l'espansione termica e lo scioglimento dei ghiacciai montani. Un parametro particolare è sicuramente quello relativo alla quota di abbassamento del livello dell'oceano dovuto ai fenomeni atmosferici in Antartide. Si ipotizza infatti, che l'aumento della temperatura possa generare una maggiore evaporazione dell'acqua degli oceani, la quale spinta dalle correnti d'aria giungerebbe all'interno del continente antartico dove, per mezzo delle precipitazioni, formerebbe grandi accumuli di neve e ghiaccio. Tuttavia, questa teoria è molto dibattuta ancora oggi in ambito scientifico e comunque avrebbe un impatto molto limitato sul contro bilanciamento dell'innalzamento degli oceani. In generale, si stima che in questo scenario l'innalzamento complessivo del mare potrebbe raggiungere i 35 cm entro il 2050 e gli 80 cm con la fine del secolo. Tutto ciò metterebbe a serio rischio l'esistenza di molte città costiere, minacciando direttamente la vita di centinaia di milioni di persone nel mondo.

Un altro grande pericolo interconnesso al cambiamento climatico, sempre in relazione ai mari, è l'acidificazione degli oceani. Questo fenomeno, causato dalla reazione dell'acqua con l'anidride carbonica, è in costante aumento a causa delle sempre maggiori quantità di CO₂ presenti in atmosfera. Tale processo può risultare molto pericoloso per molti ecosistemi marini e potrebbe avere gravi ripercussioni anche su attività umane, quali la pesca, nel corso dei prossimi decenni.

6.3 Scenario IPCC con incremento della temperatura sotto i 2 °C

Questo scenario, ipotizzato dall'IPCC, ha come obiettivo la stabilizzazione dell'incremento della temperatura media globale al di sotto dei 2,0 °C entro il 2100, con un aumento ottimale per il contenimento del riscaldamento globale di solamente 1,5 °C. Per ottenere questo ambizioso risultato, l'IPCC ha reso noto, durante l'Accordo di Parigi del 2015, che la concentrazione di anidride carbonica in atmosfera non dovrebbe superare la soglia delle 450 ppm.

Per verificare le reali possibilità di ottenere questo grande obiettivo, attraverso il software Java Climate Model, verranno ricostruiti i presupposti iniziali e le condizioni finali necessarie affinché lo scopo di contenere l'aumento delle temperature, se non entro 1,5 °C almeno sotto i 2,0 °C, sia possibile.

6.3.1 Ipotesi e parametri considerati

L'obiettivo della stabilizzazione imposto all'algoritmo è l'incremento della temperatura media globale al massimo di 2 °C. Per costruire questa proiezione del futuro si parte dallo scenario di riferimento B2, in quanto esso appare il più coerente per la crescita della popolazione e per la diffusione delle fonti rinnovabili, la quale avviene in maniera non così rapida ed omogenea. Inoltre, l'andamento delle emissioni per le diverse aree geografiche appare in linea con le caratteristiche necessarie per raggiungere il risultato imposto, anche se tale trend risulta ottimistico e poco concreto. Alcuni parametri necessari per la creazione del modello sono i fattori inerenti alla demografia e all'economia mondiale come il tasso di crescita della popolazione e quello del PIL, entrambi ipotizzati dell'1% all'anno. Altri parametri fondamentali per determinare le caratteristiche di questo scenario sono gli indicatori relativi al costo delle risorse energetiche. Più il prezzo di carbone, petrolio e gas naturale tende ad aumentare e minori saranno le emissioni causate da questi combustibili, in quanto si tende a fare un utilizzo più limitato delle risorse più costose, mentre al contempo si provano ad implementare metodi alternativi per la produzione di energia. In questa versione del futuro vengono ipotizzati i seguenti prezzi per le risorse energetiche ritenuti probabili dall' IPCC, considerando tali valori su media mondiale nell'anno 2030.

Fonte energetica	Prezzo	
	\$/(kW anno)	\$/MWh
Carbone	150	17,1
Petrolio	400	45,7
Gas naturale	230	26,3
Biocombustibili	175	20,0
Nucleare	130	14,8

Infine, anche la formulazione di nuove politiche ambientali, tra le quali il carbon pricing, viene presa in considerazione. La normativa relativa a questa iniziativa sancisce un prezzo alle emissioni di carbonio in atmosfera che, in questo scenario, vengono stimate pari a 50 \$/tCO₂. A partire dai dati elencati in precedenza è possibile ricreare un quadro relativo al futuro dell'energia e delle emissioni.

6.3.2 Produzione energia elettrica

Per prima cosa viene stimato un probabile andamento della produzione elettrica globale fino all'anno 2050. Si può da subito immaginare un notevole incremento di produzione delle fonti rinnovabili. In JCM, nel conto dell'elettricità prodotta dalle diverse fonti rinnovabili, viene tenuta in considerazione anche la quantità di energia accumulata attraverso diversi tipi di stoccaggio, dalle batterie elettriche, alla conversione, tramite gli elettrolizzatori, sotto forma di idrogeno oppure in altre sostanze attraverso ulteriori reazioni chimiche. Tutto ciò per immagazzinare e sfruttare il più efficientemente possibile l'energia prodotta.

Dal grafico sottostante si nota un forte sviluppo nel settore eolico ed, in maniera più contenuta, anche in quello solare. Si pensa che questi due campi della produzione di elettricità possano essere i settori trainanti del futuro, con più del 60% di generazione di potenza elettrica entro la metà del secolo. Un'altra tecnologia che tende ad avere una grande espansione è quella relativa allo sfruttamento dell'energia marina, attraverso il moto ondoso e le correnti. A partire dagli anni '30 è probabile che lo sviluppo di tali tecnologie permetterà un più vasto utilizzo di tali risorse. Anche il settore idroelettrico mostra una crescita, dopo un lieve calo verificatosi tra la seconda metà degli anni '10 e quella degli anni '30. Questa espansione, a differenza delle fonti sopracitate, non sarebbe dovuta ad un ulteriore sviluppo di tecnologia, già oggi largamente disponibile, ma piuttosto sarebbe guidata dalla volontà di ridurre il più possibile l'utilizzo di fonti fossili.

