



**Politecnico
di Torino**

POLITECNICO DI TORINO

Dipartimento di Energia

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica e Nucleare

Tesi di Laurea Magistrale

**Analisi ed efficientamento energetico della rete di distribuzione
del complesso Lingotto**

Relatori:

Prof. Marco Maria Masoero

Prof. Jacopo Toniolo

Candidato:

Andrea Bessone

A.A. 2021 – 2022

Sommario

Introduzione	3
1. Panoramica energetico-ambientale	4
1.1 IPCC	5
1.2 Il riscaldamento globale	6
1.3 Impatti del cambiamento climatico	9
1.4 Scenari futuri	12
1.5 Il fabbisogno energetico globale	15
1.5.1 La crescita del consumo di energia primaria	16
1.5.2 Evoluzione del mix energetico	20
1.5.3 Scenari futuri per il fabbisogno energetico	23
2 Panoramica economico-legislativa	26
2.1 I trattati internazionali	27
2.2 SDG	33
2.3 Unione Europea	36
2.3.1 Il Piano 20-20-20	37
2.3.2 Il Green Deal Europeo	39
2.3.3 La Tassonomia Europea	40
2.3.4 Next Generation EU	43
2.4 Italia	45
2.4.1 Consumi generali	46
2.4.2 PNRR	51
3 Sistemi di controllo e misurazione	55
3.1 BMS	56
3.2 Strumenti di misura	59

3.2.1	Direttiva MID	61
3.2.2	Misuratori di temperatura	62
3.2.3	Misuratori di portata	66
3.2.4	Misuratori di potenza ed energia termica	71
3.3	Controllori	72
3.4	Protocolli di comunicazione	76
3.4.1	Modbus	77
3.4.2	M-Bus	82
3.4.3	Enerbrain.....	83
4	Caso Studio: il complesso del Lingotto	84
4.1	Storia	85
4.2	Impianto di distribuzione attuale.....	90
4.2.1	Le centrali termo-frigorifere	92
4.2.2	Distribuzione.....	96
4.3	Analisi effettuate	101
4.3.1	Confronto fra letture e teleletture.....	102
4.3.2	Analisi sui consumi energetici.....	104
4.4	Intervento di sostituzione delle valvole.....	106
4.5	Possibili sviluppi futuri	114
	Conclusioni	116
	Bibliografia	117
	Appendice A	123
	Appendice B	125

Introduzione

Recentemente il riscaldamento globale è diventato uno dei temi principali nell'Agenda politica globale e italiana ed è ormai dimostrato da numerosi studi scientifici che la causa principale dell'innalzamento delle temperatura è l'attività umana. A partire dagli Anni 70 sono stati numerosi i trattati internazionali e gli investimenti approvati e implementati dagli organi decisionali con l'intento di mantenere l'aumento della temperatura entro un limite di 1.5 [°C]. Nel corso di questo elaborato si è deciso di affrontare il tema del cambiamento climatico partendo da una visione più ampia, utilizzando i report redatti dall'IPCC, e andando successivamente ad analizzare il fabbisogno energetico globale e la sua evoluzione. Successivamente sono stati esaminati i trattati internazionali per comprendere al meglio il percorso che ha portato all'Agenda 2030 redatta dall'ONU e alla tassonomia europea, salita alla ribalta recentemente per le decisioni prese riguardanti il nucleare. Inoltre, è stato analizzato più in dettaglio il consumo energetico dell'Italia e quali sono le misure varate dal Governo per riuscire a raggiungere gli obiettivi comunitari imposti dal NextGenerationEU e dal Green Deal Europeo.

Uno dei settori che più impatta sul cambiamento climatico in termini di emissione di gas serra è quello legato all'energia, in particolare all'uso dell'energia negli edifici, nei trasporti e nell'industria. Per riuscire a intervenire in maniera efficace in questi settori è necessario prevedere degli interventi che permettano un uso più efficiente dell'energia in termini di produzione, distribuzione e monitoraggio. Nel proseguo della trattazione sono stati dunque presentati i BMS (*Building Management System*) e le tipologie di controllo che possono essere attuate su di essi. Successivamente sono stati analizzati i componenti principali necessari al corretto funzionamento di tali sistemi, a partire dai dispositivi di misurazione, proseguendo con i dispositivi di controllo e concludendo con i sistemi di comunicazione fra l'hardware installato in campo.

In conclusione è stato affrontato il caso studio di un centro commerciale di Torino, in cui è stato analizzato l'impianto di distribuzione e i consumi di energia rilevati dai contatori esistenti. Sulla base dei risultati di queste analisi si è deciso di effettuare una prova di installazione di una valvola di regolazione *pressure independent* che può essere controllata da remoto ed è dotata di un sistema di misurazione, utilizzabile come feedback del corretto funzionamento dei contatori attualmente installati.

1. Panoramica energetico-ambientale

Uno dei grandi problemi che riguarda l'intera popolazione globale negli ultimi decenni è costituito dai cambiamenti climatici, che vanno a modificare in maniera sostanziale le condizioni climatiche in diverse regioni del mondo e di conseguenza le società e gli ecosistemi di tali aree. In particolare il riscaldamento globale (o *global warming*) è uno dei temi di maggiore attualità nelle discussioni pubbliche, politiche ed economiche ed è ormai provato che tale fenomeno derivi principalmente dalle emissioni di gas serra (GHG, *Green House Gases*) che sono dovute alle attività umane.

A partire dal 1997 con il Protocollo di Kyoto la comunità internazionale ha iniziato a interrogarsi su come contrastare il problema dell'innalzamento della temperatura e a proporre soluzioni e obiettivi da raggiungere per cercare di limitarne gli effetti negativi. Negli anni a seguire sono stati fatti molti passi avanti durante gli incontri internazionali convocati specificatamente per parlare di questa problematica e, più in generale, i governi dei singoli Stati hanno iniziato a rendere centrale il tema della sostenibilità e della lotta al cambiamento climatico nelle decisioni politiche intraprese.

Nonostante i segnali e le decisioni positive nate da questi incontri, recentemente, sono state numerose le iniziative e le manifestazioni civili, come i *Fridays For Future*, volte ad aumentare la consapevolezza generale riguardo al tema del cambiamento climatico e a richiedere misure più adeguate rispetto a quelle previste, per poter combattere con efficacia il riscaldamento globale e le emissioni di GHG. Una delle tematiche più importanti da affrontare per ridurre le emissioni di inquinanti è la domanda globale di energia e le sue modalità di utilizzo. Complice il grande sviluppo economico e tecnologico dalla seconda metà del XX secolo, il fabbisogno energetico globale è stato in costante aumento e di conseguenza anche le emissioni di GHG in atmosfera sono aumentate. In particolare, una grande parte delle emissioni riguarda l'utilizzo dell'energia in alcuni settori chiave come quello industriale, edilizio e dei trasporti.

In questo capitolo verranno analizzate le cause del cambiamento climatico e i suoi effetti a breve e lungo termine, focalizzandosi sull'andamento delle emissioni di gas serra in relazione ad essi. Successivamente verrà esposta una breve panoramica sul fabbisogno energetico globale e sugli scenari futuri ipotizzabili a seconda delle politiche energetiche intraprese.

1.1 IPCC

Prima di procedere con l'analisi dei cambiamenti climatici attualmente in atto sul nostro Pianeta, è importante specificare che per conoscere le cause del riscaldamento globale e degli altri cambiamenti e decidere quali sono le misure adatte da intraprendere per contrastarli, i governi e le organizzazioni internazionali si basano sui report sviluppati dall'IPCC che analizzano i cambiamenti climatici, osservano i loro effetti e i loro possibili sviluppi futuri. L'IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) è un'organizzazione internazionale creata nel 1988 dal *World Meteorological Organization* (WMO) e dal *United Nations Environment Program* (UNEP) per fornire ai responsabili politici delle valutazioni periodiche sulle basi scientifiche riguardanti il cambiamento climatico, i suoi impatti, i rischi futuri e le opzioni di adattamento e mitigazione. L'IPCC si divide in tre Gruppi di Lavoro (WG) e una Task Force. Il Gruppo di Lavoro 1 (WGI) si occupa delle basi scientifiche riguardanti i cambiamenti climatici, il Gruppo di Lavoro 2 (WGII) lavora sugli impatti del cambiamento climatico, l'adattamento e la vulnerabilità nelle diverse aree del Mondo, il Gruppo di Lavoro 3 (WGIII) ha il compito di valutare la mitigazione del cambiamento climatico. L'obiettivo principale della Task Force è quello di sviluppare e raffinare un metodo di calcolo e reportistica delle emissioni e della rimozione di GHG.

L'ultimo report completo disponibile sulla piattaforma dell'IPCC è il *Fifth Assessment Synthesis Report* (AR5), pubblicato nell'ottobre 2014, che consiste in una sintesi del lavoro dei Gruppi di Lavoro. Nell'agosto 2021 è stato pubblicato il report del WGI chiamato "*AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis*" che tratta il cambiamento climatico andando ad indicarne le basi scientifiche. Nel febbraio 2022, invece, è stato pubblicato il report del WGII intitolato "*AR6 Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*" che parla degli impatti futuri dovuti ai cambiamenti climatici e degli aumenti di vulnerabilità in numerose regioni nel Mondo. Nel mese di aprile 2022 è stato pubblicato il report del WGIII chiamato "*AR6 Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change*" che propone varie misure per mitigare il cambiamento climatico negli anni a venire in modo da mantenere l'innalzamento della temperatura media globale entro i 1.5 [°C]. Entro la fine del 2022 verrà pubblicato il report di sintesi, già denominato come *Sixth Assessment Synthesis Report* (AR6).

1.2 Il riscaldamento globale

È ormai inequivocabile che le svariate attività umane abbiano influenzato in maniera radicale il riscaldamento dell'atmosfera, degli oceani e delle terre. Di conseguenza, sono avvenuti molti cambiamenti diffusi e rapidi nell'atmosfera, negli oceani e nella biosfera che hanno portato a numerose situazioni di rischio e pericolo in svariate aree del globo.

Questi cambiamenti sono stati causati principalmente dalle variazioni nelle emissioni e concentrazioni dei gas serra, anche detti GHG. Secondo i vari report dell'IPCC i tre principali gas responsabili dell'effetto serra sono l'anidride carbonica (CO₂), il metano (CH₄) e l'ossido nitroso (N₂O).

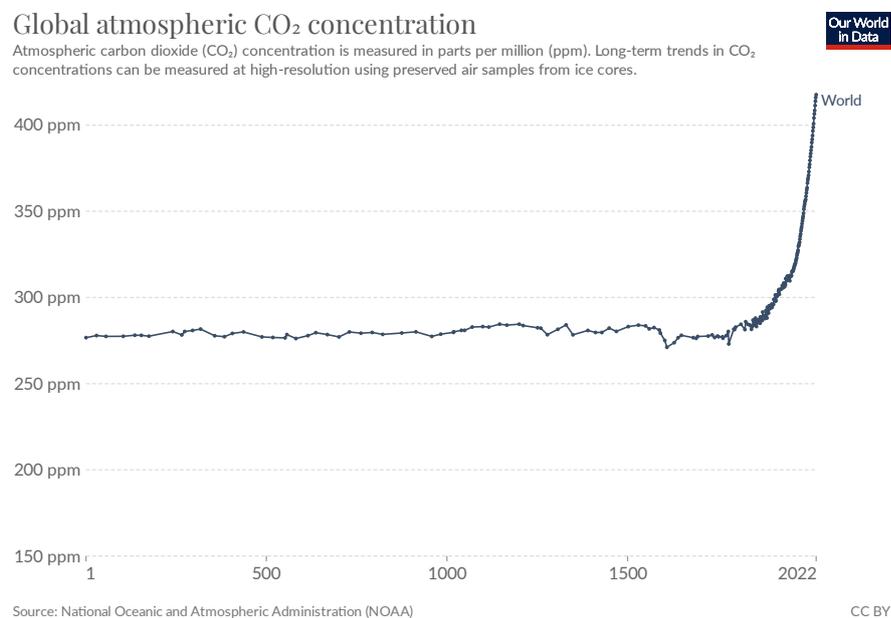


Figura 1 - Concentrazione atmosferica globale della CO₂ (1)

Dal 1750 le concentrazioni di GHG sono notevolmente aumentate in conseguenza alle attività antropiche. In particolare, esse hanno subito un brusco aumento dal 2011 in poi, raggiungendo infine nel 2019 una media annuale di 410 [ppm] per quanto riguarda la CO₂, 1886 [ppb] per il CH₄ e 332 [ppb] per il N₂O. La concentrazione di CO₂ nell'atmosfera è cresciuta del 47% rispetto a quella dell'era prima della rivoluzione industriale e anche le concentrazioni di CH₄ e N₂O hanno subito incrementi molto elevati, rispettivamente del 156% e del 23%. (2)

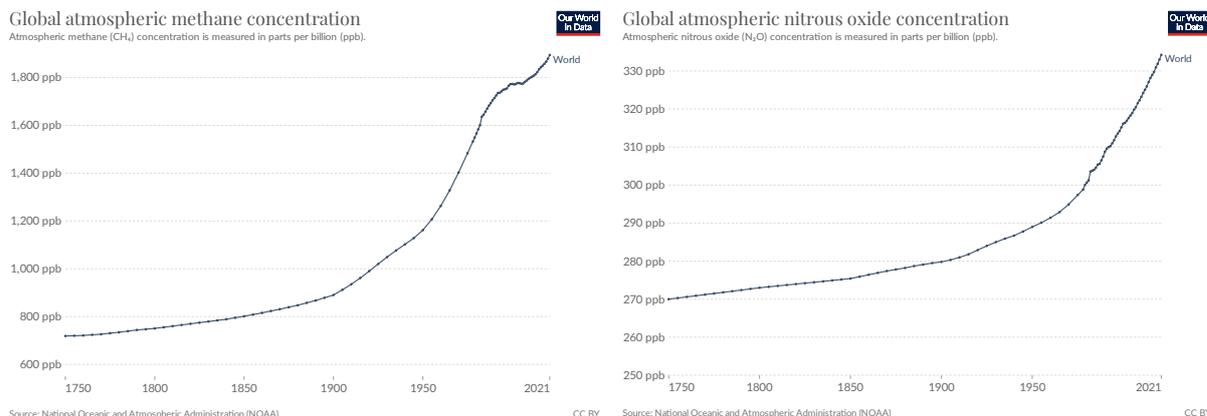


Figura 2 - Andamento della concentrazione di CH₄ e N₂O nell'atmosfera (1)

Questo aumento così significativo delle concentrazioni rispetto ai livelli pre-industriali ha portato, come già evidenziato nei paragrafi precedenti, a un progressivo aumento della temperatura media globale, rappresentato nei grafici della Figura 3.

Changes in global surface temperature relative to 1850-1900

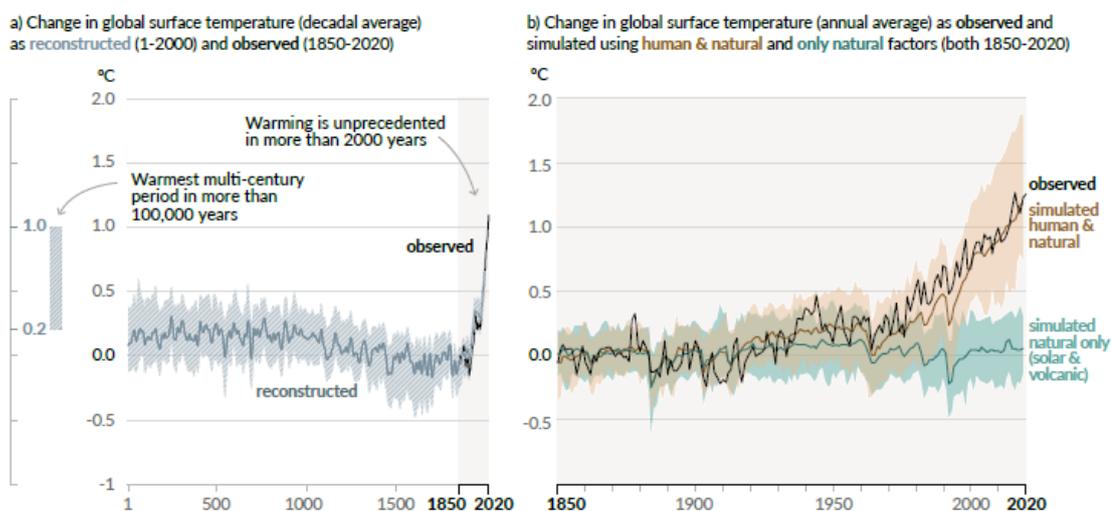


Figura 3 - Cambiamenti della temperatura media globale nel tempo (2 p. 7)

Il cambiamento climatico indotto dall'uomo già adesso sta alterando in maniera estrema il clima di diverse regioni del mondo. Le ondate di caldo sono diventate più intense e frequenti su un numero sempre maggiore di aree dal 1950 in poi, mentre i periodi di freddo estremo sono diventati meno frequenti e meno rigidi. (2). La mappa seguente (Figura 4), presa dal report sulle temperature globali *Berkeley Earth*, mostra come nel 2019 sia stato registrato un maggiore aumento delle temperature sulle aree terrestri in

comparazione alle aree oceaniche. Inoltre è possibile notare che gli aumenti maggiori di temperatura sono localizzati nelle aree vicino ai Poli. In generale in tutto il globo si è registrato un aumento di temperatura fra 0.5 [°C] e 2 [°C].

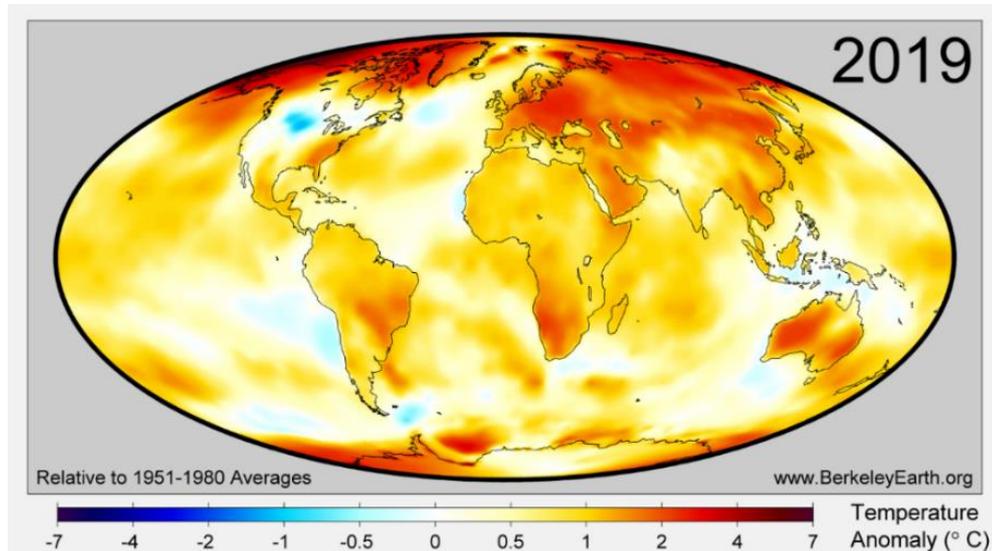


Figura 4 - Anomalie della temperatura media sulla superficie globale (3)

Questo aumento di temperatura media globale, che può essere considerata come la temperatura combinata tra quella sulla terraferma e quella sulla superficie del mare, è considerata come la causa principale della desertificazione, dello scioglimento dei ghiacci e dell'aumento del livello degli oceani e dell'intensificarsi di severi fenomeni atmosferici quali alluvioni e uragani.

Come verrà approfondito nei paragrafi successivi, gli effetti negativi dovuti all'innalzamento della temperatura non si limitano semplicemente ai fenomeni atmosferici o a cambiamenti degli ecosistemi, ma impattano in maniera decisa anche la società umana, in maniera più o meno grave a seconda della regione e della resilienza degli Stati a reagire ai cambiamenti.

1.3 Impatti del cambiamento climatico

I cambiamenti climatici causati dall'essere umano, anche gli eventi più frequenti ed estremi, hanno portato a uno spargimento di effetti negativi e, di conseguenza, a perdite o danni agli ecosistemi e alla società andando oltre la normale variabilità climatica della natura. L'aumento di eventi climatici estremi ha portato anche ad alcuni tipi di impatto irreversibili che rendono impossibile l'adattamento di ecosistemi o società umane.

Per valutare gli impatti dovuti al cambiamento climatico, ogni Gruppo di Lavoro ha considerato il concetto del rischio come fondamentale in tutti i report. Il rischio è definito come “la possibilità di subire un danno, collegata a circostanze più o meno prevedibili” (4), nell'ambito del cambiamento climatico rappresenta le potenziali conseguenze negative per ecosistemi o società e fornisce un quadro per comprendere al meglio l'aumentare di gravi, interconnessi e a volte irreversibili danni su ecosistemi, biodiversità e società umana.

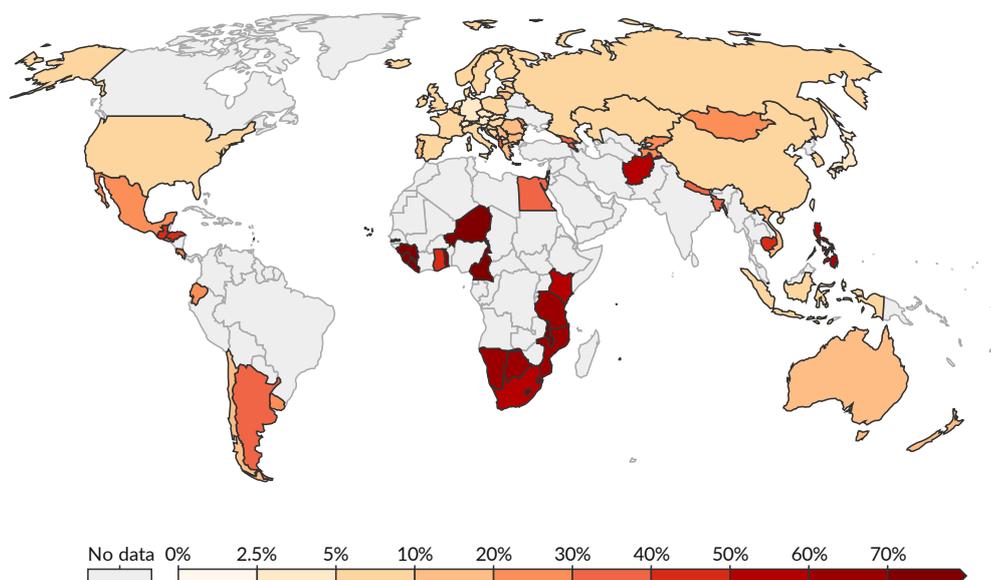
Si stima che se la temperatura media globale raggiungesse un aumento di 1.5 [°C] nel breve periodo, ci sarebbero inevitabilmente maggiori pericoli climatici e si presenterebbero molteplici rischi per gli ecosistemi e le società. Il livello di questi rischi dipenderà fortemente dalle misure che verranno intraprese in riferimento alla vulnerabilità, allo sviluppo socio-economico e all'adattamento delle società. Se saranno implementate nel breve termine azioni che limitino il riscaldamento globale nell'intorno di 1.5 [°C], allora potrebbero essere sostanzialmente ridotte le perdite e i danni ipotizzati sugli ecosistemi e sui sistemi umani, ma non è possibile eliminarli completamente. (5)

Fino ad ora il riscaldamento globale ha ridotto la sicurezza di approvvigionamento di cibo e acqua, ostacolando gli sforzi di raggiungere alcuni degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDG, *Sustainable Development Goals*). Nonostante la produttività agricola sia generalmente migliorata e aumentata, il cambiamento climatico ha rallentato di molto questa crescita negli ultimi 50 anni. Inoltre il riscaldamento degli oceani e l'acidificazione delle acque hanno avuto effetti avversi sulla produzione di cibo derivante da colture acquatiche e attività di pesca. Per quanto riguarda la scarsità di acqua, approssimativamente metà della popolazione globale vive per una grande parte dell'anno in condizioni di siccità a causa di fattori climatici estremi.

L'aumento di tali eventi estremi e il generale peggioramento del clima, unito anche alla malnutrizione derivante da una scarsa varietà nella dieta, a sua volta causata dalla perdita di biodiversità, hanno influenzato negativamente la salute fisica di molte persone a livello globale e in alcune determinate regioni come l'Africa Sub-Sahariana, l'Africa Meridionale e il Sud-America, rappresentate con il colore scuro nella Figura 5.

Share of population with moderate or severe food insecurity, 2017

Food insecurity is defined by the Food Insecurity Experience Scale (FIES). Moderate food insecurity is generally associated with the inability to regularly eat healthy, nutritious diets. Severe food insecurity is more strongly related to insufficient quantity of food (energy) and therefore strongly related to undernourishment or hunger.



Source: UN Food and Agriculture Organization (FAO)

OurWorldInData.org/hunger-and-undernourishment • CC BY

Figura 5 - Percentuale di popolazione con moderata o grave insicurezza nell'approvvigionamento del cibo nel 2017 (6)

Nelle aree maggiormente urbanizzate il cambiamento climatico ha causato diversi tipi di impatto sulla salute umana e su determinate infrastrutture chiave. In alcuni casi eventi estremi e di lenta insorgenza hanno compromesso dei servizi fondamentali, come per esempio i trasporti, l'approvvigionamento d'acqua, i servizi igienici ed energetici, con conseguenti perdite economiche, interruzioni di servizio e impatti sul benessere della popolazione. Il cambiamento del clima ha causato una grande variazione nella vulnerabilità degli ecosistemi e delle persone fra regioni diverse e anche all'interno delle stesse. Questa è una conseguenza delle numerose interconnessioni tra lo sviluppo socio-economico, l'uso insostenibile del suolo e degli oceani e i processi di disuguaglianza e marginalizzazione in atto.

Dal report AR5, sono aumentate a livello globale le ricerche e i risultati che dimostrano che la degradazione e la distruzione degli ecosistemi da parte delle attività umane (emissione di inquinanti, uso insostenibile delle risorse e del suolo) hanno aumentato la vulnerabilità delle persone e degli ecosistemi, influenzando negativamente la loro capacità, come quella degli ecosistemi, di adattarsi ai cambiamenti del clima. Si pensa che oltre il 2040, a seconda del livello di riscaldamento globale, i cambiamenti climatici porteranno numerosi rischi riguardo i sistemi naturali e umani. La gravità e il tasso dei cambiamenti climatici e dei rischi associati ad esso dipendono fortemente dalle azioni di mitigazione e adattamento nel breve periodo che verranno adottate e con l'incremento graduale del riscaldamento globale aumentano i danni sulle società e sugli ecosistemi. (5)

Continuando l'analisi sul medio-lungo periodo, gli impatti e i rischi diventano sempre più complessi e difficili da prevedere. In alcuni casi potrebbero anche accadere simultaneamente e interagire, creando un rischio complessivo maggiore o innescando una serie di rischi a cascata attraverso settori e regioni diverse. In alcune zone specifiche come l'Amazzonia o le regioni montane, gli impatti a cascata comporteranno perdite irreversibili o molto gravi negli ecosistemi e nella biodiversità. In altre regioni le condizioni climatiche estreme causeranno impatti economici e sociali notevoli per le *supply chain*, i mercati e i flussi di risorse oltre a rischi sempre crescenti per i settori dell'acqua, dell'energia e del cibo.