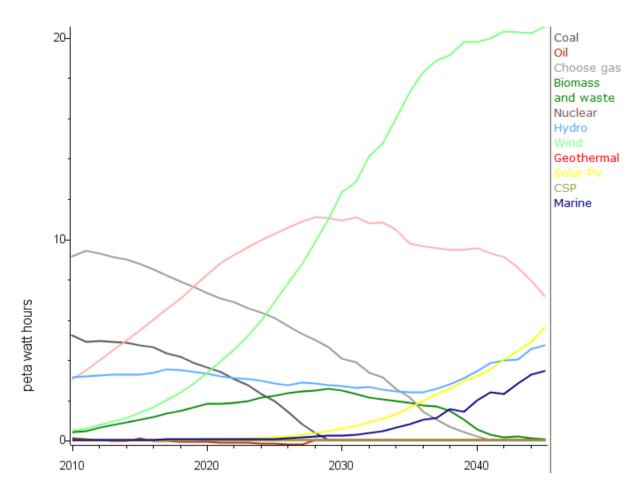


Fig. 52 – Produzione elettrica globale, scenario "IPCC sotto i 2,0 °C". Fonte: Java Climate Model

A differenza delle rinnovabili, sono destinate a diminuire con il passare del tempo le produzioni di elettricità basate sull'utilizzo di fonti fossili come petrolio, gas e soprattutto il carbone. Anche l'utilizzo di biomasse e rifiuti per la produzione di elettricità dovrebbe ridursi. Un caso particolare è rappresentato dal settore della fissione nucleare, il quale dopo una breve espansione fino a circa il 2030, secondo i modelli, sarebbe destinato a diminuire la produzione nel corso degli anni, ritornando ai valori attuali entro la metà del secolo. Infine, tecnologie come il geotermico e il CSP (Concentrated Solar Power) tendono a rimanere costanti anno dopo anno, rimanendo sempre marginali e poco diffuse.

6.3.3 Emissioni

Da queste previsioni è possibile ricreare l'andamento delle emissioni totali di CO₂ equivalente.

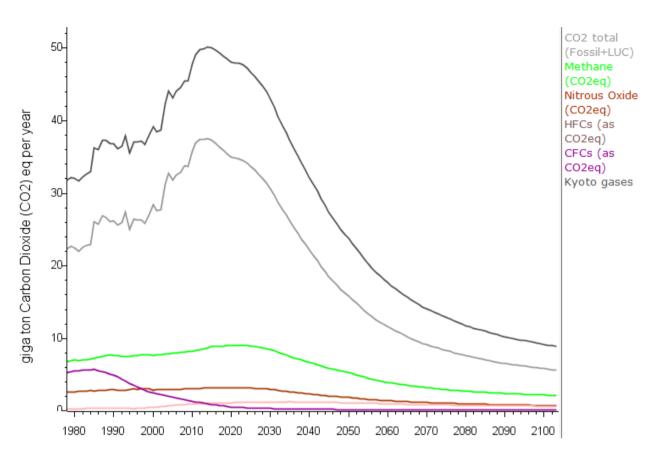


Fig. 53 – Emissioni globali di CO₂ equivalente all'anno, scenario "IPCC sotto i 2,0 °C". Fonte: Java Climate Model

Come mostra il grafico, il picco delle emissioni dovrebbe essere già stato raggiunto prima del 2020, con un valore di poco superiore alle 50 giga tonnellate di CO₂ equivalente. Dal 2030 in avanti la decrescita della produzione di carbonio dovrebbe essere molto elevata, arrivando all'emissione di solamente la metà della quantità attuale entro il 2050. Infine, intorno al termine del secolo ci si dovrebbe mantenere sotto la soglia delle 10 giga tonnellate di CO₂ equivalente, obiettivo molto ambizioso se si considera che tale quantità è solamente un quinto di quella attuale e che nel corso del tempo presumibilmente sia la popolazione mondiale che la richiesta di energia saranno destinate ad aumentare. Dunque, lo scenario ipotizzato dall'IPCC alcuni anni fa, oggi risulta già molto complicato da attuare e per renderlo possibile occorrerebbe fare molto affidamento su tecnologie future, le quali dovrebbero avere un impatto positivo sulle emissioni e allo stesso tempo essere economicamente competitive. Tale situazione oggi pare poco probabile.

6.3.4 Risultati

Le conseguenze previste dallo scenario IPCC possono essere mostrate chiaramente attraverso i grafici riportati in seguito. Una prima immagine molto significativa è quella in grado di rappresentare la concentrazione atmosferica di CO₂. Per mantenere la temperatura al di sotto dei 2 °C, secondo le previsioni, occorre non superare la soglia delle 450 ppm di CO₂. Tale parametro dovrebbe stabilizzarsi non oltre il 2050 e successivamente decrescere lentamente nel tempo. Tale diminuzione dovrebbe anche essere supportata da tecnologie di Carbon Capture and Storage (CCS).

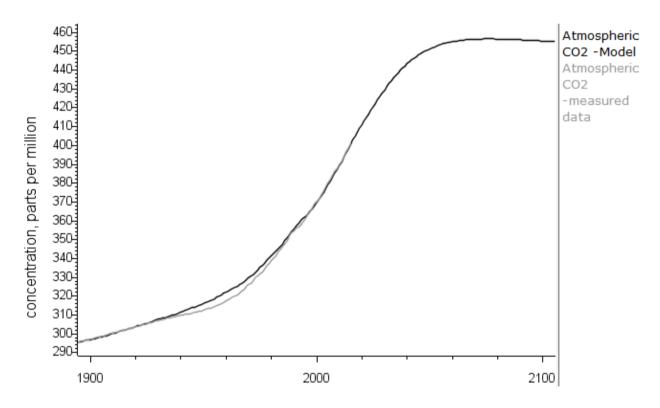


Fig. 54 – Concentrazione atmosferica di CO₂, scenario "IPCC sotto i 2,0 °C". Fonte: Java Climate Model

Appare chiaro che questa ipotesi sia difficilmente raggiungibile, in quanto il valore attuale di anidride carbonica in atmosfera si aggira intorno alle 420 ppm e soltanto dieci anni fa esso ammontava a meno di 390 ppm. L'aumento medio risulta quindi essere di circa 2,5 ppm all'anno, ben distante dall'1,0 ppm all'anno ipotizzato dall'IPCC per gli anni immediatamente successivi.

Secondo i modelli del software Java Climate Model, i risultati delle politiche basate sullo scenario IPCC per mantenere l'aumento della temperatura globale sotto i 2 °C, sono quelli riportati nell'immagine. Nell'anno 2100, nelle diverse aree del pianeta, la situazione dovrebbe essere la seguente.

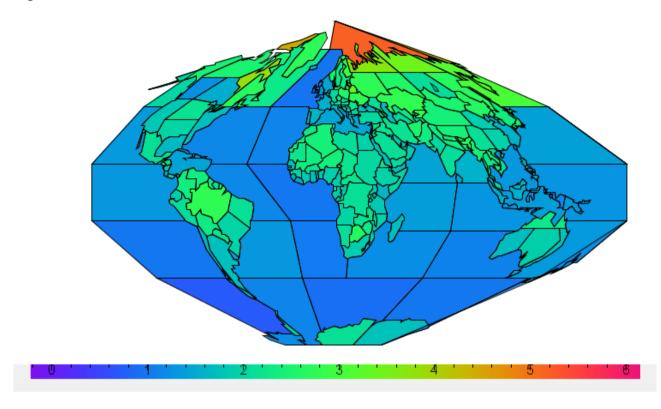


Fig. 55 – Aumento medio delle temperature previsto per l'anno 2100, scenario "IPCC sotto i 2,0 °C". Fonte: Java Climate Model

Si può notare come, in ogni caso, in alcune aree del mondo l'aumento delle temperature sarebbe molto elevato e certamente superiore al limite imposto. Per esempio, nella regione artica, la zona più sensibile a questo fenomeno, si potrebbero anche verificare incrementi fino a 5 °C. Tuttavia, nella maggior parte della porzione continentale la temperatura aumenterebbe tra i 2 °C e i 3 °C, mentre nelle zone oceaniche e specialmente nell'emisfero australe tale parametro si attesterebbe poco al di sopra di 1 °C. Considerando tutte le diverse aree del mondo, la media dell'aumento della temperatura dovrebbe essere pari a circa 2 °C.

Di seguito è riportato il grafico relativo all'andamento che la temperatura media globale dovrebbe avere per riucire a perseguire l'obiettivo imposto.

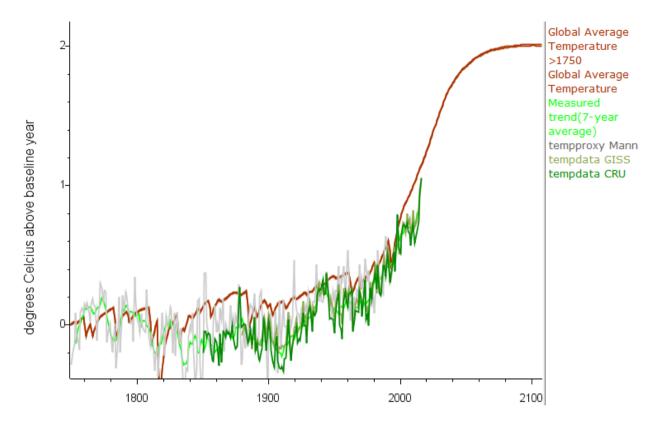


Fig. 56 – Andamento temperatura media globale, scenario "IPCC sotto i 2,0 °C". Fonte: Java Climate Model

Come mostra il diagramma, la temperatura media globale dovrebbe diminuire la sua crescita già prima del 2040, per poi raggiungere un incremento quasi nullo nell'ultimo ventennio del secolo. Tale ipotesi dell'andamento della temperatura, come già detto in precedenza in relazione allo sviluppo nel tempo di altri parametri, sembra improbabile in quanto prevede un cambiamento troppo brusco in un lasso di tempo molto ridotto, considerando la situazione in cui il modo si trova attualmente.

Per concludere l'analisi di questo scenario viene svolto un approfondimento in relazione ad un parametro molto significativo in grado di esprimere il rapporto tra le emissioni e la ricchezza da esse generata: la carbon intensity. Questo fattore risulta di grande importanza perché da solo è in grado di identificare due parametri fondamentali per uno sviluppo sostenibile della società del futuro, i quali sono, per l'appunto, le emissioni e la crescita economica. Tale indicatore è rappresentato dalla seguente formula:

$$Carbon\ Intensity = \frac{emissioni\ globali\ di\ CO_{2}\ [kg]}{PIL\ mondiale\ [USD]}$$

Dunque, per poter ottenere l'andamento della carbon intensity globale occorre in precedenza studiare i trend delle emissioni di CO₂ e del PIL mondiale, riportati nel grafico seguente. Tali valori, ricavati da Java Climate Model, sono stati rielaborati su Excel ed, attraverso essi, è stato possibile ottenere l'andamento nel corso degli anni della carbon intensity.

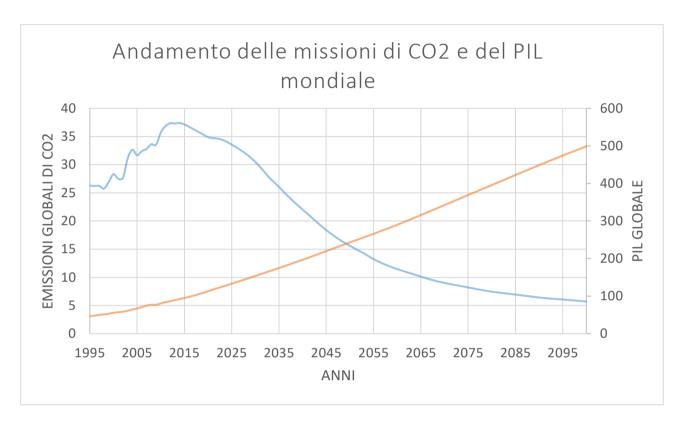


Fig. 57 – Andamento emissioni globali di CO₂ e PIL mondiale, scenario "IPCC sotto i 2,0 °C"

Nel diagramma si osserva il trend relativo alle emissioni di CO₂ (curva azzurra) già analizzato in modo approfondito in precedenza. È anche possibile notare l'andamento del PIL globale (curva arancione), il quale è ipotizzato sempre crescente nel tempo.