Come si comprende da questa breve panoramica, i rischi legati al cambiamento climatico sono potenzialmente molto gravi e potrebbero influenzare numerosi settori e regioni anche molto distanti fra loro, a causa della grande interconnessione delle economie e dei mercati. È dunque necessario ripensare l'organizzazione delle nostre società, rivedere gli obiettivi di riduzione delle emissioni e investire in maniera importante in forme di energia più pulite e nell'uso efficiente delle risorse per riuscire a contrastare gli effetti negativi del surriscaldamento globale che già adesso influenzano le nostre società.

1.4 Scenari futuri

Il report prodotto dal WGI ha identificato cinque possibili scenari che potrebbero verificarsi nei decenni a venire e si distinguono in base alle emissioni di GHG e alle azioni politiche che potrebbero essere implementate per ridurre tali emissioni. I cinque scenari individuati e presentati in Figura 6 sono:

- SSP1-1.9 (molto basse emissioni di GHG)
- SSP1-2.6 (basse emissioni di GHG)
- SSP2-4.5 (intermedie emissioni di GHG)
- SSP3-7.0 (alte emissioni di GHG)
- SSP5-8.5 (molto alte emissioni di GHG)

La prima parte del nome indica la parte socio-economica dello scenario, mentre la seconda parte si riferisce al livello approssimativo di emissioni radiative in $[W/m^2]$ che risulterebbero dallo scenario nell'anno 2100. Questa convenzione è stata adottata di modo che nella letteratura sia possibile tracciare a quale specifico scenario viene fatto riferimento come input in un modello climatico. Questi cinque scenari che sono stati analizzati nel report sono stati scelti come rappresentazione di situazioni in cui le emissioni di GHG raggiungessero nel 2050 o nel 2100 valori pari al doppio del livello attuale (vedasi scenari SSP5-8.5 e SSP3-7.0), casi in cui le emissioni di gas serra rimangono ai livelli correnti fino alla metà del XXI secolo (vedasi scenario SSP2-4.5) e infine casistiche in cui si raggiunge un'emissione netta di CO_2 pari a zero e le emissioni di GHG sono molto basse (SSP1-1.9 e SSP1-2.6).

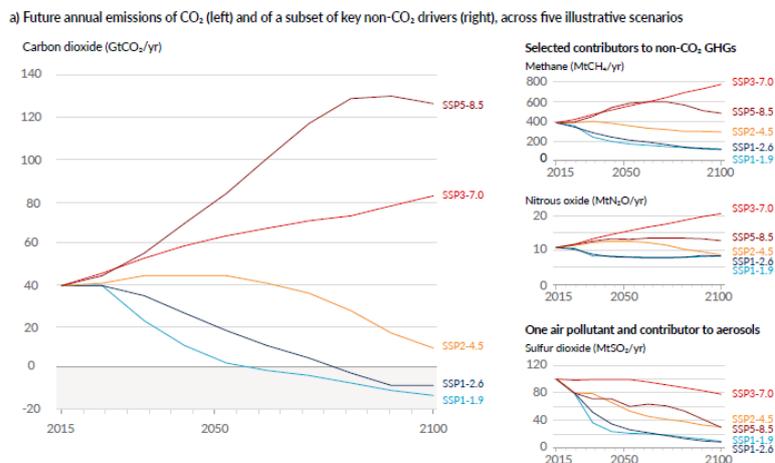


Figura 6 - Rappresentazione dell'evoluzione delle emissioni di CO_2 , CH_4 e N_2O nei prossimi decenni in base allo scenario considerato (2 p. 16)

b) Contribution to global surface temperature increase from different emissions, with a dominant role of CO₂ emissions
Change in global surface temperature in 2081-2100 relative to 1850-1900 (°C)

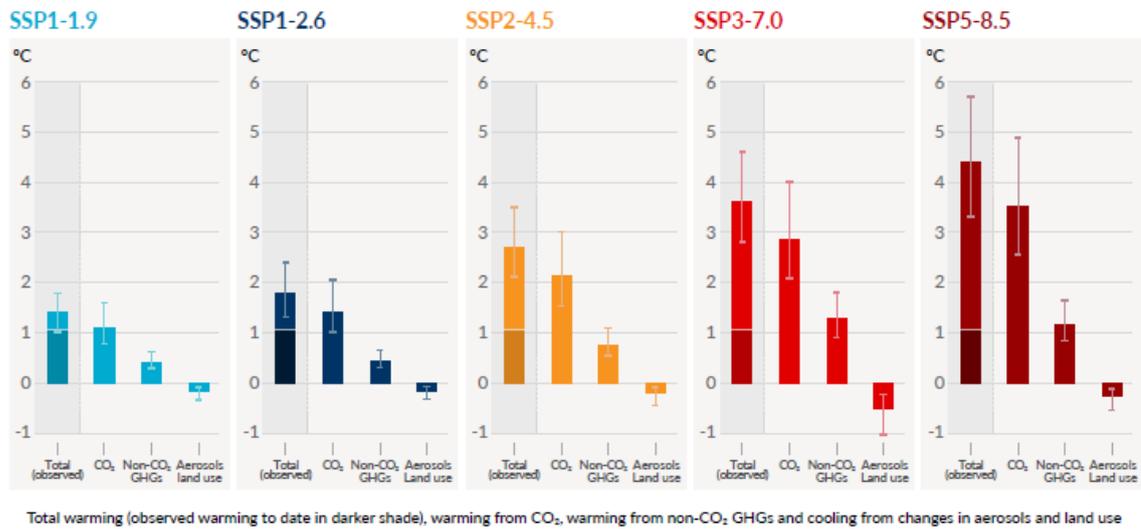


Figura 7 - Aumento della temperatura media globale in base allo scenario considerato (2 p. 16)

La temperatura globale superficiale è destinata ad aumentare almeno fino alla metà del XXI secolo in tutti gli scenari considerati e quasi sicuramente sarà sorpassato il limite di 1.5 [°C] a meno di grandi riduzioni delle emissioni di GHG nel breve termine.

Tabella 1 - Aumento della temperatura media globale nel breve, lungo e medio periodo in base allo scenario considerato (2 p. 18)

Scenario	Near term, 2021–2040		Mid-term, 2041–2060		Long term, 2081–2100	
	Best estimate (°C)	Very likely range (°C)	Best estimate (°C)	Very likely range (°C)	Best estimate (°C)	Very likely range (°C)
SSP1-1.9	1.5	1.2 to 1.7	1.6	1.2 to 2.0	1.4	1.0 to 1.8
SSP1-2.6	1.5	1.2 to 1.8	1.7	1.3 to 2.2	1.8	1.3 to 2.4
SSP2-4.5	1.5	1.2 to 1.8	2.0	1.6 to 2.5	2.7	2.1 to 3.5
SSP3-7.0	1.5	1.2 to 1.8	2.1	1.7 to 2.6	3.6	2.8 to 4.6
SSP5-8.5	1.6	1.3 to 1.9	2.4	1.9 to 3.0	4.4	3.3 to 5.7

In relazione diretta con il maggiore riscaldamento globale avverranno numerosi ulteriori cambiamenti climatici in più rispetto a quanto previsto dalla ricerca scientifica negli ultimi anni. Questi comprendono l'aumento in frequenza e intensità dei periodi di caldo intenso, forti precipitazioni in un lasso di tempo maggiormente ridotto, una più pressante

siccità agricola in molte regioni del mondo e la riduzione della copertura di neve, ghiaccio e permafrost, soprattutto nelle regioni artiche. Di seguito vengono presentati vari scenari globali a seconda del *range* di aumento della temperatura e dell'effetto causato.

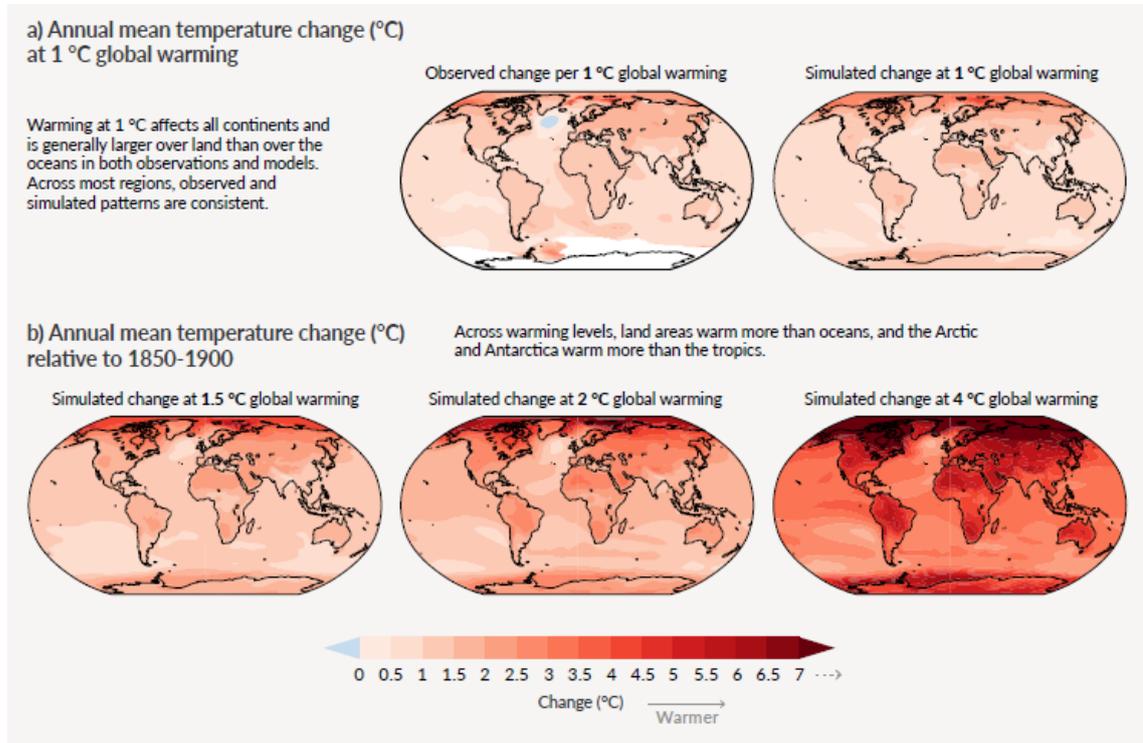


Figura 8 - a) Cambiamenti della temperatura media globale con un riscaldamento globale di 1°C; b) Simulazione dei cambiamenti della temperatura media annuale in base a diversi aumenti di temperatura (+1.5°C, +2°C, +4°C) (2 p. 21)

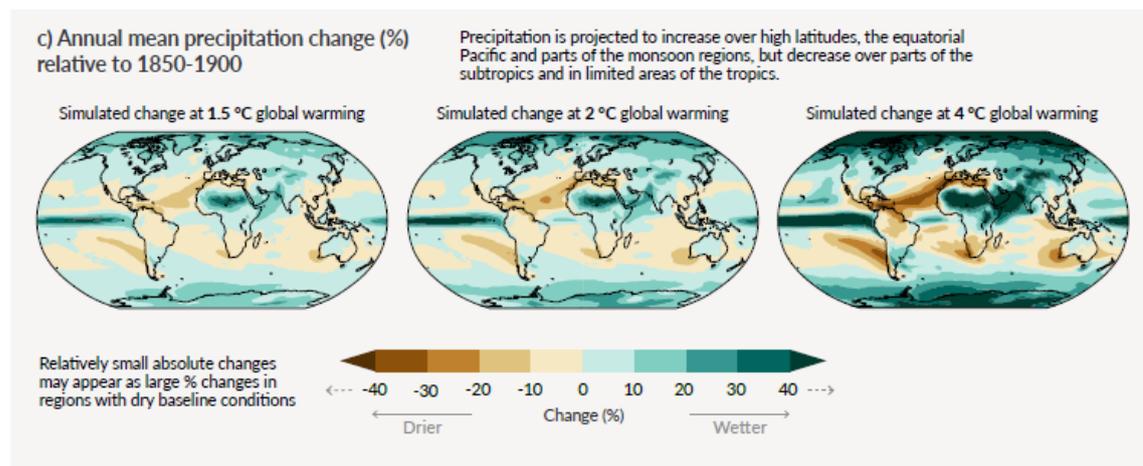


Figura 9 - Cambiamento delle precipitazioni in base all'aumento di temperatura (+1.2°C, +2°C, +4°C) (2 p. 22)

1.5 Il fabbisogno energetico globale

La crescita della domanda e della produzione di energia sono gli argomenti più strettamente legati all'aumento delle emissioni di GHG. Come si vede dalla Figura 10 il settore dell'energia è quello che contribuisce maggiormente alle emissioni di gas serra (73%) e viene suddiviso in tre settori: trasporti, edilizia e industria. Il settore dei trasporti, che comprende sia il trasporto su strada che i trasporti navali e aerei, contribuisce per il 16% alle emissioni di GHG. Il settore industriale contribuisce con il 24% alle emissioni totali di GHG, mentre il settore edile, che comprende sia gli edifici residenziali che quelli commerciali, ricopre il 17,5% delle emissioni totali di GHG. Considerando che il settore energetico è il più impattante dal punto di vista delle emissioni, è possibile ottenere notevoli miglioramenti grazie ad azioni riguardanti l'efficienza dei processi produttivi, la riduzione delle emissioni grazie allo sviluppo tecnologico, il potenziamento del monitoraggio energetico e ambientale e il miglioramento dell'utilizzo dell'energia. Per identificare correttamente gli ambiti in cui è necessario intervenire e le cause dell'aumento delle emissioni di gas serra, è fondamentale comprendere a fondo l'evoluzione del fabbisogno energetico globale e i suoi aspetti più importanti.

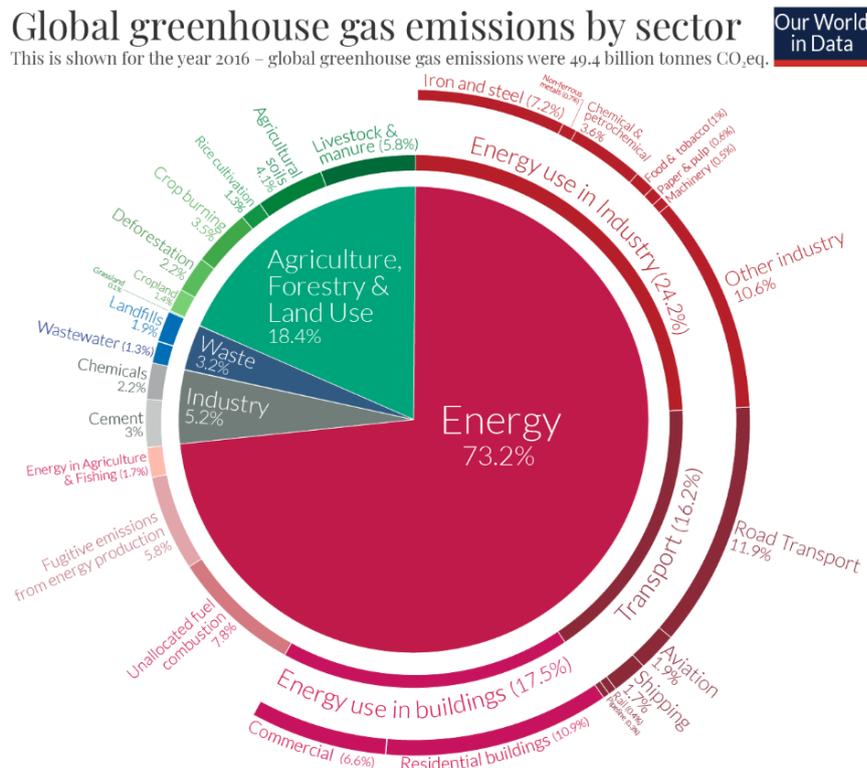


Figura 10 - Emissioni globali di GHG divise per settore (7)

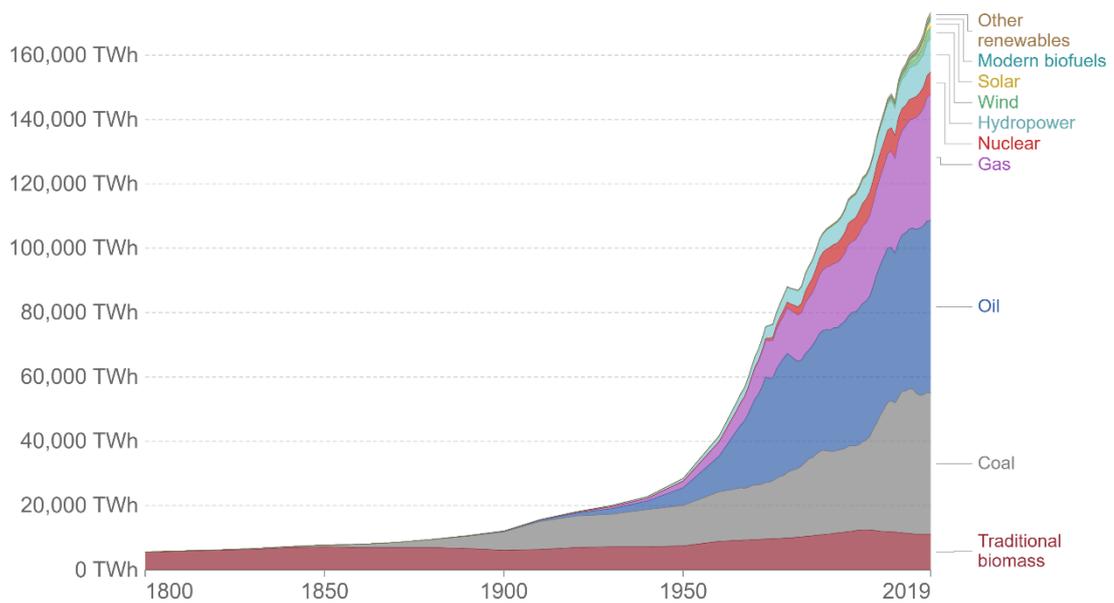
1.5.1 La crescita del consumo di energia primaria

Dalla metà del XIX secolo ad oggi la domanda di energia a livello globale è cresciuta costantemente (vedi Figura 11), con un rapido aumento a partire dalla seconda metà del 1900, a causa dell'aumento demografico della popolazione mondiale e alla crescita economica.

Global primary energy consumption by source

Primary energy is calculated based on the 'substitution method' which takes account of the inefficiencies in fossil fuel production by converting non-fossil energy into the energy inputs required if they had the same conversion losses as fossil fuels.

Our World
in Data



Source: Vaclav Smil (2017) & BP Statistical Review of World Energy

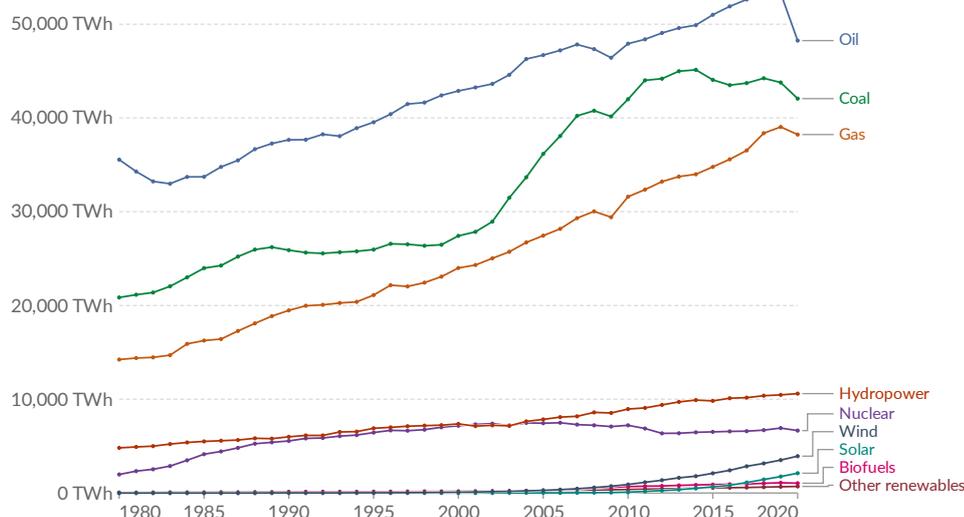
OurWorldInData.org/energy • CC BY

Figura 11 - Andamento globale del consumo di energia primaria (8)

Andando ad analizzare il tipo di fonte di energia utilizzata maggiormente per soddisfare tale crescente domanda, si può vedere in Figura 12 che il petrolio, il carbone e il gas naturale sono le risorse primarie utilizzate per produrre energia. Tuttavia è anche possibile notare una crescita pressoché costante per quanto riguarda l'idroelettrico e il nucleare come metodi di produzione dell'energia. Analizzando invece l'andamento del fabbisogno energetico per diverse aree geografiche in Figura 13 è possibile notare che la domanda di energia da parte dell'Europa e Nord America è leggermente cresciuta nella seconda metà del XX secolo, per poi rimanere abbastanza costante nei primi anni del XXI secolo.

Primary energy consumption by source, World

Primary energy is shown based on the 'substitution' method which takes account of inefficiencies in energy production from fossil fuels.



Source: Our World in Data based on BP Statistical Review of World Energy

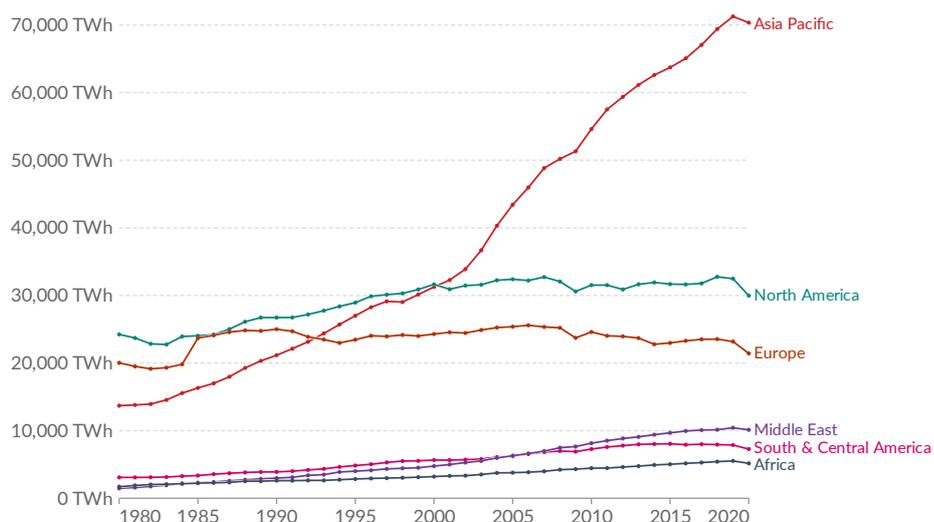
OurWorldInData.org/energy • CC BY

Figura 12 - Evoluzione del consumo di energia primaria per fonte di energia (8)

Mentre altre regioni emergenti come l'America Centrale, il Sud America e il Medio Oriente hanno avuto una leggera crescita, l'Asia Pacifica, che comprende Paesi come la Cina, l'India e il Giappone, mostra un aumento del consumo di energia primaria notevole, raggiungendo un valore assoluto pari a circa il doppio di quello del Nord America.

Primary energy consumption by world region

Primary energy consumption is measured in terawatt-hours (TWh). Note that this data includes only commercially-traded fuels (coal, oil, gas), nuclear and modern renewables used in electricity production. As such, it does not include traditional biomass sources.



Source: BP Statistical Review of World Energy (2019)

OurWorldInData.org/energy • CC BY

Figura 13 - Evoluzione del consumo di energia primaria in base all'area geografica (8)

Nella Figura 14 sono evidenziati da colori più scuri gli Stati con il consumo assoluto maggiore di energia primaria. È possibile quindi notare che USA e Cina sono i Paesi con il consumo più elevato, seguiti da Paesi come India, Russia, Brasile, Germania e Arabia Saudita.

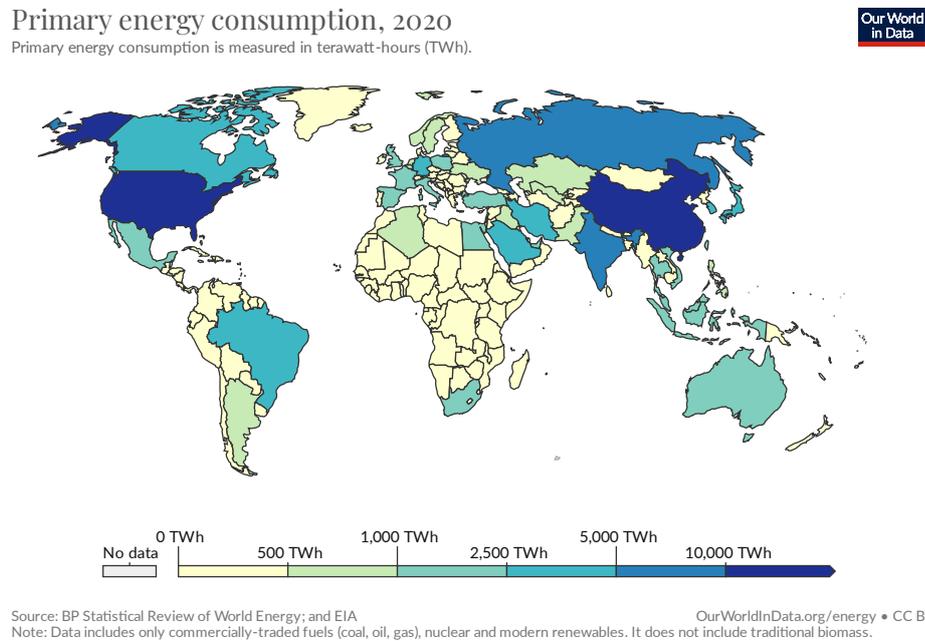


Figura 14 - Classificazione dei Paesi in base al consumo di energia primaria aggiornata al 2020 (8)

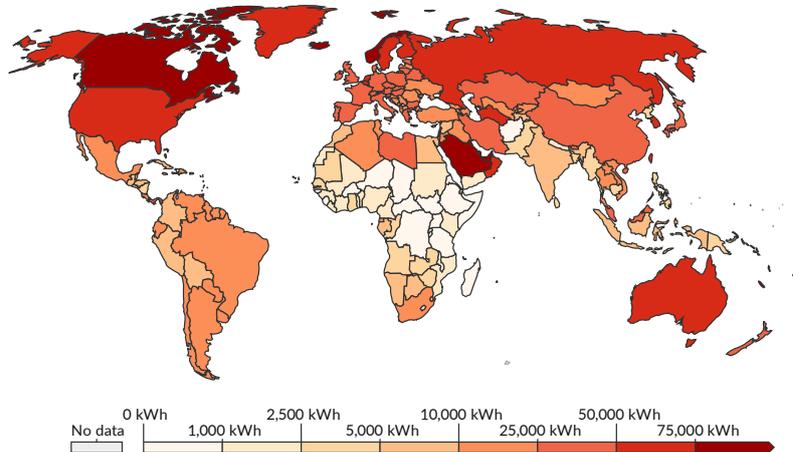
Osservando la Figura 15 che riporta i consumi di energia primaria pro capite, si può osservare che gli Stati dell'Asia Pacifica non hanno un elevato utilizzo pro capite di energia al contrario del consumo di energia primaria, mentre Paesi come il Canada e l'Arabia Saudita presentano una densità energetica maggiore pari a più di 75'000 [kWh all'anno per persona]. Il consumo pro capite di energia primaria in Paesi come la Cina o il Giappone è paragonabile a quello degli Stati europei, mentre Paesi come l'India il consumo pro capite è anche inferiore. Ovviamente questi dati vanno interpretati anche alla luce della densità di popolazione e della qualità della vita dei diversi Stati. Nei Paesi in via di sviluppo come Cina, India e Brasile per esempio, nel prossimo futuro è possibile prospettare un aumento dell'energia consumata in conseguenza ad un miglioramento dello stile di vita e alla continua crescita economica registrata.