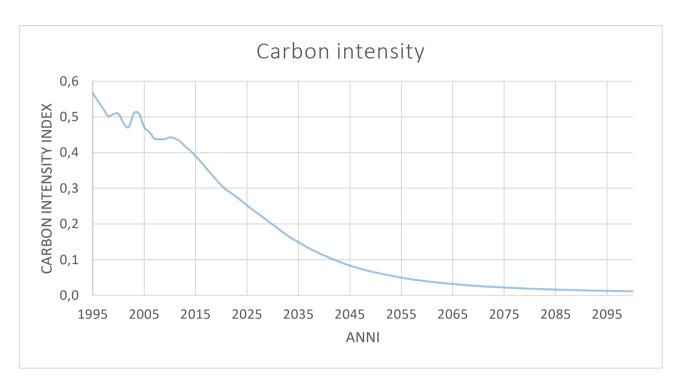


Fig. 58 – Andamento indicatore Carbon Intensity, scenario "IPCC sotto i 2,0 °C"

Dal diagramma soprastante è possibile conoscere il probabile indicatore della carbon intensity per gli anni futuri, ipotizzati da questo scenario. Analizzando la linea si vede come tale fattore sia in continua decrescita, a parte qualche lieve oscillazione registratasi in passato. Questo andamento è causato sia dalla riduzione delle emissioni che dall'incremento del prodotto interno lordo di tutti gli stati, previsto nel corso degli anni dallo scenario IPCC. Più il valore della carbon intensity risulta basso, maggiori sono i benefici per l'intera società. Come per i parametri precedenti, anche per questo indicatore l'andamento sembra essere troppo ottimista, raggiungendo nel lasso di soli pochi anni da oggi, cifre molto ridotte.

Per ottenere una previsione più accurata del futuro che ci attende, magari meno ottimista ma sicuramente più concreta, occorre sviluppare un altro tipo di scenario che includa le condizioni attuali, gli interessi economici e geopolitici degli stati e la disponibilità della tecnologia, in modo che si possa tracciare un percorso si ambizioso, ciò nonostante, realizzabile concretamente.

6.4 Scenario "Actual trend"

Nella formulazione di questo scenario, definito "Actual trend", cioè "Andamento attuale" o "Andamento reale", lo scopo principale è quello di ipotizzare il reale andamento delle emissioni di gas climalteranti e dei consumi di energia per gli anni futuri. In questo caso, diversamente da come fatto nello scenario precedente, i presupposti di partenza non si baseranno su obiettivi imposti dai governi o da organizzazioni internazionali, bensì verranno elaborati a partire dallo studio delle emissioni e dei consumi energetici attuali. Analizzando gli andamenti odierni e passati di alcuni parametri, tra cui specialmente la produzione globale di CO₂, il fabbisogno di energia, la crescita della popolazione e l'incremento della ricchezza mondiale, è possibile ottenere delle previsioni rispetto al futuro delle emissioni ed inerenti alle conseguenze di questo fenomeno, come l'aumento della concentrazione di anidride carbonica in atmosfera e l'incremento della temperatura media globale. Tali ipotesi risultano essere più accurate ed appropriate rispetto a quelle presentate da altri scenari che propongono obiettivi e soluzioni allettanti ma irrealizzabili, oppure troppo ottimiste, considerando il quadro generale del mondo e le condizioni energetiche attuali.

6.4.1 Economia e popolazione

Per prima cosa, quindi, occorre individuare i trend della popolazione e del PIL globale sia del presente che del futuro. In questa proiezione del futuro, per ottenere una maggiore accuratezza dei risultati, non vengono utilizzati i dati relativi alla popolazione e al PIL globale dei vari scenari di riferimento dell'IPCC, in quanto tali ipotesi al giorno d'oggi risultano obsolete, essendo state formulate con i dati a disposizione nel 1995. Per questa ragione JCM è in grado di calcolare, attraverso dati aggiornati, un andamento più realistico della crescita della popolazione mondiale e del PIL globale. Di seguito è riportato il grafico riguardante l'andamento demografico.

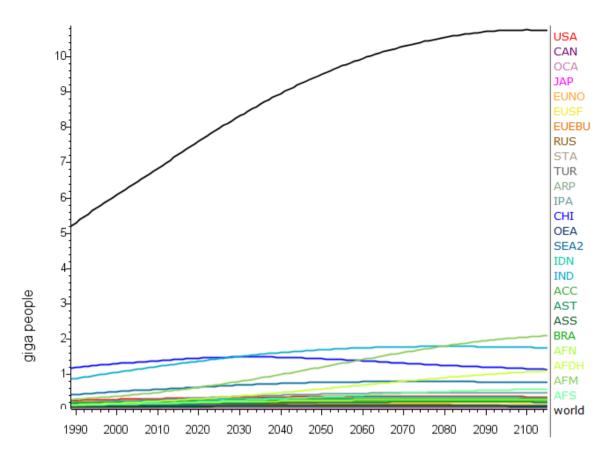


Fig. 59 – Andamento demografico, scenario "Actual trend". Fonte: Java Climate Model

In questa previsione, la popolazione globale è ipotizzata essere crescente per tutto l'arco del secolo. Il suo picco, pari ad un valore di circa 10,7 miliardi di individui, è raggiunto nell'intorno del 2100. I contributi principali di questa crescita sono apportati dall'Asia e dall'Africa. Sono infatti Cina, India e gli stati dell'Africa centrale a guidare questo incremento, mentre paesi già sviluppati come gli Stati Uniti o quelli europei mostrano un calo degli abitanti. Tuttavia, verso la fine del ventunesimo secolo, si prevede che anche la popolazione dei paesi emergenti tenda a stabilizzarsi e, con l'inizio del secolo seguente, il numero di individui presenti nel mondo propenda poco alla volta a diminuire.

Per quanto riguarda il prodotto interno lordo globale, invece, esso è stimato essere sempre in aumento, con una crescita costante e omogenea nel tempo. Anche in questo caso il contributo maggiore è determinato dalle economie emergenti dei paesi in via di sviluppo, mentre le economie più progredite sono inclini ad avere una crescita sempre più limitata. Analizzando il grafico, è possibile osservare come nella prima metà del secolo sia la Cina a mostrare uno sviluppo maggiore. Allo stesso modo, nei successivi cinquanta anni, sono principalmente l'India e gli stati dell'Africa centrale a presentare una maggiore crescita economica.