Per riuscire a soddisfare la crescente domanda di energia si è prevalentemente scelto di utilizzare fonti fossili e solo in tempi recenti si è deciso di impiegare maggiormente fonti

rinnovabili e ridurre gradualmente l'utilizzo di combustibili fossili per diminuire le emissioni per la produzione di energia termica ed elettrica.

Energy use per person, 2020

Energy use not only includes electricity, but also other areas of consumption including transport, heating and cooking.

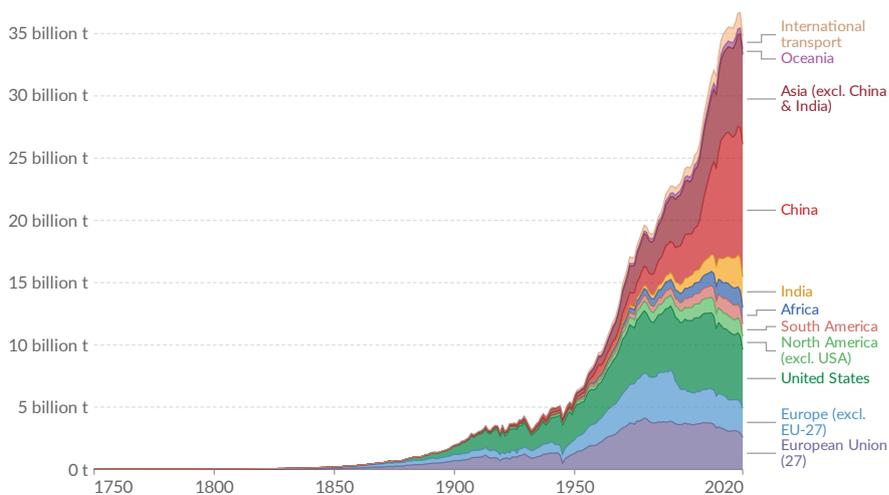


Source: Our World in Data based on BP & Shift Data Portal OurWorldInData.org/energy • CC BY
 Note: Energy refers to primary energy – the energy input before the transformation to forms of energy for end-use (such as electricity or petrol for transport).

Figura 15 - Uso di energia pro capite nei diversi Paesi del Mondo nel 2020 (8)

Nella Figura 16 è possibile vedere che l'andamento delle emissioni di CO₂ è molto simile a quello del consumo di energia primaria. Si può dunque concludere che sia prioritario ridurre in tempi brevi la dipendenza energetica dai combustibili fossili per abbassare le emissioni di GHG ed evitare ulteriori danni climatici dovuti al riscaldamento climatico.

Annual CO₂ emissions from fossil fuels, by world region



Source: Global Carbon Project OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions • CC BY
 Note: This measures CO₂ emissions from fossil fuels and cement production only- land use change is not included. 'Statistical differences' (included in the GCP dataset) are not included here.

Figura 16 - Emissioni di CO₂ da fonti fossili per area geografica (1)

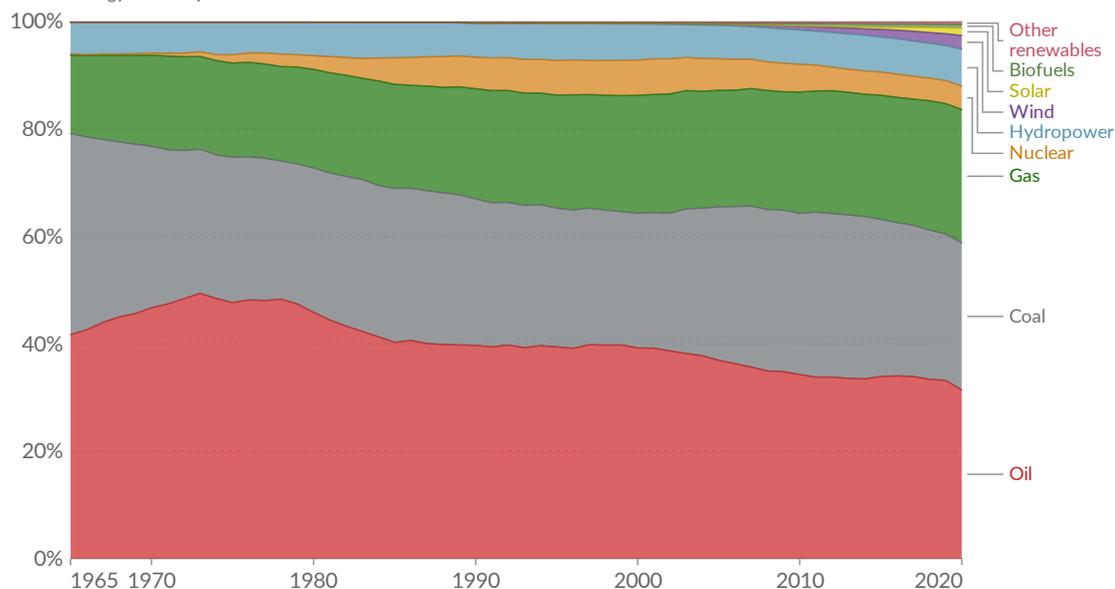
1.5.2 Evoluzione del mix energetico

La correlazione che è stata evidenziata precedentemente tra il consumo di energia primaria e le emissioni di GHG è dovuta alla composizione del mix energetico utilizzato a livello globale nella produzione di energia termica. Intervenendo sulla composizione di questo mix, andando quindi a diminuire la quota attribuibile alle fonti fossili, al fine di ottenere delle emissioni nette pari a zero, sarebbe possibile ottenere una quantità costante di gas serra all'interno dell'atmosfera. Tuttavia, nonostante negli ultimi anni sia aumentata l'attenzione e gli investimenti nel campo delle energie rinnovabili, il petrolio, il carbone e il gas naturale continuano ad essere predominanti come evidenziato in Figura 17.

Energy consumption by source, World

Primary energy consumption is measured in terawatt-hours (TWh). Here an inefficiency factor (the 'substitution' method) has been applied for fossil fuels, meaning the shares by each energy source give a better approximation of final energy consumption.

Our World
in Data



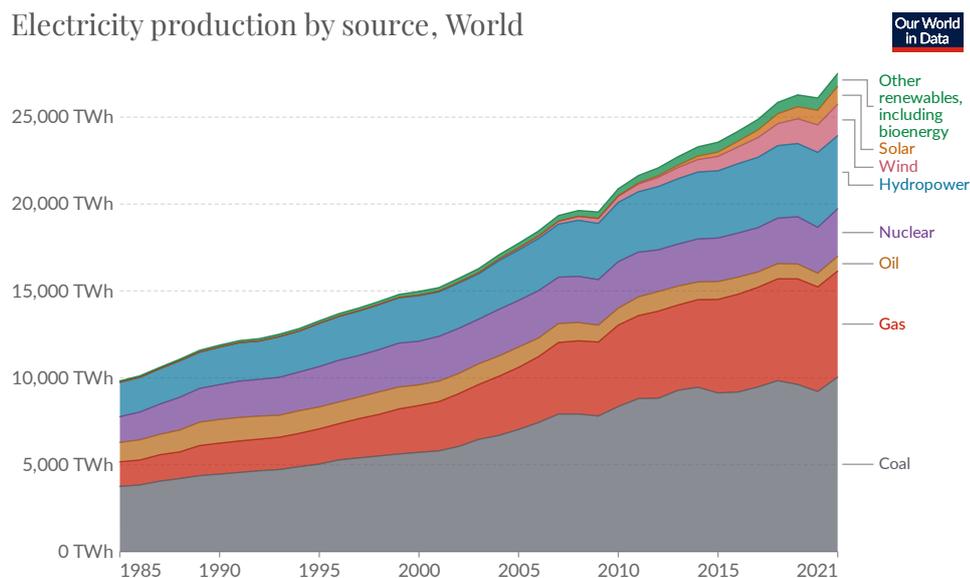
Source: BP Statistical Review of World Energy
Note: 'Other renewables' includes geothermal biomass and waste energy.

OurWorldInData.org/energy • CC BY

Figura 17 - Percentuale delle varie fonti energetiche nella composizione del mix energetico globale (8)

Andando ad analizzare solo la produzione di energia elettrica (Figura 18) si può vedere però che le fonti rinnovabili, come idroelettrico e vento, insieme al nucleare ricoprono una parte più significativa, anche se non sufficiente a contrastare l'aumento del riscaldamento globale.

Electricity production by source, World

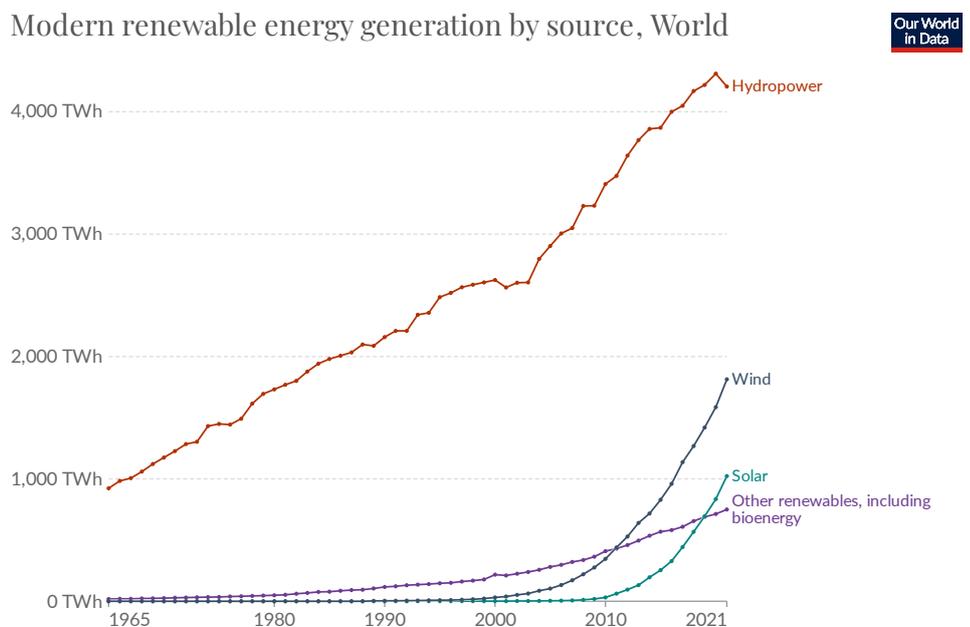


Source: Our World in Data based on BP Statistical Review of World Energy, Ember Global Electricity Review (2022) & Ember European Electricity Review (2022)
 Note: 'Other renewables' includes biomass and waste geothermal, wave and tidal.
 OurWorldInData.org/energy • CC BY

Figura 18 - Evoluzione della produzione di energia elettrica per fonte energetica (8)

Come si evince dalla Figura 19 l'idroelettrico si conferma come la fonte rinnovabile più utilizzata nella produzione di energia, ma negli ultimi anni, complice anche lo sviluppo tecnologico e la necessità di trovare nuove fonti di energia pulita, il solare e l'eolico hanno iniziato a essere utilizzati in maggiore quantità.

Modern renewable energy generation by source, World



Source: Our World in Data based on BP Statistical Review of World Energy & Ember
 OurWorldInData.org/renewable-energy • CC BY

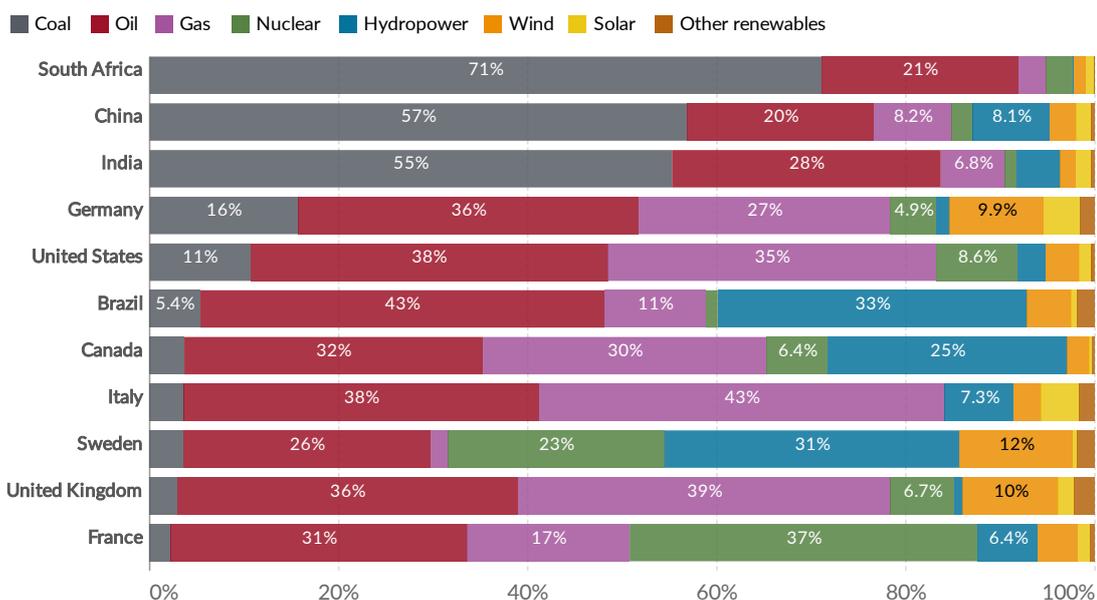
Figura 19 - Produzione di energia da fonti rinnovabili (8)

Infine è interessante confrontare il mix energetico di Paesi diversi (Figura 20), notando che gli Stati in via di sviluppo si affidano maggiormente a fonti di energia come il carbone, più reperibile e facilmente utilizzabile, mentre se si osservano Paesi più avanzati come Francia e Svezia, si può vedere che l'utilizzo di carbone è minimo, mentre aumenta la parte riferita al nucleare, all'idroelettrico e ad altre fonti rinnovabili.

Primary energy consumption by source, 2020



Primary energy is calculated based on the 'substitution method' which takes account of the inefficiencies in fossil fuel production by converting non-fossil energy into the energy inputs required if they had the same conversion losses as fossil fuels.



Source: Statistical Review of World Energy - BP (2021)

OurWorldInData.org/energy • CC BY

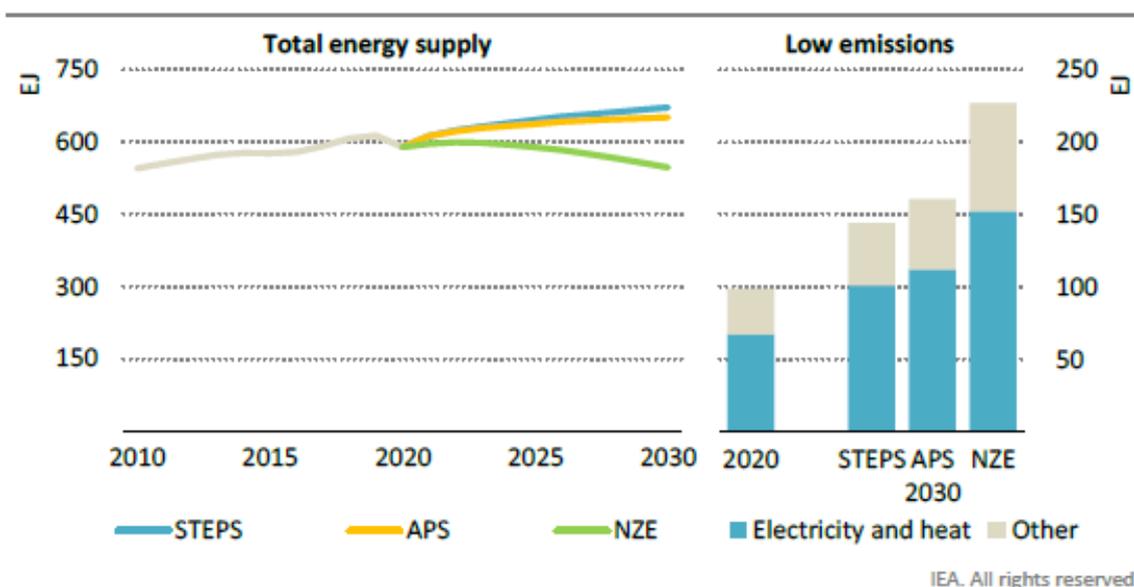
Figura 20 - Composizione del mix energetico per vari Paesi nel 2020 (8)

1.5.3 Scenari futuri per il fabbisogno energetico

Il *World Energy Outlook*, pubblicato a dicembre 2021 dalla *International Energy Agency* (IEA) (9), presenta una comparazione fra tre possibili scenari di sviluppo:

- STEPS (*Stated Policies Scenario*), scenario conservativo in cui non viene considerato come certo che i Paesi raggiungano i loro obiettivi annunciati, ma tiene in conto le politiche già implementate e quelle in sviluppo.;
- APS (*Announced Pledges Scenario*), scenario introdotto nel report attuale che mostra quali sono i risultati che verrebbero raggiunti dai diversi Stati con le politiche decise per soddisfare i target imposti per il 2030 e il 2050;
- NZE (*Net Zero Emissions Scenario*), scenario che presenta un rigido, ma realizzabile obiettivo di raggiungimento delle emissioni nette nulle di CO₂ entro il 2050, con le economie più sviluppate che raggiungono prima tale traguardo, seguite poi dalle altre.

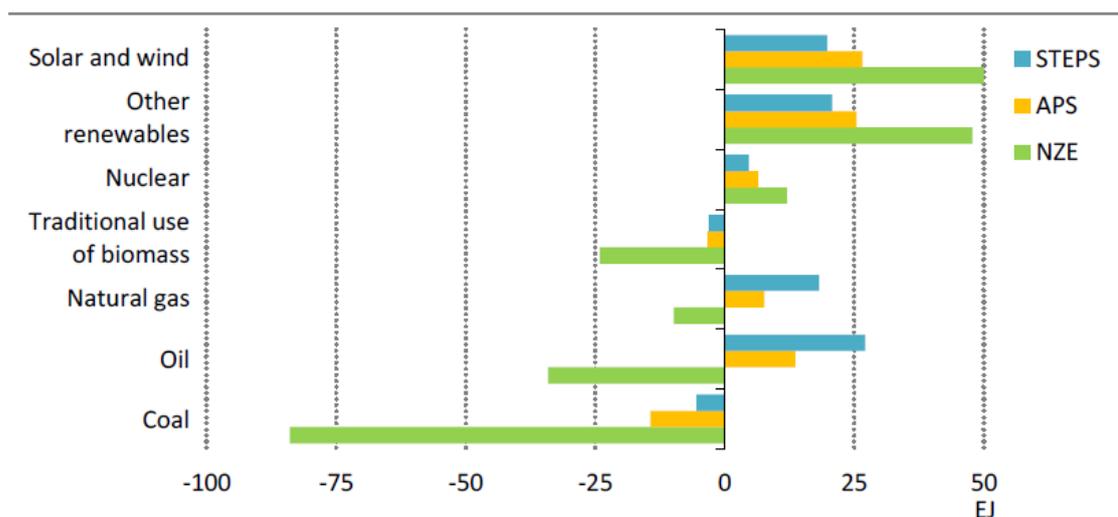
Dal confronto fra questi tre scenari si evince che a seconda di quali misure verranno implementate, cambierà la domanda di energia globale e anche il mix energetico che andrà a soddisfare tale fabbisogno.



Global energy supply increases 1% per year to 2030 in the APS and 1.3% in the STEPS; the total supply gap between the APS and the STEPS reaches 20 EJ by 2030

Figura 21 - Rappresentazione della domanda di energia globale e dell'energia prodotta da fonti energetiche a basse emissioni (9 p. 181)

Dalla Figura 21 si può vedere che in tutti gli scenari l'aumento di domanda dell'energia è inevitabile tranne nello scenario NZE. Nello scenario STEPS verrebbero raggiunti i 670 [EJ] entro il 2030, nello scenario APS si raggiungerebbero i 650 [EJ], mentre nello scenario NZE si arriverebbe a una domanda di 550 [EJ]. Nel grafico a destra nella Figura 21 viene evidenziata la parte di energia che verrebbe soddisfatta dalle fonti a basse emissioni come le rinnovabili e la nucleare.



IEA. All rights reserved.

Pledges accelerate the uptake of low-carbon energy sources in the APS relative to the STEPS, but the speed and scale of the transition are well short of what is required in the NZE

Figura 22 - Evoluzione dell'utilizzo delle fonti energetiche nei 3 diversi scenari futuri proposti dal WEO (9 p. 181)

Nella Figura 22 viene invece presentato come cambierebbero le fonti di energia utilizzate a seconda dello scenario. Ovviamente nello scenario NZE le fonti fossili come carbone, petrolio e gas naturale subiscono una forte riduzione insieme alle biomasse, mentre solare, inteso sia come fotovoltaico che come termico, eolico, altre rinnovabili e il nucleare vedono una sempre maggiore centralità nel mix energetico. Gli scenari STEPS e APS, che sono quelli al momento più verosimili dato che prendono in considerazione misure già implementate o previste per arrivare ai target prefissati per il 2030, presentano cambiamenti meno drastici, soprattutto nell'uso di petrolio e gas naturale, il cui utilizzo aumenta in ugual misura a quello delle fonti rinnovabili. In tutti gli scenari viene comunque considerata una notevole diminuzione dell'utilizzo del carbone come fonte energetica, dato che il suo utilizzo produce una notevole quantità di CO₂.

Come affermato all'inizio del capitolo, le decisioni intraprese finora o quelle che sono state previste non sembrano essere compatibili con gli obiettivi, seppur ambiziosi, di mantenere sotto un certo livello il riscaldamento globale, di preservare gli ecosistemi dai cambiamenti climatici e di raggiungere un modello di sviluppo sostenibile.

Nel proseguo della trattazione verranno affrontate più in dettaglio le misure che sono state decise da diversi organi decisionali per cercare di limitare il riscaldamento globale, in modo da comprendere più chiaramente qual è stata l'evoluzione delle discussioni politiche riguardanti i cambiamenti climatici e quali possono essere gli ambiti in cui è necessario prendere decisioni più drastiche e immediate per riuscire a combattere il cambiamento climatico.

2 Panoramica economico-legislativa

Nonostante il riscaldamento globale sia un fenomeno che esiste e comporta enormi cambiamenti a livello globale ormai da decenni, le maggiori agenzie internazionali hanno iniziato a discutere dell'argomento e a cercarne delle soluzioni solo in tempi recenti. Le conferenze convocate per parlare del tema sono state numerose e hanno portato ad alcune decisioni storiche per la lotta al cambiamento climatico.

Le tappe più importanti di questo percorso a livello internazionale sono state il Protocollo di Kyoto del 1997, che per la prima volta ha imposto degli obiettivi per la riduzione delle emissioni di GHG, per l'aumento delle efficienza energetica e per il maggior utilizzo di fonti energetiche rinnovabili, e l'Accordo di Parigi del 2015, che ha imposto obiettivi ancora più ambiziosi per contrastare l'innalzamento delle temperature. Recentemente, l'ONU ha pubblicato un documento, l'Agenda 2030, che pone l'accento su diciassette obiettivi per raggiungere uno sviluppo sostenibile, non solo dal punto di vista energetico, ma anche dal punto di vista sociale. L'Unione Europea ha invece presentato il Green Deal Europeo, che impone obiettivi ancora più ambiziosi di quelli previsti nell'Accordo di Parigi e prevede che l'UE raggiunga la neutralità climatica nel 2050.

Negli ultimi anni sono diventati rilevanti i movimenti giovanili e ambientalisti (i *Fridays For Future*) che hanno spinto molti governi a rivedere le proprie decisioni politiche e a introdurre misure ad hoc per combattere il cambiamento climatico, rispettare gli obiettivi minimi di riduzione delle emissioni e spingere verso un'economia sostenibile. In risposta alla crescente richiesta di una presa di posizione decisa nella lotta al cambiamento climatico, l'Unione Europea ha approvato un piano di finanziamenti, il Next Generation EU, che richiede ad ogni Stato membro di redigere un piano di azione per la ripresa dalla pandemia da COVID-19, per investire nelle nuove generazioni e per raggiungere i nuovi obiettivi di sviluppo sostenibile.

In questo capitolo verranno presentati i più importanti trattati internazionali riguardanti la lotta al cambiamento climatico; in seguito saranno affrontati gli obiettivi di sviluppo sostenibile all'interno dell'Agenda 2030 dell'ONU e le principali misure adottate dall'Unione Europea per ridurre il riscaldamento globale. Infine, verrà approfondito il caso dell'Italia per quanto riguarda i consumi di energia e il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza nell'ambito della questione energetica.

2.1 I trattati internazionali

Il problema del riscaldamento globale e dei cambiamenti climatici ha iniziato a essere considerato all'interno dei dibattiti politici e delle agende politiche delle agenzie intergovernative solo in tempi relativamente recenti. Fino agli anni '70 lo sviluppo economico e sociale non era considerato in correlazione alle condizioni ambientali e quindi non si teneva conto di quelle che erano le ricadute sugli ecosistemi.

Sono elencate di seguito, in ordine cronologico, le tappe fondamentali che hanno portato il cambiamento climatico ad essere al centro dell'agenda politica globale e a considerare lo sviluppo sostenibile come la principale risposta a questo problema.

- Conferenza di Stoccolma, 1972

La Conferenza di Stoccolma, nota anche come Conferenza delle Nazioni Unite sull'ambiente umano, fu la prima conferenza mondiale indetta dall'ONU per favorire la cooperazione fra gli Stati membri al fine di proteggere l'ambiente in cui vive la specie umana. Il risultato maggiore della Conferenza è stato la creazione dell'UNEP, *United Nations Environment Programme*, ma sono emersi contrasti fra i Paesi industrializzati e quelli in via di sviluppo, soprattutto in relazione alle tematiche ambientali. In conclusione in quest'occasione non sono state prese decisioni impattanti, ma è stato fatto un primo passo nel portare il problema climatico al centro del dibattito politico.

- *World Climate Conference*, 1979

La prima Conferenza Mondiale sul Clima (*World Climate Conference*, WCC) ha avuto luogo il 12 e 13 febbraio 1979 a Ginevra. Fondamentalmente fu una conferenza scientifica a cui parteciparono scienziati da diverse parti del Mondo e da diversi ambiti accademici, ma essa contribuì a creare un programma di ricerca sul cambiamento climatico che anni dopo avrebbe portato alla fondazione dell'IPCC nel 1988. Nel 1990 uscì il primo report dell'IPCC di valutazione sul cambiamento climatico.

- Conferenza di Rio de Janeiro, 1992

Qualche anno dopo, nel 1992, si tenne a Rio de Janeiro la Conferenza sull'ambiente e lo sviluppo delle Nazioni Unite (*United Nations Conference on Environment and Development*, UNCED), nota anche come Summit della Terra, a cui parteciparono i capi

di Stato di 172 governi. I principali temi trattati in questo incontro internazionale furono i sistemi di produzione per limitare la produzione di tossine, le risorse alternative ai combustibili fossili, i sistemi di trasporto pubblico e la crescente scarsità d'acqua. Il risultato più importanti ottenuto da questo summit è stato la Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici (*United Nations Framework Convention on Climate Change*, UNFCCC) che prevede l'istituzione delle conferenze annuali conosciute come *Conference of Parties* (COP) con lo scopo di revisionare e analizzare la situazione attuale riguardo al cambiamento climatico.



Figura 23 - Logo della Conferenza sul Clima tenutasi a Rio De Janeiro nel 1992

- Protocollo di Kyoto, 1997

Durante la COP3 avvenuta nella città giapponese di Kyoto, gli Stati partecipanti pubblicarono il trattato internazionale conosciuto come Protocollo di Kyoto, in cui vengono imposti degli obblighi verso i Paesi che hanno deciso di firmarlo e ratificarlo, per la riduzione delle emissioni di inquinanti nell'atmosfera rispetto a quelle registrate nel 1990. Il trattato è entrato in vigore soltanto nel 2005 e prevedeva l'obbligo di operare nel periodo dal 2008 al 2020 una riduzione delle emissioni dei elementi inquinanti, quali CO₂, ossido di azoto, idrofluorocarburi, perfluorocarburi e esafluoruro di zolfo, in una misura non inferiore all'8% rispetto alle emissioni registrate nel 1990.

- Accordo di Copenaghen, 2009

La COP 15 è stato un evento cruciale nei processi di negoziazione riguardo alla percentuale di riduzione delle emissioni di CO₂ nell'atmosfera. Il risultato di questa conferenza è stato l'Accordo di Copenaghen, un documento che contiene diversi elementi fondamentali per la lotta al cambiamento climatico, tra cui l'obiettivo a lungo termine di limitare il massimo riscaldamento globale non oltre l'aumento di 2 [°C] rispetto ai livelli preindustriali entro il 2015. Tuttavia, non sono stati raggiunti degli accordi su come raggiungere questo obiettivo nella pratica.

- Conferenza di Durban, 2011

La COP 17 che ha avuto luogo a Durban in Sudafrica ha segnato un punto di svolta in quanto i governi iniziarono ad affrontare in modo diverso il problema del riscaldamento globale, focalizzandosi su obiettivi a lungo termine per contrastare il cambiamento climatico. In particolare tutti i governi si sono impegnati in un piano globale per raggiungere gradualmente gli obiettivi dell'UNFCCC, ossia stabilizzare le concentrazioni di GHG nell'atmosfera per ridurre l'impatto umano sui cambiamenti climatici e per realizzare nuove possibilità di sviluppo sostenibile. Seppure questi risultati sembrano importanti sulla carta, ma poco concreti dal punto di vista tecnico, hanno gettato le basi per quella che sarà la COP sul clima più importante fino ad oggi, la conferenza di Parigi.

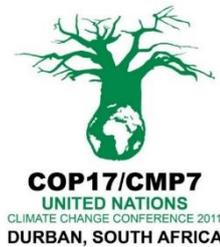


Figura 24 - Logo COP17 tenutasi a Durban nel 2011

- Accordo di Parigi, 2015

Il 12 dicembre 2015 si è svolta a Parigi la XXI Conferenza delle Parti per il Clima indetta dall'UNFCCC, la COP 21, in cui gli Stati membri hanno contrattato e concordato nuovi obiettivi nella lotta al cambiamento climatico.

Il piano d'azione previsto per raggiungere questi obiettivi è stato presentato nell'Accordo di Parigi ed è costituito da alcuni elementi fondamentali:

- Mantenere l'aumento della temperatura media globale al di sotto di 2°C in più rispetto ai livelli preindustriali;
- I Paesi partecipanti hanno presentato dei piani di azione nazionali in materia climatica per ridurre le proprie emissioni di inquinanti e si sono impegnati a comunicare ogni 5 anni i rispettivi piani con nuovi obiettivi fissati;
- Per cercare di portare avanti in maniera coesa la lotta al riscaldamento globale i Paesi hanno convenuto di comunicare i risultati raggiunti grazie ai loro piani d'azione;

- Gli Stati più sviluppati hanno preso l'impegno di fornire finanziamenti ai Paesi in via di sviluppo per aiutarli sia a ridurre le emissioni che a diventare più resilienti di fronte agli effetti del cambiamento climatico.

L'accordo entra in vigore il 4 novembre 2016, quando viene soddisfatta la condizione per cui era necessaria la ratifica da parte di almeno 55 Paesi che rappresentassero almeno il 55% delle emissioni globali di GHG.

Entro il 2020 i Paesi firmatari hanno dovuto presentare i loro piani d'azione conosciuti come *National Determined Contribution* (NDC) con cui hanno esposto le azioni che intendevano implementare per raggiungere gli obiettivi dell'Accordo di Parigi.



Figura 25 - Logo COP21 tenutasi a Parigi nel 2015

- Conferenza di Glasgow, 2021

Un'ultima importante tappa è stata la XXVI Conferenza delle Parti sul Clima, la COP 26, avvenuta a novembre 2021 a Glasgow. L'obiettivo principale di questa conferenza era raggiungere un accordo sulle azioni da implementare per riuscire a combattere il cambiamento climatico fino al 2030 e poi fino al 2050. Nonostante non siano state prese decisioni incisive, tutti i 151 paesi partecipanti hanno presentato dei nuovi NDC e hanno concordato di rivedere gli obiettivi di mitigazione per il 2030.



Figura 26 - Logo COP26 tenutasi a Glasgow nel 2020

Queste sono state le tappe più importanti per quanto riguarda le decisioni e gli impegni presi a livello internazionale, che come si è visto sono sempre stati oggetto di revisioni e aggiornamenti. Ciò è dovuto al fatto che i cambiamenti climatici non sono un fenomeno statico, ma sono in continua evoluzione e anche gli studi e le decisioni che li riguardano devono essere costantemente aggiornati, in modo da combattere in maniera sempre più efficace i cambiamenti del clima e raggiungere uno sviluppo sostenibile delle nostre società.

Secondo il *World Energy Outlook 2021* (9) dal 2019 le emissioni hanno iniziato a stabilizzarsi intorno alle 34 Gt di CO₂ e a diminuire leggermente negli ultimi due anni (Figura 27). Questo piccolo traguardo è sicuramente un buon indice del fatto che gli obiettivi imposti a livello globale e le misure implementate sono nella giusta direzione, ma sicuramente non sono sufficienti né per riuscire a diminuire le emissioni di CO₂ in maniera significativa, né per limitare l'aumento della temperatura (Figura 28).

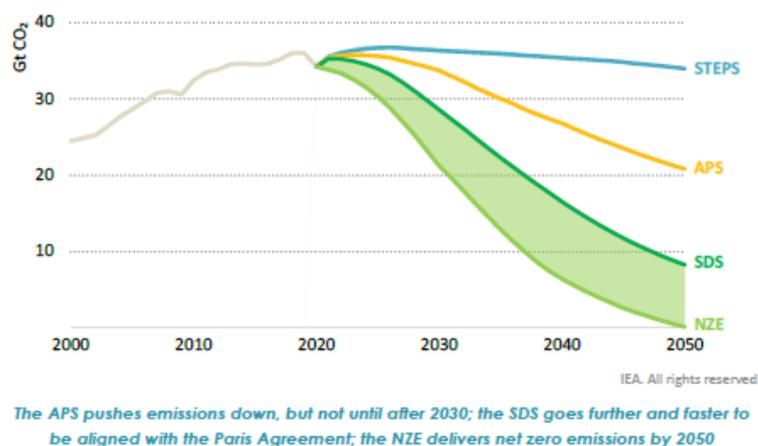


Figura 27 - Evoluzione delle emissioni di CO₂ nei quattro scenari considerati (9 p. 33)

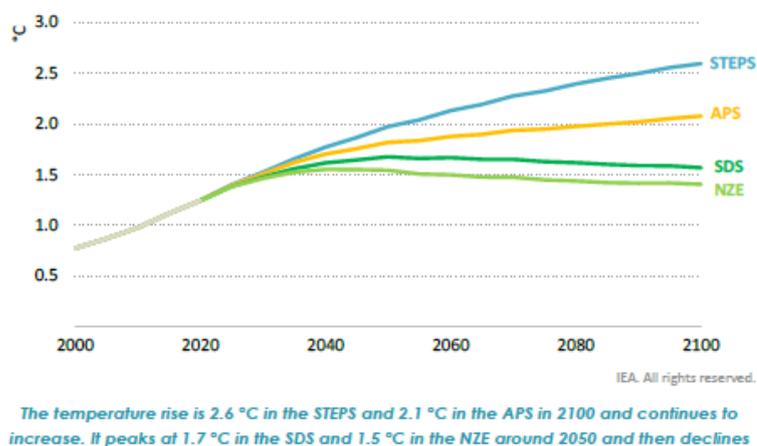


Figura 28 - Andamento della temperatura nei quattro scenari considerati (9 p. 34)

In Figura 27 e Figura 28 viene presentato un quarto scenario, oltre ai tre già esposti precedentemente, ossia gli scenari STEP, APS e NZE (cfr 1.5.3), per presentare i futuri esiti possibili riguardo alle emissioni di GHG e l'aumento della temperatura. Lo scenario SDS (*Sustainable Development Scenario*) tiene conto degli investimenti per fonti di energia più pulite, dell'inizio di un percorso verso gli obiettivi di sviluppo sostenibile relativi al settore energetico e degli sforzi necessari per realizzare una riduzione delle emissioni di gas serra nel breve periodo. Nei grafici precedenti è evidente che con le decisioni prese finora e gli obiettivi che sono stati fissati permettono già di raggiungere dei buoni risultati, ma occorre continuare a individuare traguardi più ambiziosi. Infatti, come ben evidenziato nella Figura 28, solo raggiungendo gli obiettivi di sviluppo sostenibile decisi dall'ONU o investendo in maniera decisa nell'arrivare a emissioni nette nulle di GHG, sarà possibile riuscire a tenere sotto controllo il riscaldamento globale e creare delle società resilienti nei confronti dei cambiamenti climatici.

2.2 SDG

Durante l'Assemblea Generale del 25 settembre 2015, qualche mese prima della COP 21 a Parigi, gli Stati Membri delle Nazioni Unite hanno votato una risoluzione, precisamente l'A/RES/70/1, conosciuta anche con il nome di Agenda 2030, in cui sono stati adottati degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (*Sustainable Development Goals*, SDG). Questi diciassette obiettivi sono stati pensati in modo da raggiungere uno sviluppo sostenibile, definito come uno sviluppo che soddisfa le necessità del presente senza compromettere le capacità delle future generazioni di soddisfare i propri bisogni. (10)



Figura 29 - Obiettivi di Sviluppo Sostenibile previsti dall'Agenda 2030 redatta dall'ONU (10)

Questi diciassette obiettivi rappresentati nella Figura 29 sono contenuti all'interno dell'Agenda 2030 (10) e sono:

- Obiettivo 1: Porre fine ad ogni forma di povertà nel mondo;
- Obiettivo 2: Porre fine alla fame, raggiungere la sicurezza alimentare, migliorare la nutrizione e promuovere un'agricoltura sostenibile;
- Obiettivo 3: Assicurare la salute e il benessere per tutti e per tutte le età;
- Obiettivo 4: Fornire un'educazione di qualità, equa ed inclusiva, e opportunità di apprendimento per tutti;
- Obiettivo 5: Raggiungere l'uguaglianza di genere ed emancipare tutte le donne e le ragazze;

- Obiettivo 6: Garantire a tutti la disponibilità e la gestione sostenibile dell'acqua e delle strutture igienico sanitarie;
- Obiettivo 7: Assicurare a tutti l'accesso a sistemi di energia economici, affidabili, sostenibili e moderni;
- Obiettivo 8: Incentivare una crescita economica duratura, inclusiva e sostenibile, un'occupazione piena e produttiva e un lavoro dignitoso per tutti;
- Obiettivo 9: Costruire un'infrastruttura resiliente e promuovere l'innovazione e un'industrializzazione equa, responsabile e sostenibile;
- Obiettivo 10: Ridurre l'ineguaglianza all'interno di e fra le nazioni;
- Obiettivo 11: Rendere le città e gli insediamenti umani inclusivi, sicuri, duraturi e sostenibili;
- Obiettivo 12: Garantire modelli sostenibili di produzione e di consumo;
- Obiettivo 13: Promuovere azioni, a tutti i livelli, per combattere il cambiamento climatico;
- Obiettivo 14: Conservare e utilizzare in modo durevole gli oceani, i mari e le risorse marine per uno sviluppo sostenibile;
- Obiettivo 15: Proteggere, ripristinare e favorire un uso sostenibile dell'ecosistema terrestre;
- Obiettivo 16: Promuovere società pacifiche e inclusive per uno sviluppo sostenibile;
- Obiettivo 17: Rafforzare i mezzi di attuazione e rinnovare il partenariato mondiale per lo sviluppo sostenibile.

Gli obiettivi più coerenti con l'argomento presentato in questo elaborato, sono i numeri 7, 11, 12 e 13. Tuttavia, è necessario sottolineare che tutti gli obiettivi sono estremamente interconnessi tra di loro e che il raggiungimento di un determinato target per uno di essi comporta delle misure anche in altri settori. Dunque solo avanzando contemporaneamente verso tutti gli SDG sarà possibile giungere infine ad una società sostenibile.



Figura 30 - SDG relativi all'ambito ambientale ed energetico (10)

Per ognuno dei quattro obiettivi l'Agenda 2030 prevede una serie di target da raggiungere (10) e fra questi i più importanti per la lotta al cambiamento climatico sono:

- **Target 7.2:** aumentare considerevolmente entro il 2030 la quota di energie rinnovabili nel consumo totale di energia;
- **Target 7.3:** raddoppiare entro il 2030 il tasso globale di miglioramento dell'efficienza energetica¹;
- **Target 11.6:** entro il 2030, ridurre l'impatto ambientale negativo pro-capite delle città, prestando particolare attenzione alla qualità dell'aria e alla gestione dei rifiuti urbani e di altri rifiuti;
- **Target 12.6:** incoraggiare le imprese, in particolare le grandi aziende multinazionali, ad adottare pratiche sostenibili e ad integrare le informazioni sulla sostenibilità nei loro resoconti annuali;
- **Target 12.7:** promuovere pratiche sostenibili in materia di appalti pubblici, in conformità alle politiche e priorità nazionali;
- **Target 13.2:** integrare le misure di cambiamento climatico nelle politiche, nelle strategie e nelle pianificazione nazionali;
- **Target 13.3:** migliorare l'istruzione, la sensibilizzazione e la capacità umana e istituzionale per quanto riguarda la mitigazione del cambiamento climatico, l'adattamento, la riduzione dell'impatto e l'allerta tempestiva.

Questi obiettivi sono fondamentali per il raggiungimento di uno sviluppo sostenibile mondiale nel settore energetico in modo che sia possibile ridurre l'impatto delle emissioni derivanti dalle attività di settore. Unitamente agli accordi internazionali proposti e firmati durante le Conferenze delle Parti sul Clima, questi obiettivi sono il fondamento di molti provvedimenti e leggi che negli ultimi anni sono state promulgate a livello europeo e a livello nazionale. Nel proseguo del capitolo, si analizzano le modalità tramite le quali l'Unione Europea e l'Italia hanno deciso di promuovere il raggiungimento degli SDG e degli obiettivi di riduzione degli emissioni previsti dai trattati internazionali ratificati elencati nel capitolo 2.1.

¹ Rapporto o altro relazione quantitativa fra un output di performance, servizi, beni o energia, e un input di energia (27)

2.3 Unione Europea

Sulla questione ambientale ed energetica, l'Unione Europea ha sempre avuto degli standard elevati, soprattutto negli ultimi decenni in cui si è compreso che la qualità dell'ambiente è essenziale per l'economia, la salute e il benessere dei cittadini europei. Per contrastare i crescenti cambiamenti climatici e la crescente domanda di energia l'UE ha adottato politiche e strategie per assumere il ruolo guida nei negoziati internazionali sul clima e diventare la prima economia al mondo a impatto zero, garantendo al contempo un'energia pulita, sicura, affidabile, locale e sostenibile.

Fino dagli anni 70 l'UE ha sempre prestato attenzione alla questione ambientale ed energetica, nell'articolo 191 del trattato sul funzionamento dell'Unione Europea la lotta ai cambiamenti climatici viene definita come un obiettivo esplicito della comunità europea. Per riuscire a realizzare gli obiettivi stabiliti dal Protocollo di Kyoto, a livello europeo sono stati decisi una serie di interventi e direttive per raggiungere il target previsto per la riduzione delle emissioni di gas serra. In particolare a cavallo del XX e XXI secolo sono stati molto importanti:

- La Direttiva 2001/77/CE per la promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili, la quale ha fissato degli obiettivi in percentuale rispetto al consumo totale previsto che i Paesi europei avrebbero dovuto raggiungere entro il 2011;
- La Direttiva 2002/358/CE con cui gli Stati Membri hanno definito degli obiettivi ancora più restrittivi rispetto al Protocollo di Kyoto, impegnandosi a ridurre dell'8% le emissioni complessive dell'UE;
- Il Pacchetto Clima-Energia "Piano 20-20-20", ossia un insieme di misure pensate dall'UE per il periodo 2013-2020, successivo al Protocollo di Kyoto che scadeva nel 2012.

2.3.1 Il Piano 20-20-20

Il Piano 20-20-20 è stato pensato dai Paesi europei nel 2007 ed è entrato in vigore dal 2009. Il piano prevedeva, come riportato sul sito dell'Unione Europea (11):

- Una riduzione delle emissioni di gas serra del 20% rispetto al 1990 entro il 2020;
- Una quota del 20% di energie rinnovabili (FER) valutate sul consumo finale lordo di energia dell'UE entro il 2020;
- Un risparmio dei consumi di energia finali e un incremento dell'efficienza energetica del 20% rispetto alle proiezioni per il 2020.

Questo pacchetto di obiettivi si è tradotto in una serie di direttive europee tra cui la Direttiva 2009/28/CE, che ha sostituito la Direttiva 2001/77/CE, sulle fonti energetiche rinnovabili (FER). Gli obiettivi del pacchetto sono stati poi ripartiti sui singoli Stati Membri in base al sul consumo finale di energia di ciascun Paese che insieme agli altri Stati avrebbero permesso di raggiungere a livello di Comunità gli obiettivi del Piano 20-20-20.

Per riuscire a raggiungere nei tempi prefissati gli obiettivi sulla riduzione delle emissioni l'UE ha ideato un sistema di scambio delle emissioni detto *EU emission trading system* (ETS) nei settori industriale ed energetico, coprendo con questo sistema il 40% delle emissioni totali dell'UE. Il restante 60% viene coperto dagli obiettivi nazionali di riduzione delle emissioni che comprendono il settore industriale non incluso nell'ETS, il residenziale, quello dei trasporti, dell'agricoltura e dei rifiuti.

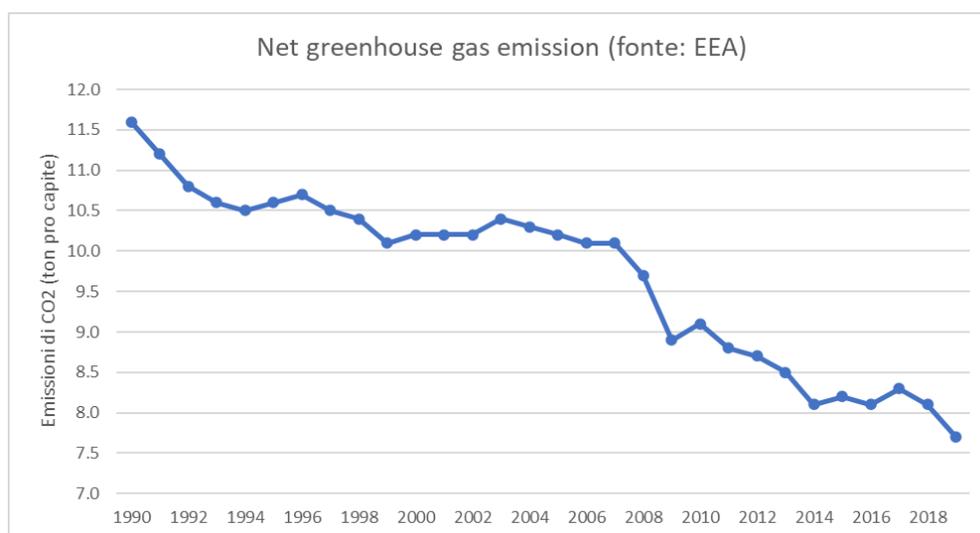


Figura 31 - Andamento delle emissioni nette di GHG nell'UE (12)

Raggiungere gli obiettivi fissati in questo piano avrebbe dovuto permettere all'UE di aumentare la sicurezza energetica, cioè a dipendere in maniera minore dall'energia importata e di contribuire al raggiungimento di un Unione Energetica Europea, e creando un nuovo indotto economico, con posti di lavoro, crescita sostenibile e maggiore competitività.

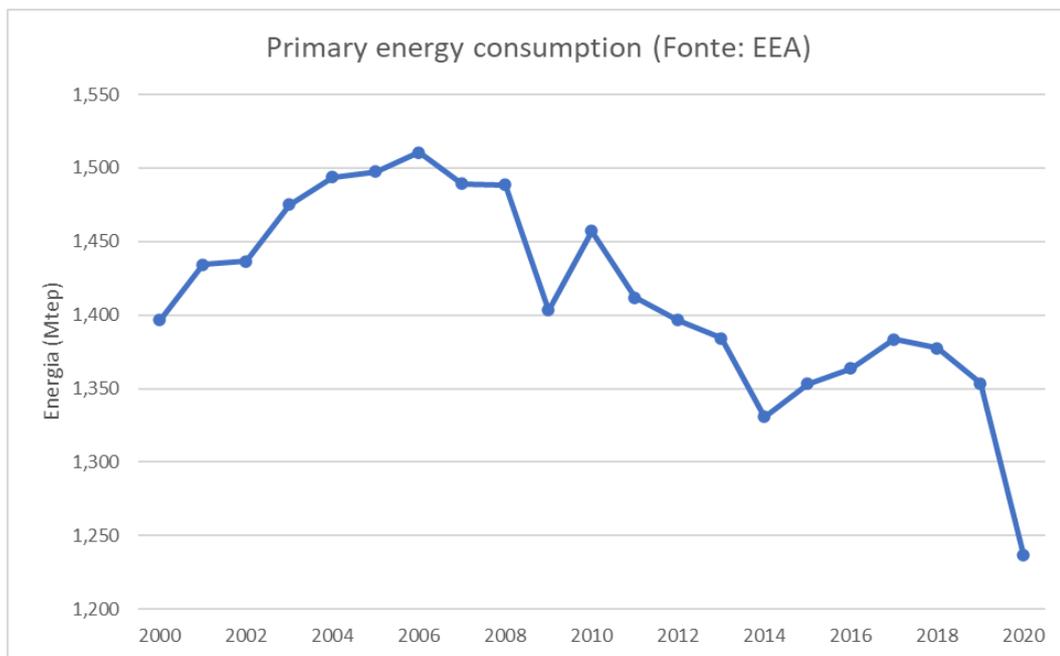


Figura 32 - Andamento del consumo di energia primaria nell'UE (13)

Come si può vedere dalle Figura 31 e Figura 32 gli obiettivi sono stati in parte raggiunti, ma le misure che sono state adottate non erano sufficienti per soddisfare i target decisi. Per questo l'UE ha previsto una serie di nuovi ambiziosi obiettivi a lungo termine e misure specifiche per ogni settore attraverso il Green Deal Europeo.

2.3.2 Il Green Deal Europeo

Avvicinandosi il termine del Piano 20-20-20 e non avendo ancora raggiunto gli obiettivi prefissati, la Commissione Europea ha presentato nel 2019 una serie di iniziative per raggiungere la neutralità climatica² nell'Unione Europea entro il 2050. Per conseguire questo traguardo tutti e ventisette gli Stati Membri hanno deciso di impegnarsi a ridurre le emissioni di GHG del 55% entro il 2030 rispetto ai livelli del 1990 (14). In questo modo si creeranno nuove opportunità di innovazione e investimenti andando a creare una serie di benefici:

- Riduzione delle emissioni;
- Creazione di nuovi posti di lavoro e crescita economica;
- Affronto del problema della povertà energetica³;
- Riduzione della dipendenza energetica da Paesi esterni all'UE;
- Miglioramento della salute e del benessere delle persone.

Oltre al nuovo obiettivo di riduzione delle emissioni di GHG la Commissione Europea ha proposto di portare al 40% la presenza di energie rinnovabili nel mix energetico europeo e di aumentare gli obiettivi di efficienza energetica fino a ottenere un 36-39% di riduzione del consumo di energia primaria finale da raggiungere entro il 2030. Quest'ultima misura è fondamentale per far diminuire sia le emissioni sia i costi dell'energia per tutti i tipi di utilizzo.

Il Green Deal Europeo entra ufficialmente in vigore da giugno 2021 e per realizzare i target che sono stati presentati precedentemente, esso si concentra su tre principi volti a una transizione verso un'energia più pulita (15).

1. Garantire un approvvigionamento energetico dell'UE sicuro e a prezzi accessibili;
2. Sviluppare un mercato dell'energia pienamente integrato, interconnesso e digitalizzato;

² La neutralità climatica consiste nel raggiungimento di emissioni nette di GHG pari a zero. (47)

³ La povertà energetica si verifica quando le bollette energetiche rappresentano una percentuale elevata del reddito dei consumatori, incidendo sulla loro capacità di coprire altre spese. Può verificarsi anche quando i consumatori sono costretti a ridurre il consumo energetico delle loro famiglie. (48)

3. Dare la priorità all'efficienza energetica, migliorare il rendimento energetico dei nostri edifici e sviluppare un settore energetico basato in larga misura sulle fonti rinnovabili.