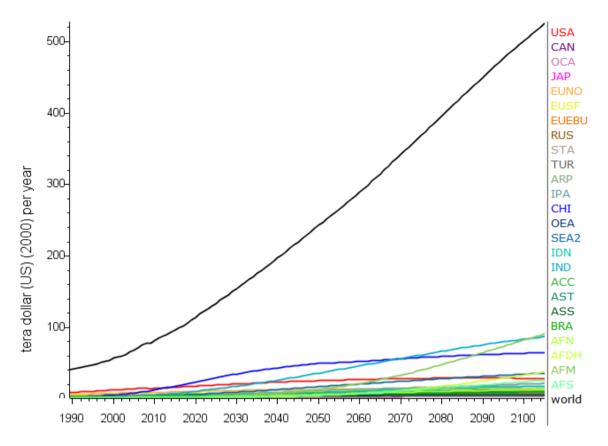


Fig. 60 - Andamento del PIL, scenario "Actual trend". Fonte: Java Climate Model

6.4.2 Produzione energia elettrica

Apprese le caratteristiche degli andamenti demografici ed economici mondiali, attraverso JCM è possibile stimare il consumo di energia elettrica per gli anni futuri. Per determinare questi valori è necessario stabilire il costo delle diverse materie prime per la produzione di elettricità. Il prezzo delle fonti analizzate riguarda il carbone, il petrolio, il gas naturale, i biocombustibili ed il combustibile nucleare. I valori dei prezzi sono quelli corrispondenti a prima della pandemia di COVID-19 e del conflitto in Ucraina. Tali eventi, infatti, hanno modificato profondamente i prezzi delle materie energetiche con grandi picchi e oscillazioni. Risulterebbe quindi poco sensato ipotizzare l'andamento futuro dei prezzi di queste fonti basandosi unicamente sui valori attuali, in quanto mutevoli e poco correlati ai trend economici del medio e lungo periodo. Ovviamente la situazione attuale avrà un peso sulle scelte energetiche future, ciò nonostante, si ipotizza che nell'arco dei prossimi anni i costi delle materie prime tendano gradualmente a stabilizzarsi.

Nella tabella seguente sono illustrati i prezzi delle diverse fonti energetiche analizzate.

Fonte energetica	Prezzo	
	\$/(kW anno)	\$/MWh
Carbone	450	51,4
Petrolio	405	46,2
Gas naturale	220	25,0
Biocombustibili	263	30,0
Nucleare	175	20,0

Ad oggi, la risorsa più economica, mettendo in relazione il costo a quanta energia è in grado di produrre, risulta essere l'uranio utilizzato nella produzione di energia nucleare. Tuttavia, le fonti fossili sono ancora convenienti in molti contesti di produzione di elettricità, soprattutto dove lo sviluppo tecnologico è ancora arretrato. In futuro, è probabile che con l'innovazione di nuovi processi di produzione il prezzo dei biocombustibili si abbassi, mentre quello delle risorse fossili dovrebbe aumentare a causa delle politiche mirate a ridurne l'utilizzo.

Un altro parametro in grado di influenzare profondamente la tipologia di fonte usata per la produzione dell'elettricità è la tassa imposta sulla produzione di carbonio, anche conosciuta come carbon price. Per rendere competitive le tecnologie di carbon caputre (CC), tale valore dovrebbe essere aumentato dagli attuali 25-50 \$/tCO₂, imposti da alcuni stati europei, ad una cifra intorno ai 100 \$/tCO₂. In questo modo il costo dei dispositivi per la cattura della CO₂ diventerebbe competitivo, in quanto sarebbe comparabile con il prezzo pagato per emettere carbonio in atmosfera. Ad oggi solo la Svezia ha valori simili a questi. Considerando anche le differenti valutazioni fatte dagli stati più arretrati economicamente, il carbon price globale formulato per gli anni futuri è ipotizzato essere più basso e pari ad 80 \$/tCO₂, un valore ancora tutto sommato abbastanza alto.

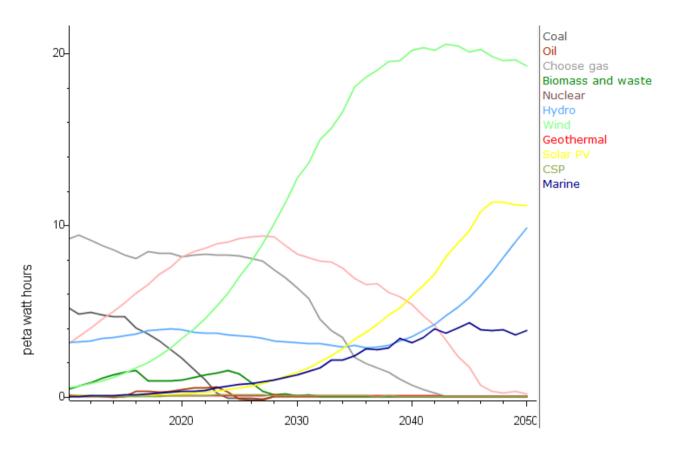


Fig. 61 – Produzione elettrica globale, scenario "Actual trend". Fonte: Java Climate Model

Nello scenario "Actual trend", i settori trainanti per la produzione globale di energia elettrica sono le fonti rinnovabili come eolico e fotovoltaico, soprattutto a partire dal prossimo decennio. Secondo le proiezioni, la produzione eolica dovrebbe essere dominante. L'idroelettrico dal 2040 potrebbe avere una crescita significativa, mentre si pensa che la produzione di elettricità marina, generata dal moto ondoso o dalle correnti, possa avere un lieve aumento tra gli anni '40 e '50, quando la tecnologia in questo campo sarà matura. Tale fonte non dovrebbe però subire una crescita considerevole a causa delle grandi quantità di CO₂ emesse nella produzione di acciaio e cemento necessarie per le sue strutture. Considerando una tassa sul carbonio, questo aspetto potrebbe essere un grosso svantaggio, a meno che in futuro non vengano innovati i processi di produzione di questi materiali. Per quanto riguarda le fonti fossili, il petrolio dovrebbe registrare un calo già dai prossimi anni, così come il carbone. Invece, il gas naturale, ancora oggi globalmente in crescita, intorno al 2030 potrebbe iniziare la sua riduzione. Ciò nonostante, tale risorsa rimarrebbe una fonte di riferimento ancora per oltre 15 anni a partire da oggi, per poi venire sostituita definitivamente dalle rinnovabili. Secondo le previsioni, anche la fissione nucleare avrebbe un andamento a parabola con il picco previsto circa nel 2030, per poi decrescere gradualmente fino alla metà del secolo, lasciando probabilmente il posto alla fusione nucleare.