Per raggiungere questi obiettivi la Commissione propone di:

- Costruire sistemi energetici interconnessi;
- Promuovere tecnologie innovative;
- Incrementare l'efficienza energetica;
- De-carbonizzare il settore del gas;
- Responsabilizzare i consumatori;
- Promuovere gli standard e le tecnologie dell'UE nel campo dell'energia.

2.3.3 La Tassonomia Europea

Per raggiungere gli obiettivi imposti dall'ONU nell'Agenda 2030, gli SGD, e dall'UE attraverso il Green Deal Europeo è importante investire in progetti e attività sostenibili. La recente pandemia da Covid-19 ha accentuato maggiormente il bisogno di riuscire a rendere le nostre economie e le nostre società più resilienti verso il cambiamento climatico e più sostenibili nel lungo periodo. Per fare ciò è stato necessario pensare ad un linguaggio comune da adottare e una definizione chiara del termine sostenibile. Per questo motivo è stata ideata la Tassonomia Europea, ossia un sistema di classificazione per stabilire una lista di attività economiche ambientalmente sostenibili. Questo sistema può giocare un importante ruolo nell'aiutare gli investimenti sostenibili su scala europea e nell'implementazione del Green Deal Europeo. La Tassonomia fornisce a compagnie, investitori e politici delle definizioni appropriate di quali attività possono essere considerate sostenibili, creando quindi una sicurezza per gli investitori, una protezione dal *greenwashing*, un aiuto alle compagnie per diventare più *climate friendly* e infine un aiuto nel cambio di investimenti. (16)

La Tassonomia Europea o *Taxonomy regulation* è stata pubblicata nell'*Official Journal of the European Union* il 22 giugno 2020 ed è entrata in vigore dal 12 luglio 2020, ma la prima versione di un sistema di classificazione per le attività economiche ambientalmente sostenibili fu pubblicata nel giugno 2019.

Un investimento è dunque finanziabile solo se conforme alla Tassonomia e per essere considerato “green” un investimento deve contribuire ad almeno uno dei seguenti sei obiettivi:

- Mitigazione del cambiamento climatico;
- Adattamento al cambiamento climatico;
- Uso sostenibile e protezione dell’acqua e delle risorse marine;
- Transizione verso un economia circolare;
- Prevenzione e controllo dell’inquinamento;
- Protezione e restaurazione della biodiversità e degli ecosistemi.

Attraverso la Tassonomia Europea, la Commissione ha fornito una lista delle attività ambientalmente sostenibili, definendo insieme dei criteri tecnici di valutazione che sono raccolti in degli atti delegati, per ogni obiettivo fra quelli elencati precedentemente. (17)

Il primo atto delegato sulle attività sostenibili che contribuiscono agli obiettivi di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici è stato pubblicato nel *Official Journal* il 9 dicembre 2021. Quest’atto determina le condizioni secondo cui un’attività contribuisce ai due obiettivi sopracitati e non causa un danno a nessuno degli altri obiettivi sostenibili.

Il 2 febbraio 2022 la Commissione ha presentato un atto delegato complementare che include, sotto condizioni molto rigorose, anche attività specifiche nel settore dell’energia nucleare e del gas naturale nell’elenco delle attività economiche all’interno della *Taxonomy Regulation*. Il motivo per cui si è deciso di integrare anche queste specifiche attività è stata una valutazione positiva sul contributo a raggiungere gli obiettivi climatici e ambientali dell’UE e sulla spinta decisa che porterebbero al passaggio dai combustibili fossili, liquidi o solidi, a fonti di energia più pulite per raggiungere la neutralità climatica.

L’aggiunta dell’energia nucleare e del gas alla lista è stata recentemente al centro del dibattito sociale e politico sia in Italia che in Europa. Nel 2020 la Commissione ha avviato un lavoro di valutazione per l’inclusione o meno dell’energia nucleare nella Tassonomia Europea che si basa su relazioni scientifiche riguardanti gli aspetti significativi – sia dannosi per l’ambiente che non – dell’energia nucleare e anche del gas naturale. Una volta che questi report sono stati resi disponibili, la Commissione ha chiesto al gruppo di esperti responsabile degli aspetti tecnici riguardanti la Tassonomia, la *Platform on Sustainable*

Finance (PSF), di fornire un parere sull'aggiunta o meno dell'energia nucleare nell'elenco delle attività ambientalmente sostenibili. La PSF si è pronunciata negativamente contro l'aggiunta del nucleare e del gas naturale, ma la Commissione ha deciso di inviare comunque la proposta ai co-legislatori, al Parlamento Europeo e agli Stati Membri che sono arrivati alla conclusione presentata precedentemente.

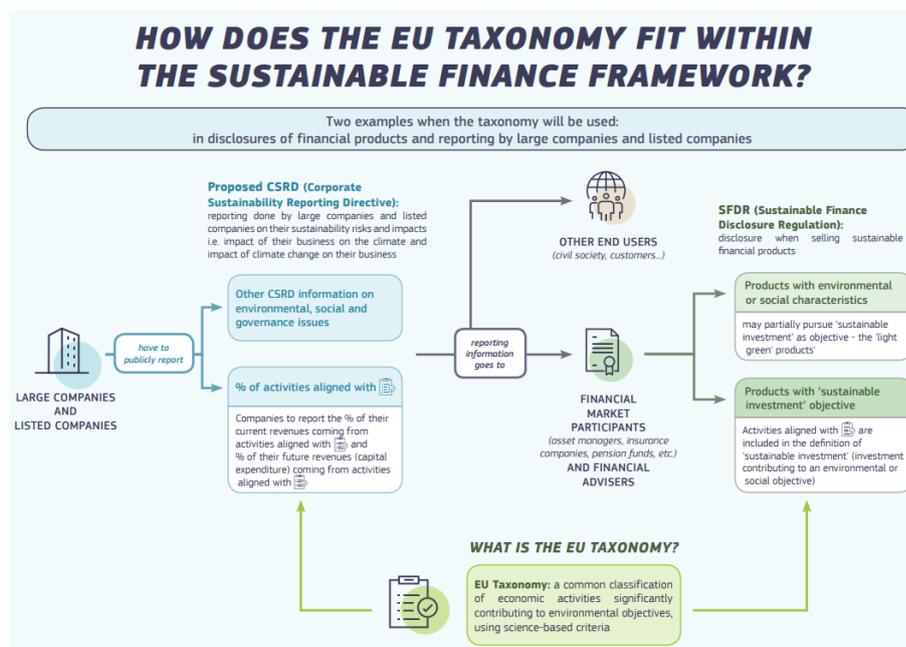


Figura 33 - Meccanismo di finanza sostenibile europeo (18)

Come raffigurato nella Figura 33 la Tassonomia si inserisce all'interno del sistema di finanza sostenibile previsto dall'UE e contribuisce a una maggiore trasparenza negli investimenti. Nel meccanismo di finanza sostenibile le aziende presentano pubblicamente un rapporto chiamato CSRD (*Corporate Sustainability Reporting Directive*) in cui dichiarano i rischi e gli impatti sulla sostenibilità della compagnia; in aggiunta a questo report, con l'introduzione della tassonomia europea, le aziende devono indicare la percentuale delle loro entrate attuali e delle loro entrate future previste provenienti da attività allineate con la tassonomia. In questo modo i clienti, la società civile o possibili investitori possono sapere che stanno acquistando dei beni che parzialmente costituiscono un investimento sostenibile o se le attività in cui stanno investendo sono incluse nelle definizioni di investimento sostenibile contenute nella delibera del Consiglio Europeo.

2.3.4 Next Generation EU

Dopo la COP 21 numerosi sono stati gli impegni presi dai singoli governi per contribuire agli ambiziosi obiettivi dell'Accordo di Parigi attraverso i loro NDC (cfr. pag. 30) e sono continuate le Conferenze per il Clima in cui i Paesi hanno continuato a presentare le loro strategie e i loro obiettivi. Tuttavia la pandemia da Covid-19 ha rallentato bruscamente lo sviluppo economico di molte Nazioni e contestualmente anche l'aggiornamento degli obiettivi degli NCD in quanto considerati di secondaria importanza in quel momento. Per consentire agli Stati Membri di riprendersi dalla pandemia e ripartire con i propri obiettivi di crescita e sviluppo sostenibile, l'Unione Europea ha previsto un piano di ripresa temporaneo del valore di circa 800 miliardi di euro da investire per creare un Europa post Covid-19 più verde, digitale, resiliente e sostenibile, chiamato NextGenerationEU.



Figura 34 - Logo del piano NextGenerationEU

Ogni Paese presenta un proprio piano di ripresa e resilienza per poter accedere a parte di questo finanziamento, circa 733 miliardi di euro, secondo le suddivisioni indicate nella Tabella 2. Accedendo a questi prestiti e sovvenzioni ogni Stato potrà investire in diversi ambiti di sviluppo fra cui:

- Ambiente;
- Digitalizzazione;
- Salute e benessere;
- Lavoro;
- Istruzione;
- Pari opportunità;
- Uguaglianza.

Tabella 2 - Suddivisione del fondo europeo di ripresa e resilienza fra i diversi Stati Membri (19)

**Recovery and Resilience Facility:
Maximum grant allocations* (current prices)**

	For 70% of the amount available	For 30% of the amount available	Total
 Belgium	36	23	5.9
 Bulgaria	46	16	6.3
 Czechia	35	35	7.1
 Denmark	13	02	1.6
 Germany	163	93	25.6
 Estonia	08	02	1.0
 Ireland	09	01	1.0
 Greece	135	43	17.8
 Spain	466	229	69.5
 France	243	150	39.4
 Croatia	46	17	6.3
 Italy	479	210	68.9
 Cyprus	08	02	1.0
 Latvia	16	03	2.0
 Lithuania	21	01	2.2
 Luxembourg	01	00	0.1
 Hungary	46	25	7.2
 Malta	02	01	0.3
 Netherlands	39	20	6.0
 Austria	22	12	3.5
 Poland	203	36	23.9
 Portugal	98	41	13.9
 Romania	102	40	14.2
 Slovenia	13	05	1.8
 Slovakia	46	17	6.3
 Finland	17	04	2.1
 Sweden	29	04	3.3
 EU 27	234.5	103.5	338.0

(In billion EUR, current prices)

In relazione agli obiettivi energetici e ambientali che l'Unione Europea si è impegnata a raggiungere per il 2030 e alla neutralità climatica da raggiungere entro il 2050 secondo il Green Deal Europeo, il sito del NextGenerationEU mette l'accento su questi traguardi dicendo che:

L'Europa è sulla buona strada per diventare il primo continente a impatto climatico zero entro il 2050: non produrremo più gas a effetto serra di quanti i nostri ecosistemi possano assorbire naturalmente. Con NextGenerationEU investiremo in tecnologie rispettose dell'ambiente, introdurremo veicoli e trasporti pubblici più ecologici e renderemo i nostri edifici e spazi pubblici più efficienti sotto il profilo energetico. (20)

Attraverso il piano NextGeneratioEU l'Unione Europea prevede di investire su forme di energia più pulite, accessibili e dai costi ridotti, oltre a una ristrutturazione massiccia di

edifici residenziali e privati per aumentarne l'efficienza dal punto di vista energetico. Inoltre l'investimento in nuove tecnologie permetterà anche di rendere le città e i loro edifici più digitali e connessi fra di loro, creando sistemi intelligenti al servizio delle città e delle persone.

Un altro aspetto chiave per questi investimenti è il settore dei trasporti; l'obiettivo dell'UE è quello di renderli più rispettosi dell'ambiente, di sviluppare nuovi mezzi di trasporto a zero emissioni, migliorare le infrastrutture e la capillarità delle reti già esistenti dei mezzi meno inquinanti e infine investendo nelle infrastrutture ciclabili.

Al centro del Green Deal Europeo e del NextGenerationEU vi è anche la protezione della natura e della biodiversità, considerate come essenziali per la nostra vita. L'obiettivo di questo piano di ripresa è la protezione di un numero maggiore di zone marine e terrestri, insieme a un progetto di miglioramento e aumento delle foreste, per riuscire a preservare l'ambiente naturale europeo e a sviluppare contemporaneamente un'economia sostenibile.

Come verrà analizzato successivamente, anche l'Italia ha presentato un suo piano nazionale di ripresa per riuscire a raggiungere gli obiettivi energetici e ambientali imposti, insieme al resto degli ambiti di interesse presenti nel NextGenerationEU.

2.4 Italia

I cambiamenti climatici che sono stati elencati nei capitoli e paragrafi precedenti hanno iniziato a manifestarsi anche sul territorio italiano, con prolungati periodi di siccità, temporali più intensi e pericolosi, scioglimento più veloce dei ghiacciai e incendi non dolosi più frequenti. Oltre agli ecosistemi naturali e alla fauna che li popola, un altro tipo di ambiente notevolmente a rischio sono le città, vista l'alta concentrazione di persone e servizi essenziali, a causa di eventi climatici estremi.

Nel 2019 i giorni di caldo intenso sono stati 29 in più rispetto al periodo 1961-1990 e secondo le proiezioni climatiche è molto probabile un aumento di questo tipo di fenomeni nelle aree urbane. Inoltre le città sono anche più esposte a rischi legati alle precipitazioni intense e derivanti da esondazioni, in particolare il 91% dei comuni italiani risulta essere a rischio per frane o alluvioni. (21)

Oltre agli ambienti urbani, anche le aree rurali sono a rischio: i cambiamenti climatici possono mettere a serio rischio il settore agricolo, sia per le coltivazioni che per gli allevamenti, e nel futuro si attendono decrementi nella produttività. Inoltre un uso differente del suolo a causa dell'innalzamento della temperatura potrebbe aumentare il rischio della propagazione di incendi in alcune aree, con possibili ricadute su persone, beni ed ecosistemi, aumentando contestualmente le emissioni di gas a effetto serra.

Insieme all'Unione Europea l'Italia si è impegnata nella lotta ai cambiamenti climatici attraverso la ratifica dei vari accordi internazionali, istituendo politiche volte allo sviluppo sostenibile e promuovendo gli investimenti nel campo delle energie rinnovabili, dell'efficienza energetica e dello sviluppo sostenibile. Oltre al Green Deal Europeo, che rappresenta il modello di sviluppo previsto dall'Unione Europea, l'ultimo e più famoso provvedimento è il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), necessario per accedere ai fondi messi a disposizione dall'UE attraverso il piano NextGenerationEU per aiutare la popolazione a riprendersi dalla pandemia da Covid-19 e riprendere il percorso intrapreso negli anni precedenti verso uno sviluppo sostenibile.

Nel corso di questo paragrafo saranno presentati i principali consumi energetici dell'Italia, la composizione del suo mix energetico e i capitoli del PNRR riguardanti la questione energetica e ambientale.

2.4.1 Consumi generali

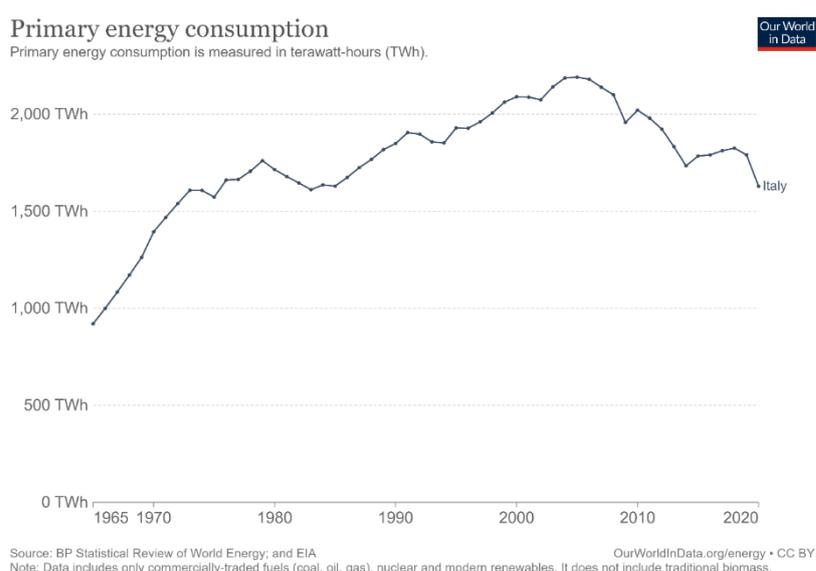


Figura 35 - Andamento del consumo di energia primaria per l'Italia (22)

Dal secondo dopoguerra fino all'inizio degli anni 2000 il consumo italiano di energia primaria è stato in costante aumento come rappresentato in Figura 35. Tuttavia, da qualche decennio il consumo di energia primaria ha iniziato a diminuire e osservando la Figura 36 si nota che tale diminuzione è legata a un minore utilizzo di petrolio e di gas naturale, mentre sono aumentati i consumi da parte delle fonti energetiche rinnovabili.

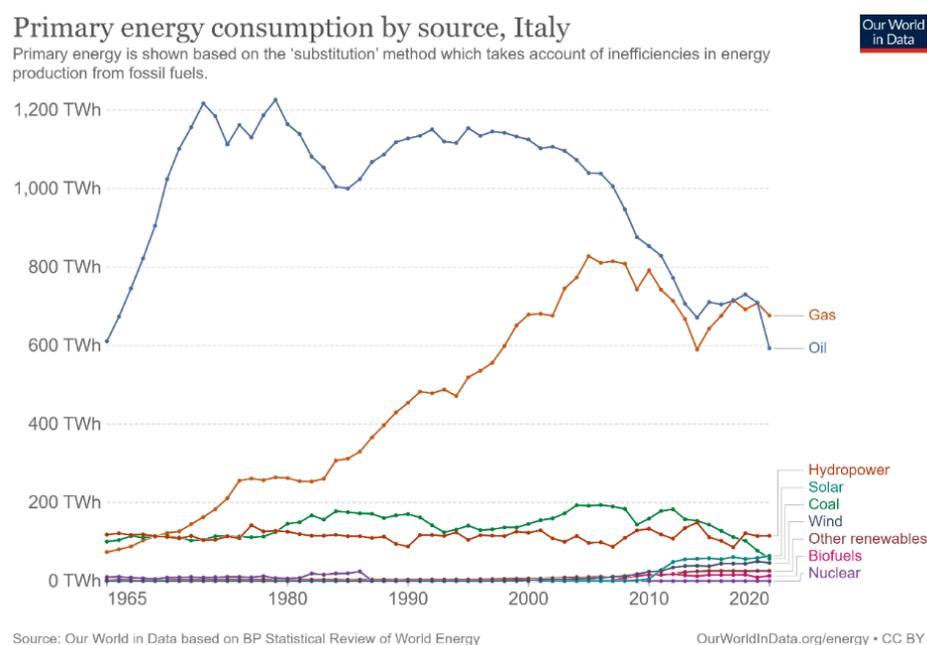
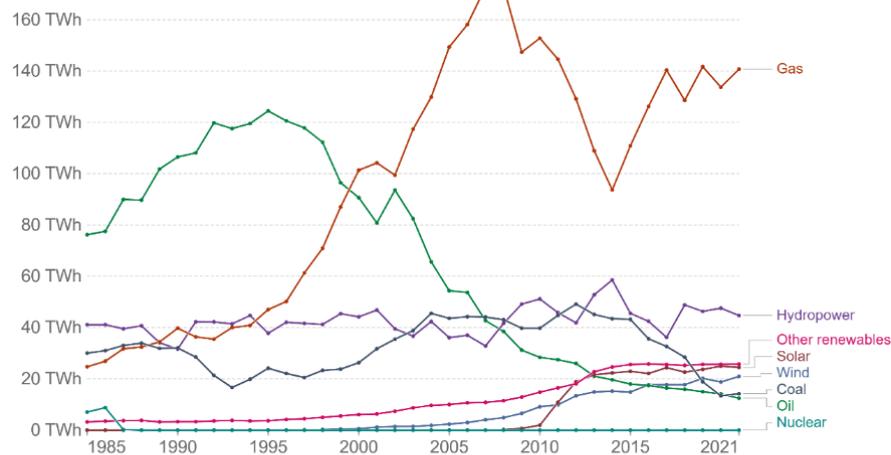


Figura 36 - Andamento del consumo di energia primaria italiano differenziato per fonte energetica (22)

Analizzando da quali fonti energetiche derivi la produzione di energia elettrica, come rappresentato in Figura 37, negli ultimi il gas è nettamente diminuito e il petrolio, che già veniva usato in maniera ridotta, ora si trova scavalcato da idroelettrico, solare e altre fonti rinnovabili. L'energia elettrica prodotta da solare, come ben evidenziato anche nel grafico, presenta un netto aumento nell'anno 2010 quando venne approvato il DM 10-9-2010 n. 219 che indicava le linee guida per l'autorizzazione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili. Anche le altre FER hanno beneficiato di questo decreto ministeriale, anche se in misura minore rispetto al fotovoltaico.

Electricity production by source, Italy

Our World
in Data



Source: Our World in Data based on BP Statistical Review of World Energy, Ember Global Electricity Review (2022) & Ember European Electricity Review (2022)
Note: 'Other renewables' includes biomass, waste, geothermal and wave and tidal energy.
OurWorldInData.org/energy • CC BY

Figura 37 - Andamento della produzione di energia elettrica per fonte di energia (23)

Nel Bilancio Energetico Nazionale, redatto annualmente dal Ministero dello Sviluppo Economico (MSE) e riportato anche sul sito web Istat, vengono presentati gli usi finali dell'energia divisi per settore (Tabella 3). Dalla Tabella 3 e dalla Figura 38 è possibile vedere che il settore con il più alto consumo di energia è quello degli usi civili, che comprende i consumi del settore domestico, del commercio, dei servizi e della Pubblica Amministrazione. Altri settori energivori sono l'industria e i trasporti, seguiti poi dagli usi non energetici, bunkeraggi⁴ e l'agricoltura.

Tabella 3 - impieghi finali (valori espressi in milioni di tonnellate di petrolio) (24)

SETTORE	2015	2016	2017	2018	2019
AGRICOLTURA	2.8	2.82	2.96	3	2.89
INDUSTRIA	27.01	27.14	27.12	27.15	26.9
TRASPORTI	38.77	38.94	38.89	40.37	40.42
USI CIVILI	47.46	46.89	47.79	47.13	47.39
USI NON ENERGETICI	5.5	5.56	5.66	5.68	5.09
BUNKERAGGI	2.6	2.95	3.07	3.14	3.11
TOTALE	124.11	124.3	125.5	126.47	125.79

⁴ Nel linguaggio della marina mercantile, approvvigionamento dei combustibile per la nave. (49)

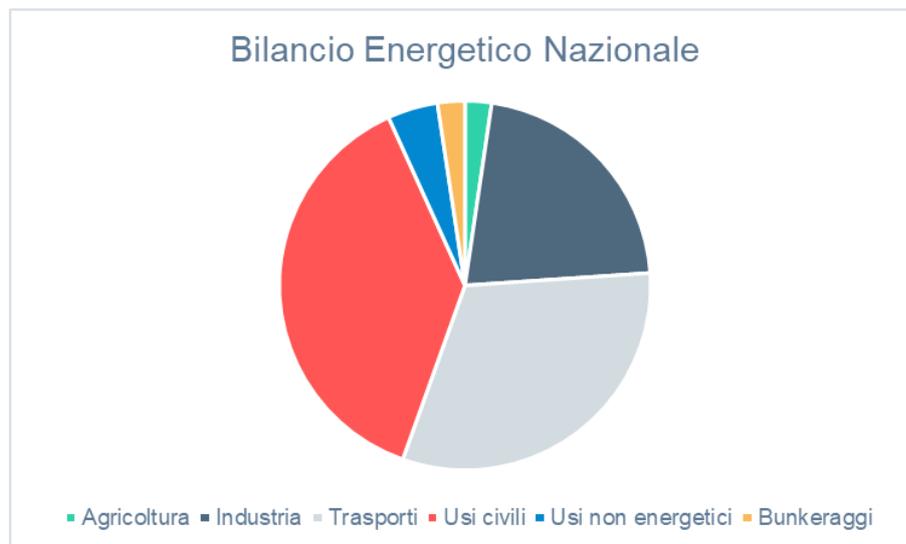


Figura 38 - Rappresentazione del Bilancio energetico Nazionale (24)

Nella Figura 39 vengono presentate infine le emissioni di CO₂ nel corso degli anni a partire dalla metà del 1800. Per quanto riguarda l'anidride carbonica le emissioni sono aumentate esponenzialmente a partire dalla metà del XX secolo fino ai primi anni 2000, quando si iniziarono a implementare le prime misure per combattere il cambiamento climatico attraverso la riduzione delle emissioni di inquinanti nell'atmosfera e quindi iniziarono a diminuire progressivamente le emissioni di CO₂ in atmosfera.

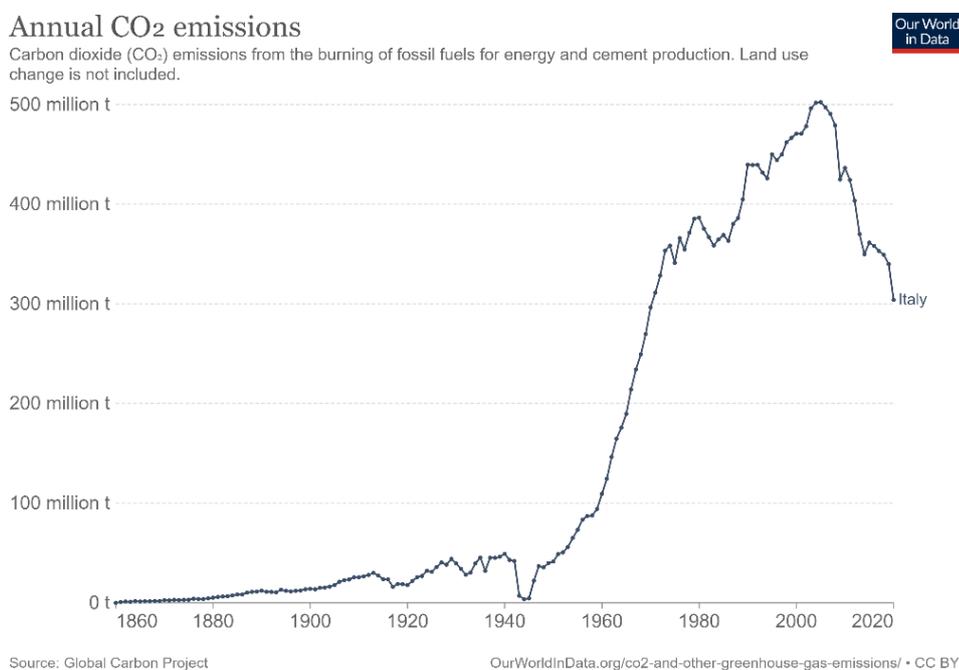
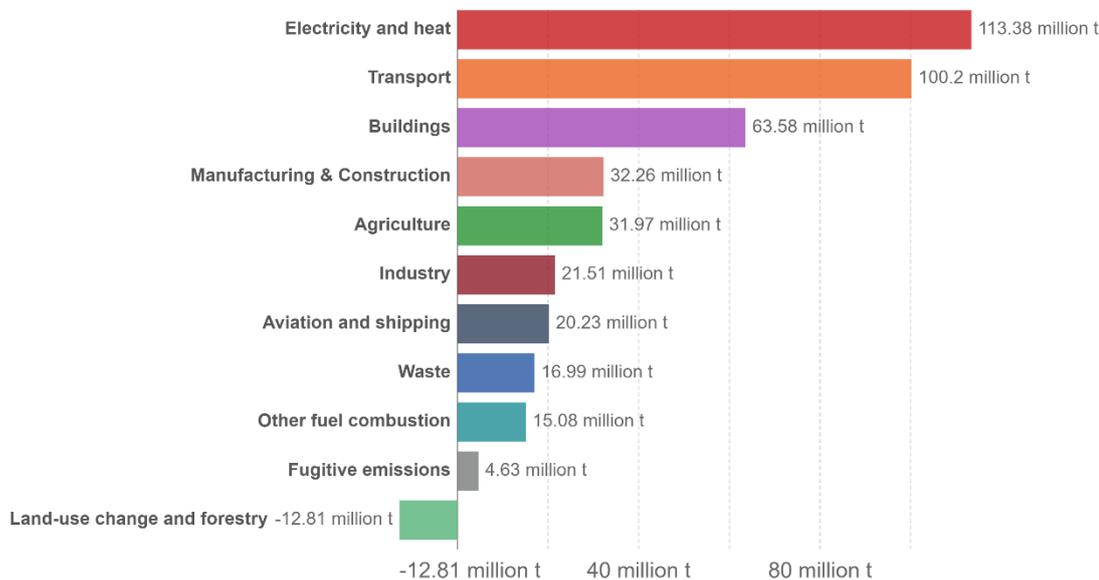


Figura 39 - Emissioni di CO₂ annuali in Italia (7)

Greenhouse gas emissions by sector, Italy, 2018

Emissions are measured in carbon dioxide equivalents (CO₂eq). This means non-CO₂ gases are weighted by the amount of warming they cause over a 100-year timescale.



Source: CAIT Climate Data Explorer via Climate Watch

OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions • CC BY

Note: Greenhouse gases are weighted by their global warming potential value (GWP100). GWP100 measures the relative warming impact of one molecule of a greenhouse gas, relative to carbon dioxide, over 100 years.

Figura 40 - Emissioni di GHG suddivise per settore nel 2018 (7)

Nella Figura 40 sono invece presentate le emissioni di GHG in Italia nel 2018 che risultano essere molto elevate per i settori dell'energia (elettrica e termica), per i trasporti, per gli edifici, per il settore manifatturiero e per l'agricoltura. È quindi evidente, ancora una volta, come i settori in cui sia necessario intervenire per rispettare gli impegni internazionali siano quello dell'energia, dei trasporti e degli edifici.

In conclusione, l'Italia è ancora molto dipendente da fonti di energia fossili, ma dall'inizio del XXI secolo ha iniziato a investire molto anche nelle energie rinnovabili, oltre all'idroelettrico che già rappresentava una solida realtà nel nostro Paese. Tuttavia le emissioni di CO₂ sono ancora molto alte e il fabbisogno energetico continua a aumentare, motivo per cui è necessario prevedere nuove misure in modo da rispettare gli obiettivi ambientali ed energetici comunitari. Per ottenere i finanziamenti previsti dal piano NextGeneratioEU, il Governo italiano ha redatto un piano di ripresa che al suo interno comprende molti investimenti nel settore energetico per continuare il percorso verso uno sviluppo sostenibile.

2.4.2 PNRR

Come già evidenziato nei capitoli precedenti, l'Italia è particolarmente a rischio a causa dei cambiamenti climatici, sia per gli effetti legati alle ondate di caldo e ai prolungati periodi di siccità, sia per quelli dovuti all'incremento del livello del mare e agli eventi di precipitazioni intense. Secondo le stime dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (Ispra) nel 2017 il 12,6% della popolazione viveva in aree classificate a elevata pericolosità di frana o soggette a alluvioni. (25) Inoltre le emissioni pro capite di gas a effetto serra, espresse in [tonnellate di CO2 equivalente], sono rimaste pressoché costanti negli ultimi anni fino al 2019. In Figura 41 è stato riportato come esempio l'andamento delle emissioni pro-capite di CO2.

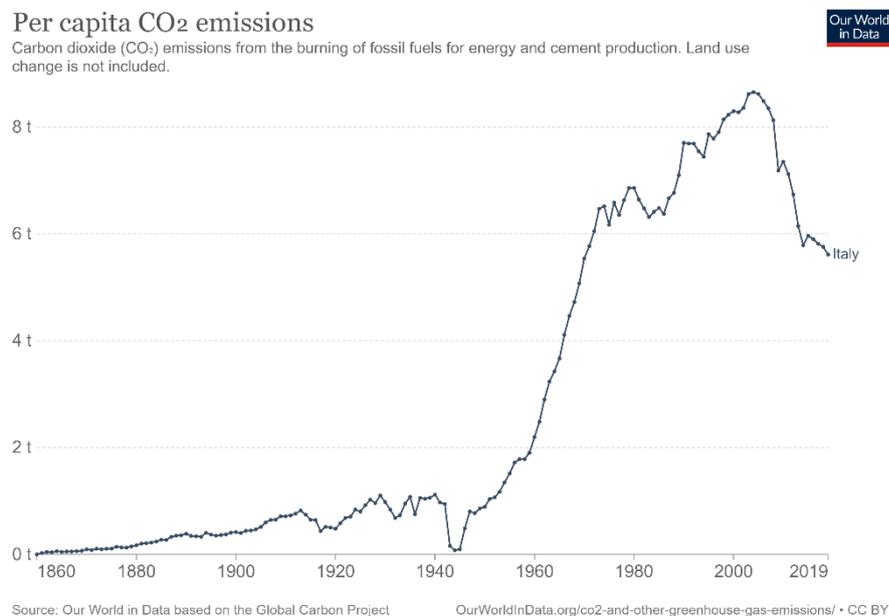


Figura 41 - Andamento delle emissioni pro-capite di CO₂ in Italia (7)

Oltre alla questione ambientale, anche dal punto di vista economico l'Italia è particolarmente a rischio: tra il 1999 e il 2019 il PIL italiano è cresciuto del 7,9%, mentre in Paesi come Germania, Francia e Spagna nello stesso periodo il PIL nazionale è rispettivamente cresciuto del 30,2%, del 32,4% e del 43,6%. (25) Inoltre la pandemia da Covid-19 ha colpito duramente l'economia italiana, portando il PIL a diminuire dell'8,9%. L'UE ha risposto alla crisi legata alla pandemia con il NextGenerationEU che per l'Italia rappresenta un'opportunità unica per sviluppo e investimenti e che potrebbe aiutare il Paese a modernizzare la propria Pubblica Amministrazione,

rafforzare le sue produzioni e intensificare gli sforzi per creare una società più inclusiva e giusta.

Le sei Missioni del piano (25) sono:

- Digitalizzazione, innovazione, competitività, cultura e turismo;
- Rivoluzione verde e transizione ecologica;
- Infrastruttura per una mobilità sostenibile;
- Istruzione e ricerca;
- Inclusione e coesione;
- Salute.

La Missione più rilevante per gli argomenti trattati in questo elaborato è sicuramente quella riguardante la rivoluzione verde e la transizione ecologica. La Transizione Ecologica, indicata anche nell'Agenda 2030 dell'ONU (10), è la base del modello di sviluppo pensato per l'Europa e quindi anche per l'Italia. Intervenire per ridurre le emissioni inquinanti, prevenire e contrastare il dissesto del territorio, minimizzare l'impatto delle attività produttive sull'ambiente sono azioni necessarie per migliorare la qualità della vita e la sicurezza ambientale, oltre che per lasciare un Paese più verde e una economia più sostenibile alle nuove generazioni. (25)

L'applicazione di questa Missione comprende una serie di interventi e investimenti volti a promuovere un sistema di produzione più sostenibile, a partire dall'agricoltura fino all'industria, e azioni per l'efficientamento del patrimonio immobiliare pubblico e privato, oltre a una serie di misure per il contrasto al rischio idrogeologico e per garantire la sicurezza dell'approvvigionamento delle risorse idriche.

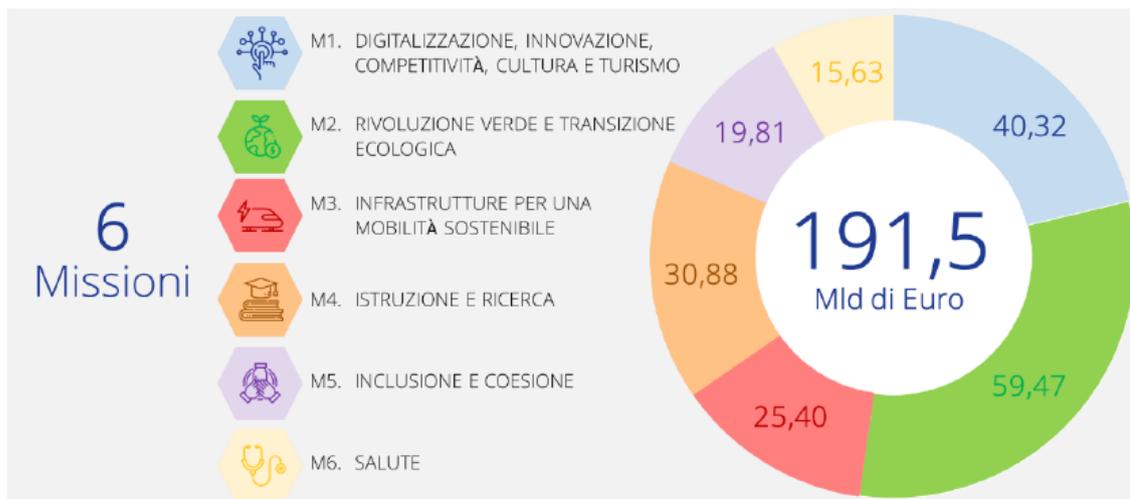


Figura 42 - Allocations delle risorse RRF (Dispositivo di Ripresa e Resilienza) alle Missioni (25 p. 21)

Come si vede dalla Figura 42, la Missione riguardante la transizione ecologica è considerata di fondamentale importanza e prevede un'allocazione maggiore delle risorse rese disponibili dal NextGenerationEU.



Figura 43 - Suddivisione delle risorse destinate alla Missione di rivoluzione verde e transizione ecologica (25 p. 116)

La Missione 2, intitolata “Rivoluzione Verde e Transizione Ecologica”, viene suddivisa in quattro componenti principali che sono:

1. Economia circolare e agricoltura sostenibile;
2. Energia rinnovabile, idrogeno, rete e modalità sostenibile;
3. Efficienza energetica e riqualificazione degli edifici;
4. Tutela del territorio e della risorsa idrica.

La componente 3 è quella di maggiore interesse e applicabilità su larga scala, in quanto l'intenzione è quella di incrementare l'efficienza energetica degli edifici che in Italia sono particolarmente obsoleti: infatti il parco edifici nazionale è composto per il 60% da edifici di almeno 45 anni, sia privati che pubblici.

Gli edifici italiani rappresentano circa un terzo dei consumi energetici nazionali (vedi Figura 38) e la maggior parte di essi è stato costruito in un periodo in cui il concetto di efficienza energetica non era radicato e non era ancora presente una normativa al riguardo. Secondo quanto scritto nel PNRR, ci si attende in questa componente un risparmio pari a 209 [ktep all'anno] di energia finale e di 718 [ktCO₂ all'anno] rispetto al 2017. (25)

La componente è a sua volta strutturata da 3 linee guida:

- Attuazione di un programma per migliorare l'efficienza e la sicurezza del patrimonio edilizio pubblico;
- Introduzione di un incentivo temporaneo per la riqualificazione energetica e l'adeguamento antisismico del patrimonio immobiliare privato;
- Sviluppo di sistemi di teleriscaldamento efficienti.

Per riuscire a far fronte ai lunghi tempi che una ristrutturazione e un ammodernamento del genere richiedono e per raggiungere gli obiettivi di efficienza energetica e di riduzione delle emissioni previsti per il 2030, si è deciso di estendere la misura del Superbonus 110 per cento fino al 2023. In questo caso il sostegno economico sarà erogato tramite detrazioni fiscali pari al 110% delle spese sostenute, usufruibili in un periodo di 5 anni.

In conclusione si può dire che la volontà del Governo italiano, attraverso i punti chiave del PNRR, è quella di investire sul patrimonio edilizio già presente in Italia e di renderlo più moderno ed efficiente in concordanza con i nuovi standard europei. Tuttavia, gli interventi per raggiungere questi obiettivi potrebbero non essere sempre di facile attuazione a causa dell'età degli edifici e degli impianti. È necessario quindi conoscere il più possibile i sistemi che possono essere implementati per migliorare la performance energetica di un edificio, l'hardware che è necessario installare e i limiti della loro applicabilità.

3 Sistemi di controllo e misurazione

Come evidenziato nei capitoli precedenti, la crescita del fabbisogno energetico in tutti i settori porterà a due possibili soluzioni per andare a sopperire alla quantità limitata di risorse e agli alti costi di produzione:

- 1) Generare più energia, grandi investimenti
- 2) Ottimizzare l'uso dell'energia attraverso un miglioramento della distribuzione e degli usi finali

Essendo l'aumento dell'efficienza energetica uno degli obiettivi fondamentali previsti dall'Unione Europea (cfr 2.3.2) e dal Governo Italiano attraverso il PNRR (cfr 2.4.2) e considerato che gli edifici residenziali e del settore terziario rappresentano il 41.7% del consumo di energia italiano (26) è necessario che ci si occupi di due obiettivi fondamentali per raggiungere questo risultato:

- Il miglioramento tecnologico dei sistemi (e.g. HVAC) e dell'involucro dell'edificio insieme all'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili;
- Il miglioramento dell'uso dell'energia e del monitoraggio degli attuali sistemi di controllo degli edifici.

Il primo punto richiede una spesa importante e sovente anche interventi sul campo di difficile attuazione a causa di limiti architettonici o tecnologici, motivi per cui questo tipo di azioni non vengono effettuate molto spesso. Il secondo punto invece è di più facile attuazione poiché gli accorgimenti da fare per ottenere tali finalità risultano essere meno complessi, per esempio modificare logiche di controllo, migliorare gli interventi di manutenzione, sostituzione di componenti degli impianti con altri più efficienti.

Per essere in grado di comprendere quali siano gli interventi necessari al raggiungimento di un preciso obiettivo di efficienza energetica, vista anche la complessità sempre maggiore dei sistemi a servizio di un edificio, bisogna distinguere due concetti fondamentali: la gestione dell'energia e l'automazione dell'edificio.

La gestione dell'energia in un edificio è l'insieme di azioni proattive e organizzate che puntano alla razionalizzazione dell'uso dell'energia considerando obiettivi ambientali ed economici. L'automazione dell'edificio è invece il controllo dei sistemi che sono composti da sensori e attuatori, programmati usando delle logiche di controllo per

monitorare e regolare le operazioni di funzionamento in maniera coordinata in modo da ottimizzare le performance e l'uso dell'energia. In questo capitolo verranno descritti i sistemi di gestione dell'edificio e i dispositivi che li compongono, concentrandosi in particolare sui dispositivi di misurazione e di controllo che sono stati ritrovati durante i sopralluoghi nel sito oggetto del caso studio. In conclusione verrà fatta una breve panoramica sulle modalità di comunicazione fra i dispositivi e i linguaggi utilizzati per la trasmissione dei dati e delle informazioni.

3.1 BMS

Negli ultimi decenni vi è stato un grande sviluppo dei sistemi di comunicazione, del mondo IoT e degli algoritmi predittivi, per cui c'è stata una grande attenzione verso i sistemi di controllo in via di sviluppo e una grande produzione di normative per introdurre specifiche tecniche e strumenti di calcolo per valutare e migliorare nel tempo l'efficienza energetica dell'edificio.

Il BMS (*Building Automation System*), conosciuto anche come BACS (*Building Automation and Control Systems*), è un sistema che comprende tutti i prodotti, software e servizi per il controllo automatico, il monitoraggio, l'ottimizzazione e la gestione per ottenere dei sistemi dell'edificio efficienti, economici e sicuri. Di solito l'implementazione di un BMS all'interno dell'edificio produce un risparmio energetico medio pari al 37% per quanto riguarda i sistemi HVAC e fino al 25% per i sistemi di illuminazione. (27) Il BMS è costituito da due sistemi differenti:

- Il BEMS (*Building Energy Management System*) che comprende la raccolta dei dati, l'allarmistica, la reportistica e l'analisi dell'uso dell'energia ed è necessario per ridurre i consumi, migliorare l'utilizzo dei sistemi e aumentarne l'affidabilità;
- Il TBM (*Technical Building Management*) che comprende i processi e i servizi relativi alla conduzione tecnica degli impianti dell'edificio.

Tutti questi sistemi sono normati dalla UNI EN 15232-1, che definisce i principi e le metodologie per valutare l'impatto della regolazione e del controllo automatico nei sistemi energetici dell'edificio. Solitamente i BMS si riferiscono ai sistemi di controllo e gestione degli impianti dedicati al riscaldamento, al raffrescamento, alla ventilazione e all'illuminazione.

Il procedimento indicato dalla norma per identificare il livello di efficienza che è possibile raggiungere con un determinato BMS e con determinate logiche di controllo è suddiviso in quattro fasi:

- I. Definizione dei sistemi e delle funzioni di controllo e automazione che contribuiscono alla performance energetica dell'edificio che poi vengono categorizzati in un livello da 0 a 4 a seconda delle prestazioni energetiche dei diversi componenti del sistema energetico dell'edificio;
- II. Definizione di quattro classi di efficienza energetica per classificare i BMS nel loro complesso, che vanno dal meno efficiente (classe D) al più efficiente (classe A) a seconda del livello di automazione, di granularità del controllo, di comunicazione e di precisione nelle funzioni di controllo;
- III. Definizione del metodo di calcolo per valutare l'impatto del BMS che può essere:
 - a. Metodo dettagliato: per un'analisi dettagliata delle performance energetiche dovute al BMS;
 - b. Metodo dei fattori BACS: per una rapida e semplice stima dell'impatto di un sistema di controllo e automazione in base alla sua classe di appartenenza;
- IV. Definizione dei minimi normativi per le funzioni e le logiche del BMS dell'edificio a seconda della sua destinazione d'uso.

Le quattro classi di efficienza nominate al punto II (27) sono:

- Classe D: sistemi privi di regolazione e automazione, non efficienti;
- Classe C: sistemi dotati dei minimi requisiti dalla norma, ovvero sistemi di controllo e automazione con prestazioni minime;
- Classe B: in aggiunta ai requisiti per la classe C, i sistemi di controllo nei vari ambienti devono essere in grado di comunicare in modo coordinato con il sistema di automazione dell'edificio;
- Classe A: sistemi ad alte prestazioni che dispongono di logiche e specifiche di alta precisione e granularità, per esempio i controllori a livello di stanza devono essere in grado di rilevare l'occupazione e di adattare il controllo dei sistemi HVAC anche in base ad altri parametri e di integrarlo anche con altri sistemi come l'illuminazione e le schermature.

Attualmente la classe B rappresenta il requisito minimo per gli edifici di nuova costruzione e, nel caso in cui sia prevista una ristrutturazione dell'edificio attraverso uno dei meccanismi incentivanti previsti dal Governo, per gli immobili oggetto di riqualificazione.

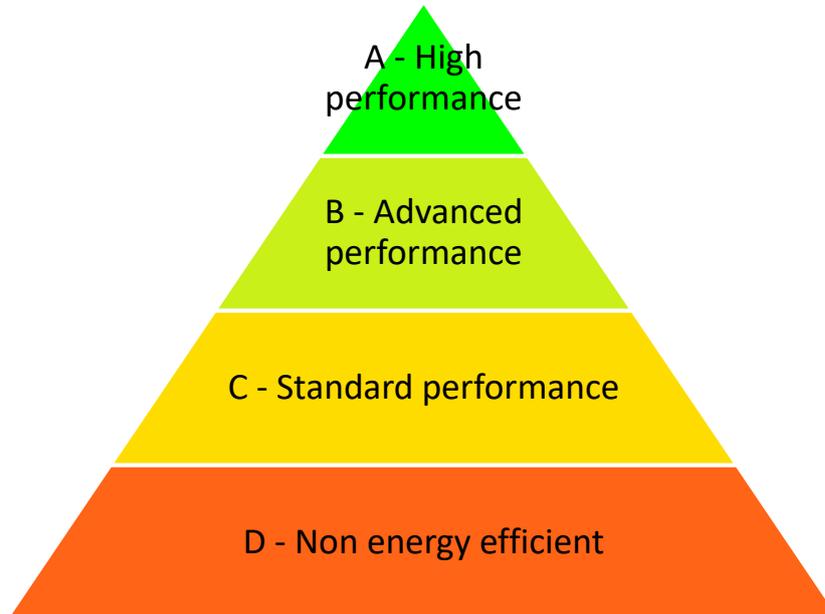


Figura 44 - Classi di efficienza BACS e TBM (27)

I componenti fondamentali di un BMS sono:

- I sensori, che misurano valori come temperature, umidità, occupazione e altri parametri importanti per il controllo dell'edificio;
- I controllori, che sollecitano la risposta del sistema a partire dai dati raccolti usando un algoritmo per applicare una logica e mandare dei comandi;
- I dispositivi di *output*, che inviano i segnali di comando al di fuori del controllore;
- Il protocollo di comunicazione, che è il “linguaggio” usato dai componenti del BMS;
- La *dashboard*, che è l'interfaccia dell'utente per interagire con il BMS.

La normativa UNI EN 15232-1 pone anche l'attenzione sulle interazioni fra BEMS e BMS, mettendo in evidenza che, oltre alle caratteristiche di monitoraggio energetico tipiche di un EMS (*Energy Management System*), un BEMS può essere utilizzato anche per determinare serie temporali dei consumi o per definire le performance di un edificio. Il monitoraggio è una parte fondamentale del BMS in quanto permette di effettuare analisi

per identificare eventuali opportunità di risparmio energetico e valutare la presenza di guasti o problemi all'interno dei sistemi a servizio dell'edificio. Un BEMS è costituito da una serie di dispositivi di misurazione che permettono il campionamento di grandezze diverse all'interno di un edificio. Nel prossimo paragrafo saranno presentati gli strumenti di misura che sono stati ritrovati nell'edificio oggetto del caso studio.

3.2 Strumenti di misura

Gli strumenti di misura sono fondamentali per le attività di monitoraggio, sia in campo energetico che non, e di verifica degli interventi di manutenzione o miglioramento del sistema. Inoltre il controllo di operazioni e processi è una delle applicazioni più importanti dei sistemi di misura. Gli strumenti sono composti principalmente da tre tipi di componenti: l'elemento sensibile, l'elemento di elaborazione e trasmissione e l'elemento rilevatore o indicatore (28). L'elemento sensibile, o sensore, trasforma la grandezza fisica da misurare in un segnale di misura, analogico o digitale, e si trova in interazione diretta con la grandezza. Il segnale di misura deve essere poi modificato per renderlo fruibile e trasmissibile: per questo motivo sono presenti uno o più elementi di elaborazione e trasmissione che trasformano il segnale in arrivo dal sensore in una grandezza elettrica modificandola tramite una linearizzazione o un'amplificazione per esempio. Infine l'elemento finale permette la lettura da parte dell'utente attraverso una visualizzazione analogica o digitale – e quindi si parla di elemento indicatore – o l'immagazzinamento dei valori misurati – in tal caso si parla di elemento rilevatore. Per scegliere correttamente il tipo di strumento di misura da utilizzare per una determinata applicazione, bisogna tenere in considerazione numerosi fattori, fra cui i più importanti sono la tipologia di flusso misurato, l'ambiente di lavoro, il carico che deve essere monitorato, la tipologia di misure che si vogliono effettuare e la tipologia di installazione. Oltre a questi fattori che dipendono fortemente dalla specifica applicazione e installazione, vi sono poi delle caratteristiche intrinseche agli strumenti di misura che sono:

- **La portata**, o campo di misura, che è l'insieme dei valori di una grandezza fisica su cui uno strumento può fare una misura e sono limitati inferiormente dalla portata minima (minimo valore misurabile) e superiormente dalla portata massima (massimo valore misurabile, anche detto “fondo scala”);

- **L'accuratezza** che rappresenta la capacità di uno strumento di indicare o registrare il valore esatto della grandezza misurata ed esprime l'assenza di errori di misura: una misura è tanto più accurata quanto più l'errore, cioè la differenza fra valore letto e valore reale, tende a essere piccolo. Solitamente valori fra il 2,5% e il 5% sono accettabili per le misure di esercizio, mentre per misure più accurate per un punto di vista economico e fiscale devono scendere a 0,5 – 1%;
- **La precisione**, o ripetibilità, che rappresenta la capacità di uno strumento di indicare, nel caso di misure ripetute, sempre lo stesso valore della grandezza misurata. La variabilità dei risultati viene solitamente rappresentata tramite la deviazione standard σ ;
- **La sensibilità** che è la più piccola variazione della grandezza misurata che è possibile osservare con uno strumento ed è indicata dal rapporto fra una variazione del valore della grandezza in uscita dallo strumento e la corrispondente variazione della grandezza in ingresso;
- **La risoluzione** che è la capacità di rilevare le più piccole variazioni della grandezza fisica in esame durante la misurazione, nel caso di misure con strumenti digitali tale caratteristica coincide solitamente con la variazione di un'unità per la cifra meno significativa.

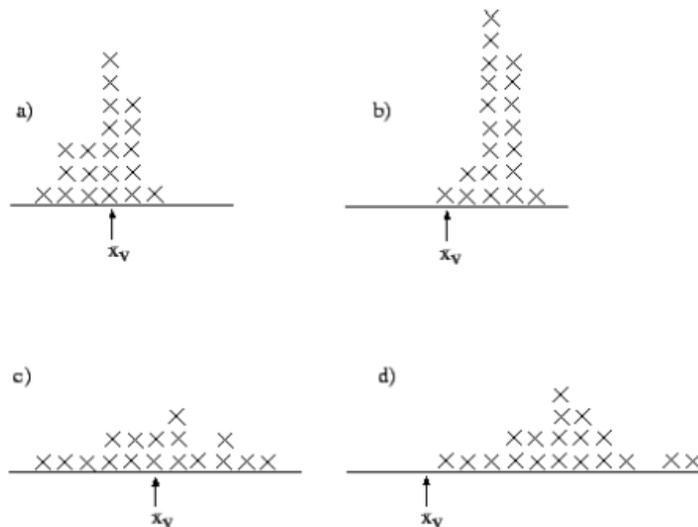


Figura 45 - Esempi di risultati ottenuti da misure di diverso grado di precisione e di accuratezza: il caso b) presenta misure con maggior precisione, ma minore accuratezza del caso c), mentre il caso d) è il peggiore sia per precisione che per accuratezza

3.2.1 Direttiva MID

Con lo scopo di armonizzare i requisiti che gli strumenti di misura devono possedere per poter essere commercializzati nell'Unione Europea, è stata emanata nel 2004 una direttiva comunitaria, la 2004/22/CE, conosciuta anche come Direttiva MID (*Measuring Instruments Directive*), rivista successivamente nel 2014, che si applica agli strumenti di misura con valore legale e ne regola la produzione, la commercializzazione e la messa in servizio.