6.4.3 Emissioni

Come fatto per l'andamento economico e demografico, anche per le emissioni è necessario conoscere il trend degli ultimi decenni, con il fine di poter individuare il rilascio in ambiente di CO₂ in futuro. Questa analisi è già stata svolta nei paragrafi precedenti, all'inizio del capitolo 7, prima di iniziare lo studio dei diversi scenari. A partire da questi dati JCM è in grado di creare un probabile andamento delle emissioni sia a livello nazionale che globale.

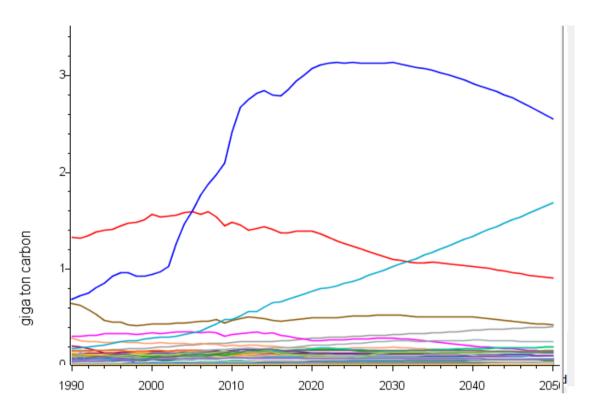


Fig. 62 – Emissione di carbonio dei maggiori stati produttori di CO₂, scenario "Actual trend". Fonte: Java Climate Model

Dal grafico si può notare come in futuro, ma già al giorno d'oggi, siano principalmente tre gli stati capaci di emettere quantità di carbonio di gran lunga superiori alle altre nazioni. Il più grande produttore è sicuramente la Cina (linea blu), attualmente seguita da Stati Uniti (linea rossa) ed India (linea azzurra). Nei prossimi tre decenni, il trend di questi grandi paesi è molto diverso. Se negli ultimi anni le emissioni degli Stati Uniti sono state circa costanti, in futuro esse dovrebbero tendere a ridursi gradualmente, raggiungendo una giga tonnellata di carbonio all'anno. La Cina, invece, nell'ultimo ventennio ha visto più che triplicare le proprie emissioni di CO₂. Si ipotizza che nei

prossimi anni la crescita si stabilizzi e che i valori rimangano approssimativamente costanti fino a metà degli anni '30, dopo la quale dovrebbe iniziare una lenta discesa. Diverso è il caso dell'India, la quale mostra una crescita più contenuta ma costante. Si stima, infatti, che tale nazione continui ad incrementare le sue emissioni con questo ritmo fino oltre il 2050, superando a breve gli Stati Uniti e raggiungendo nella seconda metà del secolo valori simili a quelli cinesi.

Per quanto concerne le emissioni globali di gas climalteranti, il grafico seguente riporta il trend delle previsioni. Secondo questo scenario, le emissioni di CO₂ dovrebbero raggiungere il valore di picco di poco inferiore alle 40 giga tonnellate. Si stima che tale limite venga ottenuto nell'intorno del 2030 e che ancora per circa 10 anni questo valore rimanga all'incirca costante. Pertanto, si ritiene che le emissioni globali di CO₂ inizino la loro discesa a partire dal 2040 e che verso la fine del secolo esse abbiano raggiunto la soglia delle 20 giga tonnellate all'anno. Questo comporterebbe una riduzione entro il 2100 di circa un terzo delle emissioni in confronto ai valori attuali.

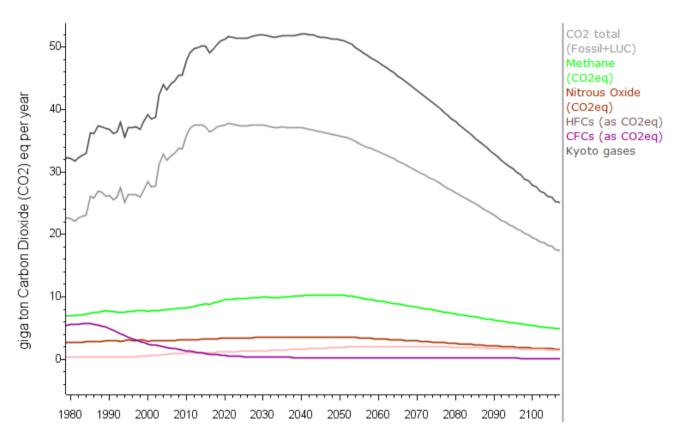


Fig. 63 – Emissioni globali di CO₂ equivalente all'anno, scenario "Actual trend". Fonte: Java Climate Model

6.4.4 Risultati

Sebbene questa versione del futuro presenti una riduzione delle emissioni di gas pericolosi, le sue implicazioni potrebbero comunque avere un impatto molto negativo per gli equilibri del pianeta. Infatti, questi valori di emissioni comporterebbero una stabilizzazione dell'anidride carbonica presente in atmosfera solamente dopo il 2100 e soprattutto ad un valore di circa 550 ppm.

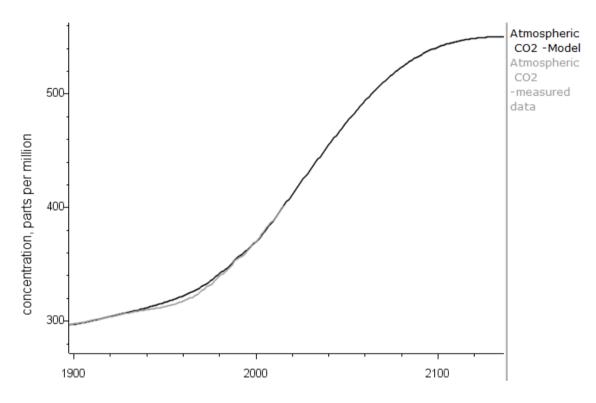


Fig. 64 – Concentrazione atmosferica di CO₂, scenario "Actual trend". Fonte: Java Climate Model

Ciò comporterebbe anche il superamento della soglia dei 2,0 °C imposta dall'IPCC e dall'Accordo di Parigi. L'aumento delle temperature nelle diverse aree del globo dovrebbe verosimilmente avere valori analoghi a quelli riportati da JCM nell'immagine seguente. Le temperature fanno riferimento alle previsioni per l'anno 2100.