La norma fornisce una standardizzazione degli aspetti metrologici riguardanti le misure fiscali fornendo una tutela per i consumatori e il mercato. In particolare la normativa si applica a dieci categorie che sono (29):

- Contatori dell'acqua MI-001;
- Contatori del gas e dispositivi di conversione del volume MI-002;
- Contatori di energia elettrica attiva MI-003;
- Contatori di energia termica MI-004;
- Sistemi di misura per la misurazione continua e dinamica di quantità di liquidi diversi dall'acqua MI-005;
- Strumenti per pesare a funzionamento automatico MI-006;
- Tassametri MI-007;
- Misure materializzate MI-008;
- Strumenti di misura della dimensione MI-009;
- Analizzatori di gas di scarico MI-010.

Per ognuna delle categorie elencate precedentemente, la normativa fornisce negli allegati tutte le informazioni fondamentali per quel tipo di strumenti di misura come definizioni, requisiti, classificazioni e errori massimi tollerati. Inoltre all'Articolo 21 vengono indicati i principi generali che disciplinano la marcatura CE e la marcatura metrologica supplementare (29):

1. La marcatura CE è soggetta ai principi generali esposti all'articolo 30 del regolamento (CE) n. 765/2008.
2. La marcatura metrologica supplementare è costituita dalla lettera maiuscola «M» e dalle ultime due cifre dell'anno di apposizione della marcatura, iscritti in un rettangolo. L'altezza del rettangolo è uguale all'altezza della marcatura CE.

Oltre alla marcatura da apporre sugli strumenti MID, deve essere anche compilata una dichiarazione di conformità UE che attesti il rispetto dei requisiti essenziali dell'Allegato I e degli allegati specifici relativi alla categoria dello strumento.

3.2.2 Misuratori di temperatura

La temperatura è sicuramente il parametro che viene misurato più spesso in molteplici applicazioni e possono essere usati diversi strumenti a seconda del flusso da misurare. I modelli più tipici sono:

- **Termometri a dilatazione di solido:** sono costituiti da una lamina bimetallica che si incurva quando è soggetta a una variazione di temperatura a causa dei differenti coefficienti di dilatazione termica dei due metalli di cui è costituita la lamina; può misurare in un range di temperatura fra i -25 [°C] e i 500 [°C].

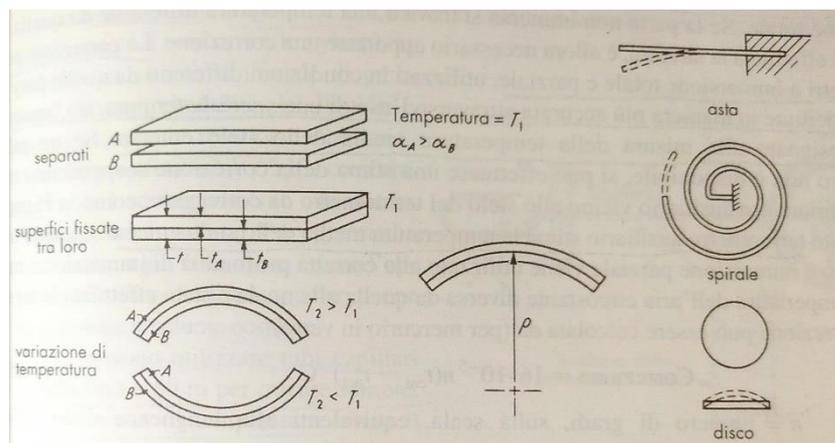


Figura 46 - Esempi di termometro a dilatazione di solido (28 p. 568)

La lamina bimetallica s'incurva dalla parte della lamina con minor coefficiente di dilatazione quando essa è portata a una temperatura superiore a quella per la quale le due lamine hanno la stessa lunghezza L. La lamina bimetallica si incurva con un raggio di curvatura R dato dalla relazione (1).

$$R = \frac{d}{\lambda_1 - \lambda_2} \cdot \Delta T \quad (1)$$

essendo d lo spessore, supposto uguale, di ciascuna delle due lamine, λ_1 e λ_2 i coefficienti di dilatazione termica lineare dei due materiali e ΔT la variazione di temperatura subita dalla lamina bi-metallica.

- **Termometri a dilatazione di liquido:** sono più accurati dei precedenti, sfruttano la dilatazione termica di un liquido al variare della temperatura secondo la legge lineare

$$V = V_0 \cdot \alpha \cdot T \quad (2)$$

Essendo V_0 il volume del liquido alla temperatura di riferimento, solitamente $0[^\circ\text{C}]$, e α è il coefficiente di dilatazione termica del liquido.

Il tubo in cui viene incapsulato il liquido permette di vedere anche variazioni piccole del volume e possono essere usati diversi tipi di liquido, come mercurio o galistan, una lega di gallio, indio e stagno.



Figura 47 - Esempio di termometro a dilatazione di liquido

I termometri a dilatazione non sono utilizzati nei sistemi più complessi, poiché non consentono un monitoraggio a distanza delle grandezze e questo rappresenta un problema nella raccolta dei dati. Infatti sono stati sviluppati altri strumenti basati sulla conversione delle variazioni di temperatura con cambiamenti di una grandezza elettrica. Di seguito vengono presentate le due categorie più importanti, le termoresistenze e le termocoppie.

- **Termoresistenze:** sono dette comunemente TR e si basano sul principio che la resistenza elettrica R di un conduttore metallico, che dipende dall'equazione (3)

$$R = \rho \cdot \frac{L}{A} \quad (3)$$

dove ρ è la resistività⁵ del materiale, L la lunghezza della resistenza e A la sezione del filamento, vari a seconda della temperatura seguendo la relazione (4).

⁵ In elettrologia, grandezza caratteristica di ogni materiale, pari, per un materiale omogeneo, alla resistenza elettrica R di un campione di quel materiale, di lunghezza l e sezione (costante) S unitarie, secondo la cosiddetta 2^a legge di Ohm: $R=\rho l/S$, dove ρ è appunto la resistività (50)

$$R = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot T) \quad (4)$$

Nell'equazione si ha R_0 come resistenza alla temperatura di $0[^\circ\text{C}]$, T la temperatura e α è il coefficiente di temperatura che dipende dal tipo di materiale metallico che compone la termoresistenza.

Gli strumenti più comuni hanno solitamente una resistenza di $100 [\text{Ohm}]$ a $0 [^\circ\text{C}]$ e per questo vengono denominati PT100. Gli elementi sensibili possono essere costruiti in diversi sistemi come rappresentato in Figura 48, per esempio il filo del materiale scelto viene avvolto su un substrato isolante e incapsulato all'interno di un bulbo di acciaio inossidabile per proteggerlo da liquidi o gas corrosivi oppure il filo viene annegato direttamente in una capsula costituita da materiale isolante. Il materiale che solitamente viene scelto per queste applicazioni è il platino in quanto presenta una maggiore resistenza all'ossidazione e la sua resistenza varia in maniera quasi lineare rispetto alla temperatura (Figura 49). (28)

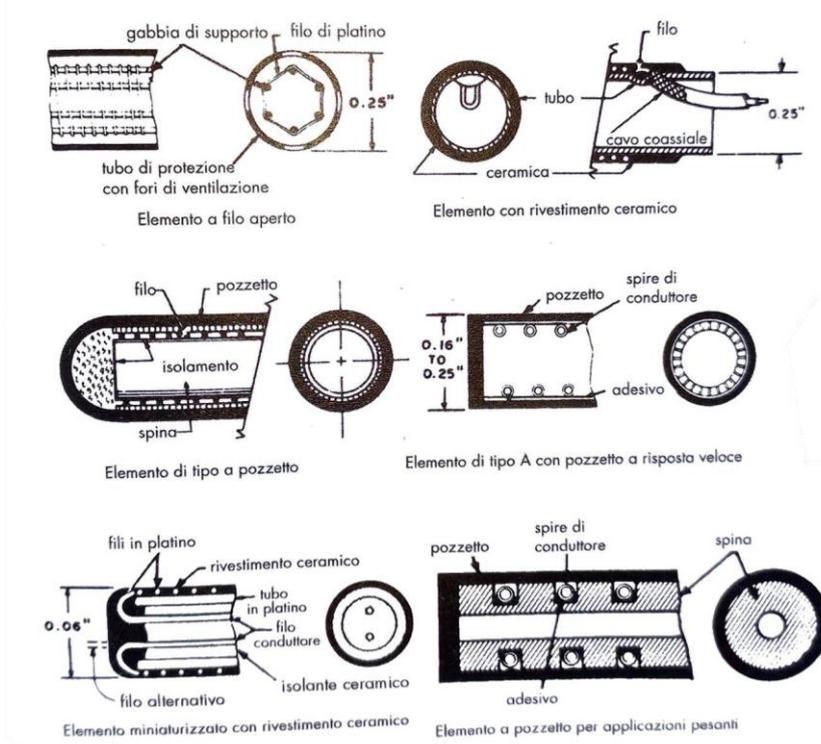


Figura 48 - Costruzione di un sensore di temperatura a resistenza (28 p. 589)

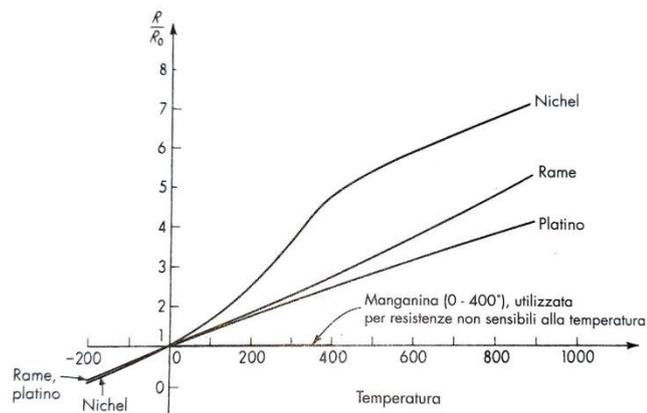


Figura 49 - Curva resistenza/temperatura di vari materiali usati per le termoresistenze (28 p. 588)

- **Termocoppie:** comunemente abbreviate con la sigla TC, sfruttano l'effetto di Seebeck per cui se due fili di materiali differenti A e B sono collegati in un circuito elettrico, con una giunzione a temperatura T_1 e l'altra giunzione a temperatura T_2 , allora sul circuito circola una corrente I prodotta da una forza elettromotrice E . L'entità della tensione E dipende dai materiali e dalle temperature, mentre la corrente I è semplicemente il rapporto fra la tensione E e la resistenza totale del circuito.

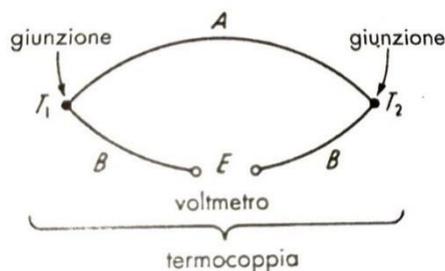


Figura 50 - Termocoppia elementare (28 p. 573)

La tensione E dipende da una proprietà dei materiali chiamata coefficiente di Seebeck assoluto σ . Nel caso in cui la termocoppia sia costituita da solo due materiali, che è la situazione più comune, la forza elettromotrice E viene calcolata come

$$E = \int_{T_1}^{T_2} \sigma_{AB} \cdot dT \quad (5)$$

Dove T1 e T2 sono le temperature delle due giunzioni e σ_{AB} è il coefficiente relativo di Seebeck, che è la differenza dei coefficienti assoluti dei due materiali. Solo alcuni tipi di coppie vengono utilizzate in quanto presentano una combinazione di proprietà ideali per determinati tipi di applicazioni. Tra queste ci sono platino/rodio, chromel/alumel, rame/costantana e ferro/costantana (28).

3.2.3 Misuratori di portata

Per avere un maggiore controllo dei processi, degli impianti di distribuzione all'interno di grandi edifici o per la fornitura di acqua o gas naturale è necessario avere una misura della portata del fluido in esame. Una classificazione generale possibile divide gli strumenti in misuratori di portata volumetrica [m^3 /tempo] e in misuratori di portata massica [kg/tempo]. A seconda del diametro della condotta del tipo di fluido possono essere scelti diversi tipi di misuratori.

Il principio più utilizzato nella misurazione della portata utilizza una restrizione della sezione della condotta che trasporta il fluido. Questo restringimento del condotto genera una caduta di pressione che è proporzionale alla differenza di energia cinetica, da cui poi si può risalire alla portata del fluido. Gli strumenti più comuni che utilizzano questo principio sono il diaframma, il boccaglio e il tubo di venturi.

- **Diaframma:** è lo strumento più diffuso grazie alla sua semplicità e al basso costo. Misurando la differenza di pressione a monte e a valle del diaframma è possibile calcolare la portata reale Q_a tramite la relazione (6)

$$Q_a = \frac{C_d \cdot A_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \cdot \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho}} \quad (6)$$

dove C_d è il coefficiente di efflusso definito in sede di taratura, ρ è la densità del fluido in [kg/m^3], A_1 è l'area della sezione trasversale del tubo, A_2 è l'area della sezione trasversale del diaframma e p_1 e p_2 sono le pressioni statiche misurate secondo la Figura 51.

Uno dei maggiori svantaggi dell'uso del diaframma è dato dalla grande perdita di carico permanente a valle, che si traduce quindi in una perdita di potenza che deve essere in qualche modo compensata. (28)

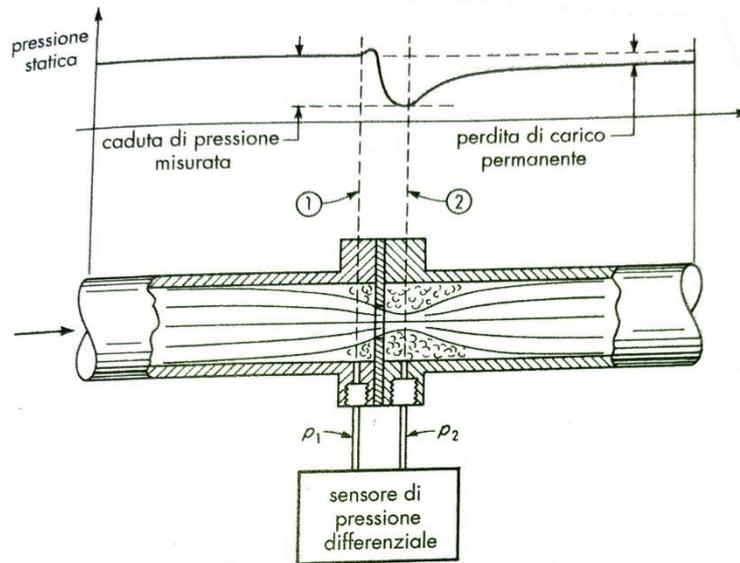


Figura 51 - Misura di portata tramite diaframma (28 p. 523)

- **Boccagli e tubo di venturi:** usano lo stesso principio del diaframma, cioè la caduta di pressione, e sono descritti da equazioni simili alla (6). Dato che presentano variazioni di sezione meno drastiche rispetto al diaframma, hanno coefficienti di efflusso maggiori e minori perdite di carico permanenti. I venturi sono molto utilizzati per le applicazioni con grandi portate e per una grande varietà di liquidi e gas. I boccagli sono più economici dei venturi e sono solitamente preferiti nelle applicazioni con flussi ad alta velocità, vista la loro maggiore stabilità ad alte temperature e velocità. (28)

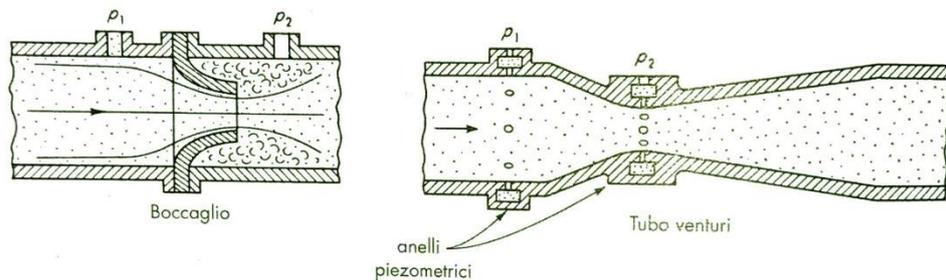


Figura 52 - Esempio di boccaglio e tubo di venturi (28 p. 528)

- **Misuratori a ultrasuoni:** sfruttano il principio secondo cui piccoli disturbi di pressione si propagano nel fluido con una determinata velocità dipendente dal

fluido e se il fluido a sua volta è caratterizzato da una velocità, allora la velocità assoluta di propagazione del disturbo è la somma algebrica delle due. Questi disturbi di pressione sono brevi onde sinusoidali con una frequenza solitamente di 10 MHz che vengono emessi da un trasduttore, detto trasmettitore, e captati da un altro trasduttore, detto ricevitore. La categoria più usata di questi misuratori sono i cosiddetti “clamp-on”, come rappresentato nella Figura 53, nei quali i trasduttori si trovano al di fuori del tubo in modo che si evitino problemi di sporcizia, di possibile incompatibilità tra trasduttore e fluido e di installazione, visto che non è necessaria alcuna lavorazione sulla condotta.

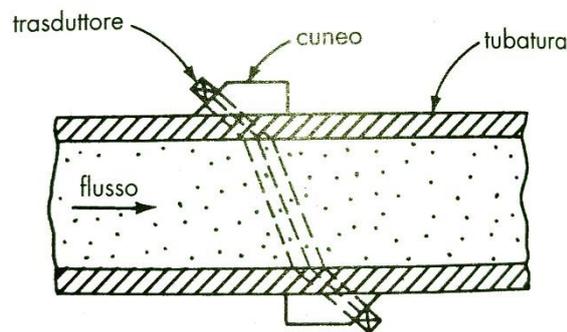


Figura 53 - Misuratore a ultrasuoni "clamp-on" (28 p. 544)

Il tempo impiegato dall'onda ultrasonora a percorrere la distanza dal trasmettitore al ricevitore è inversamente proporzionale alla velocità del suono nel fluido più o meno la velocità nel fluido. La maggior parte dei misuratori a ultrasuoni utilizzano l'effetto Doppler che permette di fare misurazioni accurate in caso di flusso turbolento e di particelle riflettenti, poiché il ricevitore misura la differenza della frequenza dell'onda ultrasonica che cede parte della sua energia alle particelle riflettenti del fluido, che si suppone si muovano con velocità V , e cambia dunque la sua frequenza. Infine si calcola la velocità del fluido a partire dalla relazione (7)

$$\Delta f = f_t - f_r = \frac{2 \cdot f_t \cdot \cos \theta}{c} \cdot V \quad (7)$$

dove f_t è la frequenza in uscita dal trasmettitore, f_r è la frequenza captata dal ricevitore, V è la velocità del flusso e θ è l'angolo d'inclinazione del cuneo, come rappresentato in Figura 54. (28)

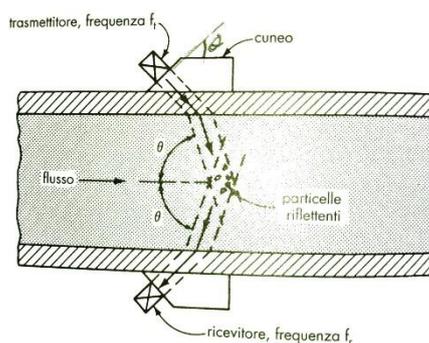


Figura 54 - Misuratore di flusso a effetto Doppler con configurazione "clamp-on" (28 p. 546)

- **Misuratore a vortici (vortex):** è un tipo di misuratore adatto alla maggior parte dei gas, liquidi e vapori come si vede dalla **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** Sfrutta il fenomeno del distacco dei vortici (vortici di Karman) a valle di un corpo solido dai bordi smussati immerso in una corrente. Viene misurata la frequenza con cui si generano i vortici, che nel caso in cui il numero di Reynolds del tubo sia maggiore di 10'000, tale frequenza è data dalla relazione (8) da cui poi viene ricavata la velocità del fluido e quindi la portata.

$$f = \frac{N_{st} \cdot V}{d} \quad (8)$$

dove V è la velocità del fluido, d è la dimensione caratteristica del corpo solido e N_{st} è il numero di Strouhal, che è determinato sperimentalmente ed è circa costante nell'intervallo di misurazione, come illustrato in Figura 55.

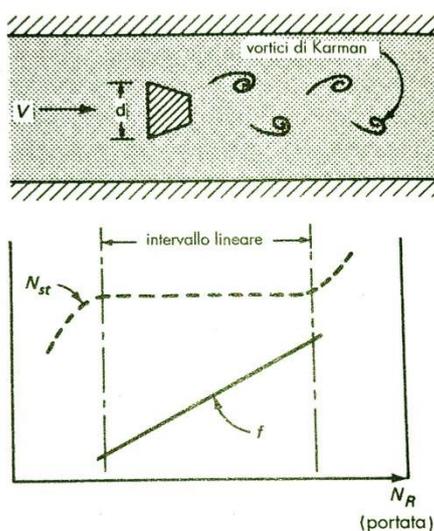


Figura 55 - Principio di funzionamento dei misuratori di flusso a distacco di vortici (28 p. 548)

Dopo il corpo che crea il distacco dei vortici viene inserito tipicamente un sensore che percepisce le oscillazioni nel flusso generate dai vortici e che vengono poi rilevate da un trasduttore che converte questa vibrazione in un segnale elettrico.

- **Misuratori a turbina:** inserendo una turbina all'interno di un tubo in cui scorre un flusso, la velocità di rotazione del rotore della turbina dipenderà dalla portata del fluido. Misurando la frequenza con cui le palette della turbina passano per un determinato punto, usando un dispositivo magnetico di prossimità è possibile produrre impulsi in tensione, come mostrato in Figura 56

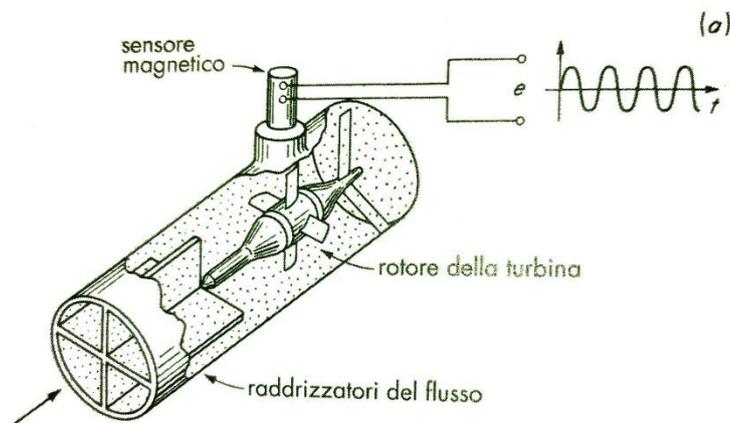


Figura 56 - Esempio di misuratore di portata a turbina (28 p. 534)

Il modello più semplice ipotizza un flusso monodimensionale senza perdite dovute ad attriti o viscosità del fluido e con queste assunzioni si può scrivere che

$$\omega = \frac{V \cdot \tan \beta}{r} \quad (9)$$

Dove ω è la velocità di rotazione delle pale, V è la velocità del flusso, r è il raggio delle pale del rotore e β è l'angolo di inclinazione delle pale. (28)

- **Misuratori volumetrici:** sono dei motori volumetrici per fluidi in cui i fenomeni di dispersione sono ridotti al minimo. Il flusso che vi passa attraverso produce come effetto una rotazione di un albero. In Figura 57 viene mostrato un modello a 4 pistoni che produce una rotazione dell'albero in senso orario.

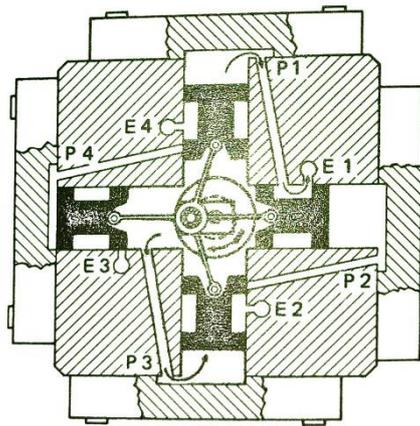


Figura 57 - Misuratore di portata volumetrico a pistoni (28 p. 536)

3.2.4 Misuratori di potenza ed energia termica

I misuratori di potenza termica e di energia termica sono composti da diversi strumenti di misura. La misura della potenza termica viene calcolata tramite la relazione (10).

$$Q_{th} = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_2 - T_1) \quad (10)$$

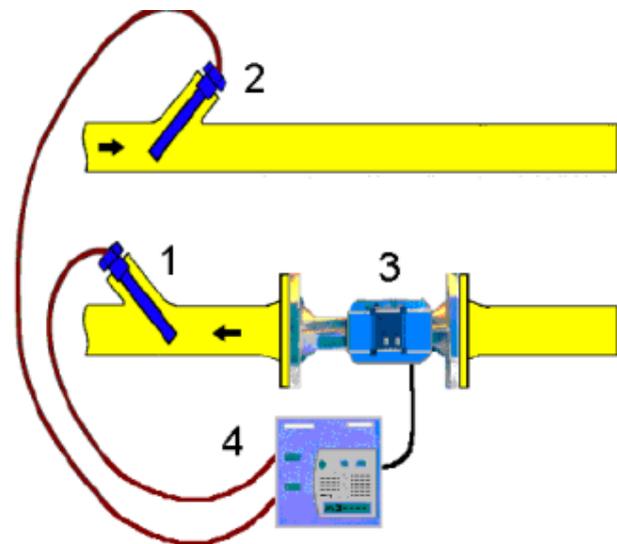


Figura 58 - Esempio schematico di misuratore di energia termica

È quindi necessario accoppiare un misuratore di temperatura, tipicamente delle termoresistenze, e un misuratore di portata volumetrica o massica a un “calcolatore” che raccolga i segnali provenienti dai diversi misuratori e li converta nella grandezza voluta. La misura di energia termica è calcolata poi come integrale nel tempo della precedente relazione.