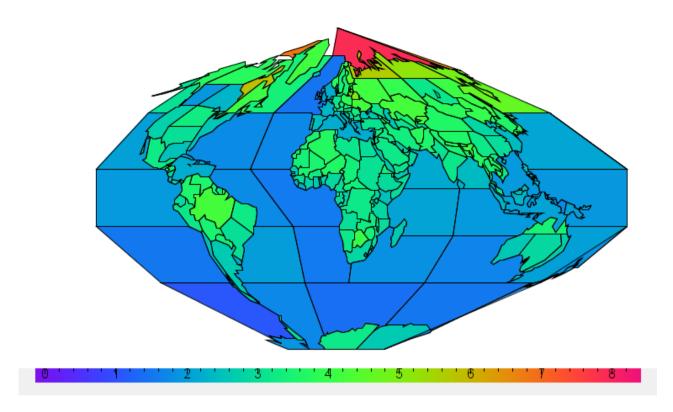


Fig. 65 – Aumento medio delle temperature previsto per l'anno 2100, scenario "Actual trend". Fonte: Java Climate Model

Come si può osservare, le zone più colpite dall'incremento delle temperature sono anche i questo caso le aree appartenenti al circolo polare artico. Qui la crescita è ipotizzata essere dai 5 fino agli 8 gradi al di sopra dei valori preindustriali. Le consegue per gli ecosistemi presenti e per il territorio sarebbero devastanti. L'aumento medio per le altre aree del pianeta è di circa 3 o 4 gradi, a seconda delle caratteristiche geografiche e della latitudine del luogo. Anche in questo caso, i cambiamenti apportati dal riscaldamento globale avrebbero conseguenze pesanti sull'ambiente e anche sulla vita dell'uomo. In questo scenario, nei prossimi decenni gli sforzi dei governi dovranno incentrarsi non solo sulla riduzione delle emissioni, ma anche su politiche di adattamento alle nuove condizioni climatiche.

Infine, è riportato anche il grafico relativo all'andamento della temperatura media globale. Esso mostra come la temperatura cresca costantemente fino a circa il 2080, anno dopo il quale il suo incremento tende a ridursi. Secondo tali previsioni, alla fine del nostro secolo, la temperatura media del nostro pianeta sarà aumentata di almeno 3 gradi al di sopra dei livelli preindustriali. La soglia limite dei 2 °C verrebbe oltrepassata già nel 2050, circa 50 anni prima rispetto alle previsioni dello scenario IPCC per contenere gli effetti del cambiamento climatico e del riscaldamento globale.

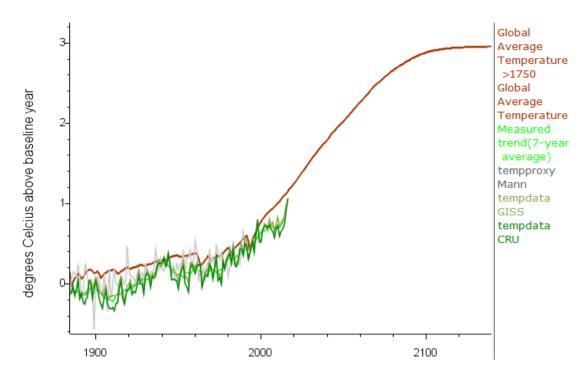


Fig. 66 – Andamento temperatura media globale, scenario "Actual trend". Fonte: Java Climate Model

Per concludere l'analisi di questa panoramica del futuro, vengono illustrate le emissioni globali di CO₂ in relazione all'andamento del prodotto interno lordo mondiale.

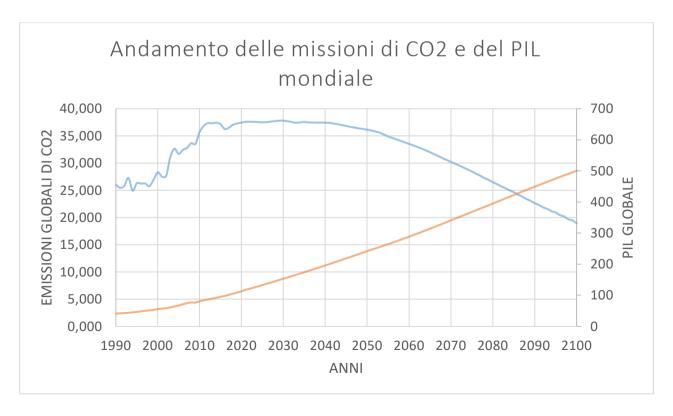


Fig. 67 – Andamento emissioni globali di CO₂ e PIL mondiale, scenario "Actual trend"

A partire da questi dati è possibile ottenere la curva relativa alla intensità carbonica, meglio conosciuta con il termine inglese carbon intensity, sempre espressa in dal rapporto tra emissioni di CO₂ in kg e dal il PIL globale in dollari statunitensi.

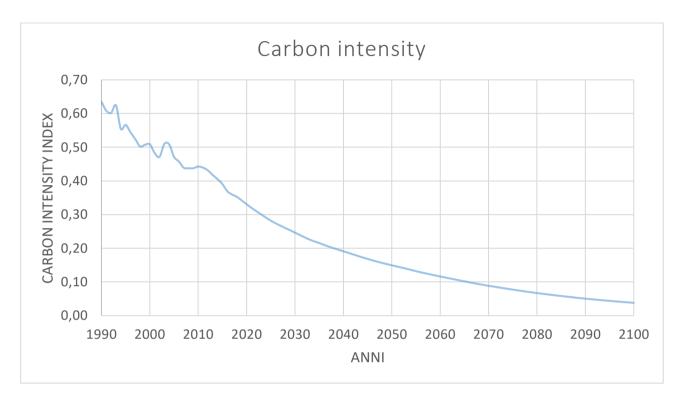


Fig. 68 – Andamento indicatore Carbon Intensity, scenario "Actual trend"

Dal grafico si nota come questo parametro tenda sempre a decrescere nel tempo. Tuttavia, a causa di una maggiore produzione di carbonio rispetto agli scenari precedenti, la sua discesa risulta essere più lenta rispetto a quella ipotizzata dall'IPCC per mantenere l'aumento delle temperature al di sotto dei 2 °C.

7 Conclusioni

Nella prima parte di questo documento è stata analizzata l'evoluzione del panorama energetico europeo ed italiano, partendo dal passato fino ad arrivare al presente. Da questo studio è possibile estrapolare la situazione energetica attuale, individuandone le principali problematiche correlate allo sfruttamento delle risorse energetiche in chiave geopolitica, economica ed ambientale. Attraverso questa analisi è anche possibile individuare gli obiettivi per gli anni avvenire, stabiliti sia a livello globale che a livello nazionale, oltre che determinare le possibili soluzioni per i problemi attuali e del futuro. Da questi presupposti è plausibile delineare delle previsioni inerenti al futuro dell'energia e delle emissioni di gas climalteranti, attraverso la formulazione di vari scenari, ognuno diverso a seconda delle ipotesi di partenza e degli obiettivi fissati.

La seconda parte del documento è incentrata proprio su questo punto. A partire da diversi fattori, tra cui alcuni parametri socio-economici, come l'andamento demografico e della ricchezza globale, ed altri parametri legati ai consumi energetici e all'immissioni di carbonio in atmosfera, focalizzandosi sull'obiettivo che si vuole raggiungere, è possibile ottenere attraverso Java Climate Model proiezioni del futuro precise e coerenti in relazione ai risultati raggiunti dall'IPCC.

In conclusione, questo lavoro si pone come fine quello di comprendere il futuro studiando il passato. Lo scopo, quindi, è quello di ricavare le informazioni dagli anni passati attraverso l'osservazione di alcuni parametri essenziali e, attraverso l'analisi di quest'ultimi, in base a come tali fattori hanno caratterizzato il passato, ricreare un possibile andamento del futuro.

8 Riferimenti

- 1. Eurostat: https://ec.europa.eu/eurostat/cache/infographs/energy/index.html?lang=en
- 2. Commisione Europea: https://ec.europa.eu/info/strategy/international-strategies/sustainable-development-goals/eu-and-united-nations-common-goals-sustainable-future it
- 3. IPCC, 2018: Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. Cambridge University NY. Press. Cambridge, UK and New York. USA. 3-24. pp. https://doi.org/10.1017/9781009157940.001
- 4. Eurostat: L'interconnessione dei mercati dell'energia garantisce la sicurezza dell'approvvigionamento, l'integrazione dei mercati e l'utilizzo su vasta scala delle energie rinnovabili.

https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/it/MEMO 15 4486

- 5. Kirsten Westphal, Maria Pastukhova, Jacopo Maria Pepe. Geopolitics of Electricity: Grids, Space and (political) Power

 https://www.gwp.horlin.org/10.18440/2022P.P06/#hd.d27840e084
 - https://www.swp-berlin.org/10.18449/2022 RP06/#hd-d37840e984
- Strategia per l'idrogeno per un'Europa climaticamente neutra: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/document/print/it/qanda_20_1257/QA NDA 20 1257 IT.pdf

7. Eurostat: statistiche dell'energia. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_statistics_an overview&action=statexp-seat&lang=it#Consumo finale di energia

8. European Commission, Directorate-General for Energy, EU energy in figures: statistical pocketbook 2021, Publications Office of the European Union, 2021. https://data.europa.eu/doi/10.2833/511498

- 9. NOAA trend in atmospheric carbon dioxide. https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/
- 10. Eurostat: emissioni nette di gas serra https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/SDG_13_10/bookmark/table?lang=en&book markId=844c1fa2-d7c4-4454-9720-c87128f218f7
- 11. Dr. Testoni Raffaella, Ing. Montrucchio Mauro, Slides del modulo "Sostenibilità" del corso "Impianti di produzione di potenza, controllo e sostenibilità".
- 12. Greenhouse Gas Protocol: https://ghgprotocol.org/
- 13. Jing-he Wang, Jamal Mamkhezri, Mohsen Khezri, Mohammad Sharif Karimi, Yousaf Ali Khan. Insights from European nations on the spatial impacts of renewable energy sources on CO2 emissions. Energy Reports 8 (2022) 5620–5630
- Qiang Wang, Rui Huang, Rongrong Li. Towards smart energy systems A survey about the impact of COVID-19 pandemic on renewable energy research. Energy Strategy Reviews 41 (2022) 100845
- 15. Jan Osiča, Filip Černoch. European energy politics after Ukraine: The road ahead. Energy Research & Social Science 91 (2022) 102757

- 16. Rai news: https://www.rainews.it/articoli/2022/03/le-esportazioni-della-russia-la-scheda-dei-settori-messi-in-crisi-dalle-sanzioni-6ee9ffa0-e65c-4179-a7fa-0a29ba9c7935.html
- 17. Rai news: https://www.rainews.it/articoli/2022/03/le-esportazioni-della-russia-la-scheda-dei-settori-messi-in-crisi-dalle-sanzioni-6ee9ffa0-e65c-4179-a7fa-0a29ba9c7935.html
- 18. Gestore dei Mercati Energetici SpA-https://www.mercatoelettrico.org/it/
- 19. Indici di mercato Elettricità: https://luce-gas.it/guida/mercato/andamento-prezzo/energia-elettrica
- 20. Indici di mercato Gas: https://www.theice.com/products/27996665/Dutch-TTF-Gas-Futures/data?marketId=5508663&span=3
- 21. La situazione energetica nazionale nel 2021. Ministero della transizione ecologica. Dipartimento energia. Direzione generale infrastrutture e sicurezza. https://dgsaie.mise.gov.it/pub/sen/relazioni/relazione_annuale_situazione_energetica_nazion ale dati 2021.pdf
- 22. Mappa dei giacimenti di gas naturale in Italia.

 https://www.geopop.it/mappa-dei-giacimenti-di-gas-in-italia-dove-si-estrae-nel-nostro-paese/
- 23. Centrali a carbone in Italia:

https://www.green.it/litalia-nera-ecco-carbone/#:~:text=La%20sua%20produzione%2C%20sempre%20secondo,decenni%20%C3%A8%20stata%20molto%20discontinua.

24. https://www.isprambiente.gov.it/it/archivio/notizie-e-novita-normative/notizie-ispra/2021/04/emissioni-di-gas-serra-in-calo-nel-2019