3.3 Controllori

Un Controllore Logico Programmabile (PLC, *Programmable Logic Controller*) è un dispositivo che utilizza una memoria programmabile per immagazzinare istruzioni in modo da controllare macchinari e processi. I principali vantaggi di un PLC sono: la robustezza, la resistenza a vibrazioni, temperature o umidità anomale, la presenza già all'interno del controllore di interfacce di input o output e la facilità di programmazione con linguaggi basati sulla logica. (30) In Figura 59 è presentato in maniera molto semplificata il funzionamento di un PLC. Permette di collegare le informazioni provenienti dai sensori di campo come input con i comandi da mandare in output agli attuatori che possono modificare un processo. Sono molto efficienti e affidabili nelle applicazioni in cui c'è bisogno di un controllo sequenziale e di sincronizzare diversi elementi o diversi processi. I PLC non sono dotati di un monitor come i PC, ma di un'interfaccia uomo-macchina (HMI) su display che viene usata per mostrare lo stato dei processi o delle macchine di produzione. (31)

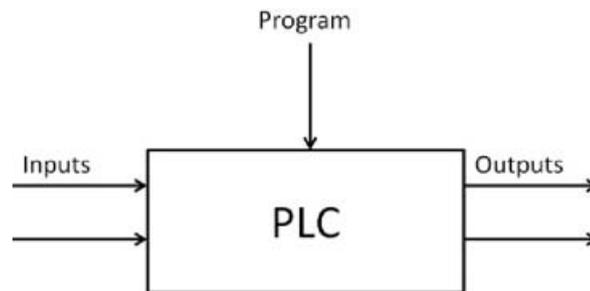


Figura 59 - Funzionamento di un PLC (30)

I componenti hardware tipici di un PLC sono un'unità processore, un alimentatore, un'interfaccia di comunicazione, una sezione di interfaccia input/output e un dispositivo di programmazione. La Figura 60 rappresenta uno schema del funzionamento dei diversi componenti del PLC e di come comunicano tra di loro.

L'unità processore o **CPU** (*Central Processing Unit*) contiene il microprocessore che interpreta gli input in arrivo al PLC dai dispositivi in campo e invia gli output di comando agli attuatori in accordo con il programma che è salvato nella memoria.

L'**alimentatore** è il componente necessario a convertire la corrente alternata in arrivo dalla rete principale in un bassa corrente continua, tipicamente di 5 [V], per alimentare la CPU e i circuiti di input e output.

La **memoria** è l'unità in cui è salvato il programma usato per le azioni di controllo della PCU e dove vengono immagazzinati i dati derivati dai segnali di input e output. Ognuno di questi elementi viene salvato con un indirizzo preciso in modo che sia più semplice ritrovare la posizione in cui vengono salvate le informazioni.

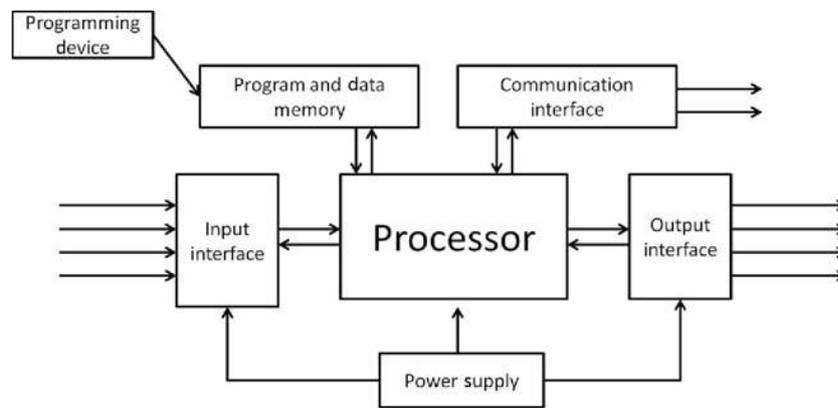


Figura 60 - Il sistema PLC e suo funzionamento (cit capitolo libro)

Le **interfacce di input e output (I/O)** sono le parti del PLC dove la CPU riceve le informazioni provenienti dai dispositivi esterni e dove vengono comunicate le informazioni di controllo ai device in campo. Possono essere costituite da più moduli che modificano il numero di input e output, che a loro vengono suddivisi in analogici e digitali a seconda del segnale che ricevono o mandano.

L'**interfaccia di comunicazione** viene usata per ricevere e trasmettere dati sulle reti di comunicazione da o verso altri PLC. Le informazioni all'interno del PLC sono invece trasferite tramite dei segnali digitali che viaggiano su reti interne chiamate bus. Questi bus possono essere circuiti stampati sulla scheda madre o fili all'interno di un cavo elettrico. Possono esserci diversi tipi di bus: i *data bus*, che servono a mandare i dati da un elemento all'altro; gli *address bus*, per mandare l'indirizzo del luogo all'interno della memoria dove sono salvate le informazioni necessarie; i *control bus*, che servono per i segnali relativi ad azioni di controllo interno al PLC; i *system bus*, per la comunicazione fra le porte di I/O e l'interfaccia di I/O. (30)

Il **dispositivo di programmazione** è un dispositivo esterno utilizzato per programmare la CPU e solitamente è abbastanza piccolo da poter essere tenuto in mano ed equipaggiato con un display per visualizzare il programma. Altri tipi di terminali di programmazione contengono anche una tastiera per poter modificare con maggiore libertà il programma da installare.

Lo sviluppo tecnologico dell'industria dei microprocessori e delle tecniche di programmazione software hanno permesso ai PLC di acquisire nuove funzioni e più capacità, rendendoli una valida scelta nel campo dell'automazione sia a livello industriale che nel settore terziario o residenziale. Tuttavia, fino all'inizio del XXI secolo non esisteva uno standard che riguardasse il linguaggio di programmazione da utilizzare e sovente ogni programmatore decideva in maniera autonoma delle linee guida da seguire. In questo modo si creò presto una grande confusione e ciò rendeva difficile poter sviluppare nuovi PLC o nuovi programmi che potessero integrarsi con quelli già esistenti o, più semplicemente, non esisteva una base comune su cui i produttori potessero comprendersi e scambiare informazioni.

Nel 1993 l' *International Electrotechnical Commission* (IEC) pubblicò il primo tentativo di creare uno standard per quanto riguarda i linguaggi di programmazione nel campo dei PLC, l'IEC 61131-3, che verrà poi rivista nel 2002 e infine nel 2013, anno della sua ultima e attuale versione. Tramite questa standardizzazione, si è provato a permettere a chi lavora nel campo dei PLC di comprendersi meglio e alle persone esterne di poter apprendere in maniera basilare alcuni fondamenti della programmazione dei controllori. Ovviamente questo standard non rappresenta un assoluto, ma più delle linee guida, per cui ogni sviluppatore è libero di seguirle o meno. A oggi lo standard prevede cinque tipi di linguaggi di programmazione che sono: (30)

1. **Structured Text (ST)**: è un linguaggio basato sul testo e di alto livello, simili a Pascal o C. Viene utilizzato principalmente quando ci sono funzioni aritmetiche complesse o tabelle da manipolare;
2. **Function Block Diagram (FBD)**: è un linguaggio grafico basato su funzioni connettive, per esempio AND, OR o NOT, e blocchi funzione, come timer o contatori. Hanno una maggiore difficoltà a gestire processi complessi;
3. **Ladder Diagram (LD)**: è un linguaggio molto diffuso perché semplice da comprendere e basato sui tradizionali schemi elettrici. Consiste in una serie di istruzioni che eseguono funzioni basilari di logica, controllo del tempo e operazioni matematiche;
4. **Instruction List (IL)**: è un linguaggio di basso livello, simile all'Assembler. Nonostante i numerosi svantaggi, come la difficoltà di apprendimento e la bassa

comprensibilità quando usato per processi complessi, rimane tutt'ora molto usato visto che non richiede una grande capacità computazionale;

- 5. *Sequential Function Chart (SFC)*:** è un linguaggio grafico ideale per programmare controlli sequenziali e implementare algoritmi basati sugli stati. All'interno degli stati avvengono delle azioni, mentre le transizioni permettono di cambiare stato.

I linguaggi possono anche essere utilizzati in parallelo, oltre che singolarmente, a seconda della tipologia di processo che deve essere controllato, al tipo di impianto e alle necessità di programmazione. Rimane quindi a discrezione dello sviluppatore quale linguaggio utilizzare, dato che ogni PLC consente all'interno del suo ambiente di sviluppo di utilizzare linguaggi diversi.

Questi controllori solitamente fanno parte di un sistema che viene detto *closed-loop*, in cui l'output del sistema viene comparato con la condizione richiesta generando infine un errore. Il controllore riceve l'errore come input e tramite delle azioni cerca di ridurlo, fornendo un output di comando adatto alla correzione. I metodi più comuni usati dai controllori per correggere l'errore sono: il controllo a due posizioni (o ON/OFF); il controllo proporzionale; il controllo proporzionale/integrativo; il controllo proporzionale/integrativo/derivativo;

Il controllo a due posizioni viene solitamente applicato nel caso di semplici impianti HVAC che funzionano in solo due stati, come pompe, ventilatori, valvole o serrande. Nel controllo proporzionale (P) il dispositivo controllato riceve un segnale di posizione proporzionale ai cambiamenti della variabile controllata, ma si possono innescare delle oscillazioni nel raggiungimento del valore voluto e solitamente è presente un offset dal setpoint. Il controllo proporzionale/integrativo (PI) elimina l'offset tipico del controllo proporzionale, ma se si intende rendere il sistema più reattivo le oscillazioni vengono accentuate. Nel controllo proporzionale/integrativo/derivativo (PID) vengono mantenute le stesse caratteristiche del PI, ma viene aggiunta l'azione derivativa che smorza le oscillazioni. Per controllare e regolare le valvole a due vie che sono state installate per questo caso studio è stato implementato un controllo di tipo PID all'interno del PLC, in modo da rendere più semplice il controllo e la programmazione in tempi veloci del controllore.

3.4 Protocolli di comunicazione

Per riuscire a parlare fra di loro i diversi dispositivi presenti in campo devono essere dotati di una scheda di acquisizione per poter inviare i dati in formato digitale e devono comunicare tutti nella stessa maniera. Un protocollo di comunicazione è un insieme di regole e procedure che definiscono come devono comunicare due o più dispositivi sulla stessa rete. Deve essere quindi concordato un protocollo in cui sono definiti il formato dei dati o delle informazioni, il significato della sequenza dei bit inviati e la sincronizzazione tra invio e ricezione dei dati. (32 p. 21)

Sono presenti molti protocolli di comunicazione che presentano diverse funzionalità e per cui è difficile proporre una sintesi di tutte le possibilità che è possibile incontrare. In alcuni casi particolari è anche possibile vedere più protocolli diversi all'interno di uno stesso sistema, perché magari riguardanti parti diverse sviluppati in tempi diversi. È possibile comunque distinguere i diversi protocolli in base al "livello" a cui si trovano. Solitamente vengono individuati 3 livelli (33):

- Livello di percezione;
- Livello di collegamento;
- Livello di applicazione.

Il livello di percezione, anche detto livello fisico, contiene tutti i sensori per il rilevamento e la raccolta di informazioni sull'ambiente. Questi sensori e i dispositivi connessi a essi possono essere collegati fra loro in diversi modi, sia in maniera wireless, quindi utilizzando dei sistemi a infrarossi o onde radio per esempio, sia in maniera cablata, con dunque un collegamento fisico con dei cavi. Il sistema di cablaggio può essere definito in due modi: point-to-point, quando la connessione avviene tra solo due dispositivi collegati; multi-point, quando più dispositivi sono collegati dallo stesso mezzo fisico. Solitamente quando si parla di sistemi point-to-point si utilizza l'RS-232 come interfaccia fisica, mentre per collegamenti multi-point si preferisce utilizzare l'RS-485. (34)

Nell'universo dell'IoT sono presenti molti protocolli di comunicazione, alcuni liberi, altri di proprietà di aziende multinazionali che li utilizzano per connettere i loro stessi dispositivi installati in campo. Nel corso di questo capitolo sono stati trattati solamente i protocolli analizzati durante i mesi di tirocinio e di lavoro per la tesi all'interno

dell'azienda Enerbrain. Verranno dunque presentati i protocolli Modbus, usato sin dagli anni 80 in ambito industriale per trasmettere segnali di controllo e misurazioni effettuate, e Meterbus (o M-Bus), usato esclusivamente per il passaggio di grandezze misurate. Infine verrà fatta una breve panoramica dell'azienda Enerbrain, per presentare la realtà in cui è stato svolto il lavoro descritto in questo elaborato.

3.4.1 Modbus

Il Modbus è un protocollo di comunicazione a livello di applicazione che fornisce una comunicazione client/server tra diversi dispositivi collegati su diversi tipi di bus o rete. Il Modbus per la comunicazione seriale è un protocollo *master-slave* dove c'è un nodo, chiamato *master*, che invia dei comandi ad altri nodi, detti *slave*, ed elabora successivamente le risposte in ritorno (vedi in Figura 61). Questo tipo di protocollo è detto *request-response* in quanto i nodi *slave* non possono comunicare dei dati senza aver prima ricevuto una richiesta dal *master* (*queries*) e non possono comunicare con altri *slave*. Quando interrogati dal *master*, gli *slave* possono mandare un messaggio in risposta (*response*). (35)

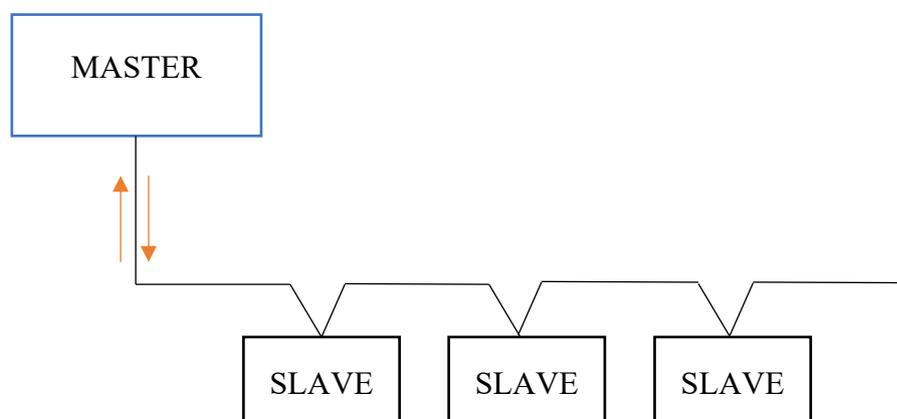


Figura 61 - Schema di principio del protocollo Modbus Master-Slave

Data la semplicità del protocollo, il Modbus è diventato uno degli standard per la comunicazione seriale sin dal 1979. Tipicamente funziona su collegamenti fisici RS-232 nel caso di comunicazione *point-to-point* o RS-485 nel caso di connessioni *multi-point*. Nel 1999 è stata pubblicata la specifica riguardante il protocollo Modbus TCP/IP che definì un nuovo livello di collegamento basato sugli indirizzi IP e con ogni *request-response* inviata attraverso una connessione Ethernet stabilita fra il *master* e i diversi *slave* usando la porta 502. (36)

Il metodo di trasmissione definisce la struttura e la codifica dei bit dei messaggi mandati attraverso una rete Modbus e quindi determina come le informazioni sono organizzate all'interno dei campi del messaggio. I due modi di trasmissione esistenti sono ASCII e RTU. La modalità ASCII converte ogni byte del messaggio in due caratteri ASCII attraverso una trasformazione esadecimale che raddoppia la lunghezza del messaggio e quindi rallenta la trasmissione dei messaggi. Nella modalità RTU (*Remote Terminal Unit*) ogni byte da 8 bit del messaggio inviato contiene due caratteri esadecimali da 4 bit. A parità quindi di *baud rate* il secondo metodo permette una migliore trasmissione dei dati, motivo per cui a oggi la modalità deve essere assolutamente implementata su ogni dispositivo. (35)

A ogni linea seriale viene connesso un solo dispositivo *master* e fino a 247 dispositivi *slave* e su questa connessione può avvenire una sola trasmissione Modbus alla volta. Il nodo *master* può inviare la richiesta Modbus ai nodi *slave* in due differenti modi:

- Unicast mode: il *master* interroga un singolo *slave* che, dopo aver ricevuto e processato la comunicazione, risponde con un messaggio inviato al *master*. Affinchè questa comunicazione vada a buon fine è necessario che ogni *slave* abbia un indirizzo unico, che può variare tra 1 e 247, in modo che possa essere interrogato indipendentemente dagli altri nodi. Questa modalità è rappresentata in maniera schematica in Figura 62;

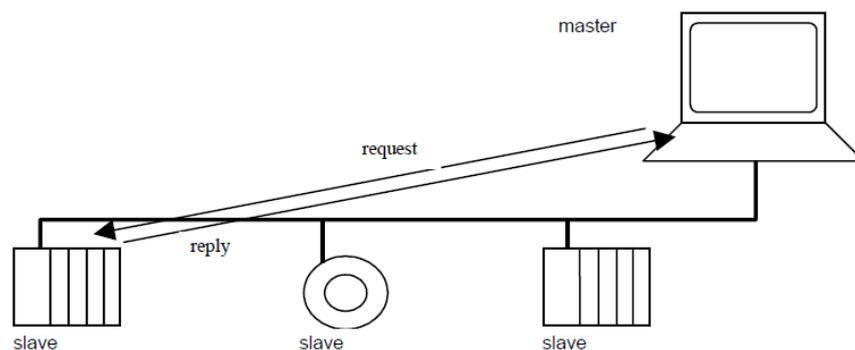


Figura 62 - Unicast mode (35)

- Broadcast mode: il *master* manda una richiesta a tutti i nodi *slave* e in questo caso non vengono mandate comunicazioni in risposta. Le richieste sono solamente comandi in scrittura e tutti i nodi *slave* devono accettare tale comando. Lo

scambio di informazioni in *broadcast* viene indicato dall'indirizzo 0. Quest'altra modalità è rappresentata schematicamente in Figura 63.

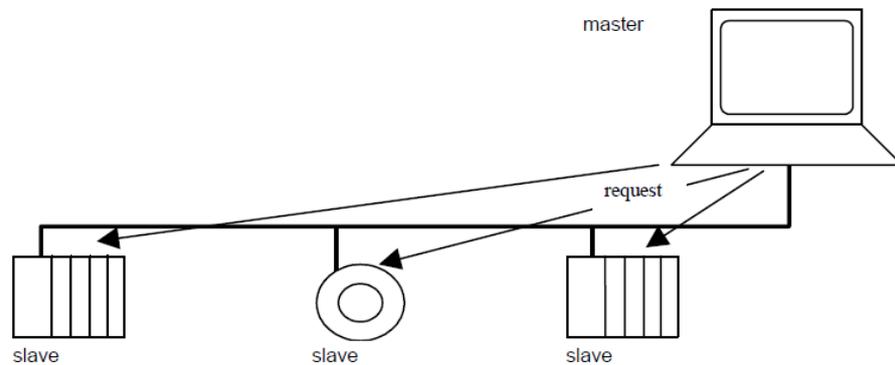


Figura 63 - Broadcast mode (35)

Per identificare correttamente a quale *slave* è diretto un messaggio, quale tipo di informazione viene mandata, se ci sono stati degli errori nella trasmissione e che tipo di comando è stato inviato è necessario che sia presente un struttura definita che contenga tutte queste informazioni. La parte fondamentale è chiamata *Protocol Data Unit* (PDU) ed è indipendente dalla modalità di comunicazione.

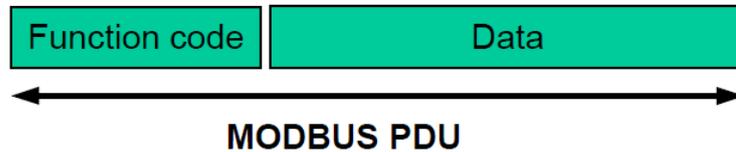


Figura 64 - Protocol Data Unit (35)

Su una specifica rete vengono poi aggiunti degli altri campi che permettono la comunicazione corretta dei messaggi.

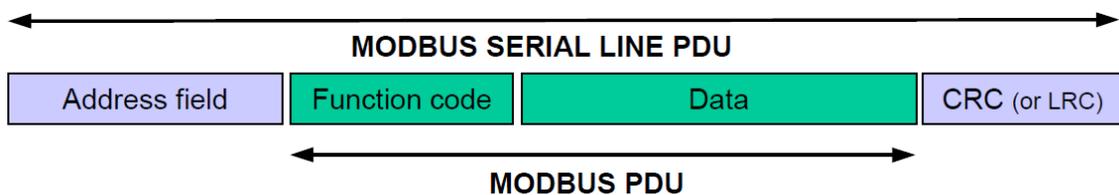


Figura 65 - Struttura Modbus su linea seriale (35)

Ognuno di questi campi contiene un'informazione fondamentale per la buona riuscita della comunicazione Modbus. L'*Address Field* contiene l'indirizzo dello *slave* che deve essere interrogato o l'indirizzo 0 nel caso di comunicazione *broadcast* e, nel caso il messaggio sia una risposta inviata dallo *slave*, contiene l'indirizzo del dispositivo stesso

in modo che il *master* comprenda la provenienza della comunicazione. Il *Function code* indica invece la tipologia di azione eseguire e viene seguito dal campo *Data* che contiene i parametri di richiesta o risposta del messaggio. Infine è presente un campo di controllo degli errori che a seconda del metodo di trasmissione (RTU o ASCII) effettua dei calcoli di controllo sul contenuto del messaggio.

Per identificare l'inizio e la fine della struttura Modbus nel caso di trasmissione RTU è presente fra due messaggi un tempo di silenzio di almeno 3.5 caratteri, come viene rappresentato in Figura 66. In questo modo è possibile per i dispositivi comprendere l'inizio e la fine di un messaggio, considerando anche che il contenuto all'interno della struttura deve essere trasmesso in modo continuo.

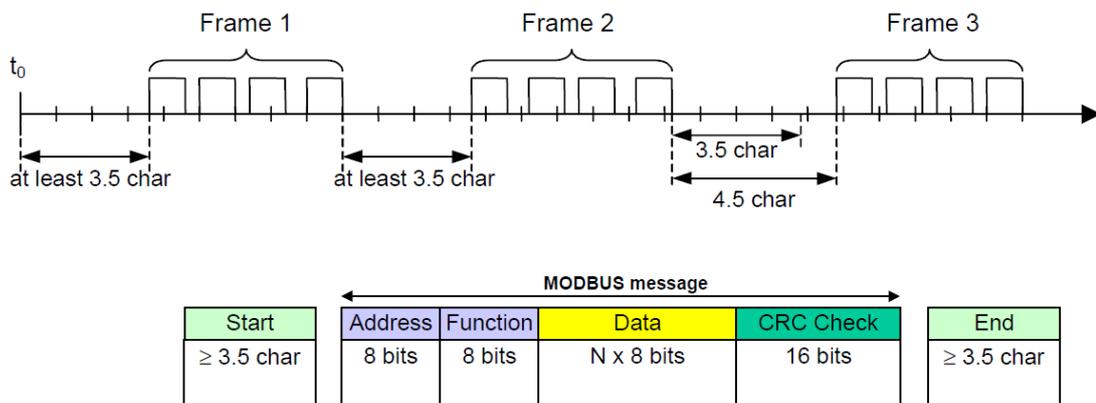


Figura 66 - Configurazione finale della struttura di un messaggio su rete Modbus seriale (35)

Nel caso in cui la comunicazione Modbus utilizzi un metodo di trasmissione di tipo ASCII la struttura del messaggio risulta essere leggermente differente per via del diverso tipo di codifica utilizzato, rappresentato in Figura 67.

Start	Address	Function	Data	LRC	End
1 char :	2 chars	2 chars	0 up to 2x252 char(s)	2 chars	2 chars CR,LF

Figura 67 - Struttura messaggio Modbus ASCII (35)

Per l'interfaccia elettrica è usato principalmente lo standard EIA/TIA-485 che prevede un collegamento *point-to-point* o *multi-point* attraverso una configurazione a due o a quattro cavi. Nella configurazione a due cavi tutti i dispositivi sono collegati in parallelo da un cavo costituito da tre conduttori. Due di questi conduttori sono attorcigliati e sono quelli su cui vengono trasmessi i dati in via bidirezionale, tipicamente a un *bit rate* di 9600

[bits/secondo]. Il terzo conduttore costituisce la parte del neutro e il cavo intero deve essere poi schermato per evitare interferenze nella comunicazione. (34) Per quanto riguarda invece lo standard EIA/TIA-232-E, più comunemente noto come RS-232, esso presenta alcune limitazioni rispetto all'RS-485 come la lunghezza massima del cavo che si può raggiungere e la velocità di trasmissione dei dati che si può raggiungere. Tuttavia viene ancora scelto in alcune particolari applicazioni in cui è necessaria un connessione *point-to-point* su piccole distanze.

Come riportato precedentemente, nel 1999 è stata pubblicata una specifica del protocollo di comunicazione Modbus su TCP/IP. La sigla TCP/IP indica l'uso contemporaneo di due protocolli per creare una connessione tra due dispositivi; TCP indica il protocollo che garantisce la connessione fra i dispositivi, mentre IP indica il protocollo che fornisce le informazioni per il trasferimento dei dati. Con questo tipo di connessione è possibile mandare dei messaggi attraverso una comunicazione *Client/Server* tra dispositivi connessi a una stessa rete Ethernet. (37) Possono esserci quattro tipi di messaggio:

1. Richiesta, è il messaggio mandato dal *Client* sulla rete per iniziare una transazione;
2. Conferma, è la conferma di ricezione del messaggio da parte del *Server*;
3. Indicazione, è il messaggio di risposta mandato dal *Server*;
4. Risposta, è il messaggio di conferma ricezione da parte del *Client*.

La struttura di un messaggio all'interno di una comunicazione Modbus TCP/IP è leggermente differente di quella in Modbus seriale, come è possibile vedere nella Figura 68.

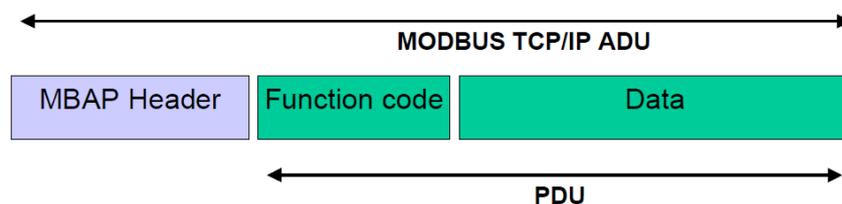


Figura 68 - Struttura messaggio Modbus TCP/IP (37)

Oltre ai campi *Function code* e *Data* già analizzati precedentemente nel capitolo, nella comunicazione Modbus TCP/IP la parte iniziale rappresenta l'unica differenza. Il *MBAP Header* contiene una serie di campi che sostituiscono l'*Address field* che sono elencati nella tabella seguente.

Tabella 4 - Campi interni al MBAP header (37)

Fields	Length	Description -
Transaction Identifier	2 Bytes	Identification of a MODBUS Request / Response transaction.
Protocol Identifier	2 Bytes	0 = MODBUS protocol
Length	2 Bytes	Number of following bytes
Unit Identifier	1 Byte	Identification of a remote slave connected on a serial line or on other buses.

Il *Transaction Identifier* è usato per identificare la coppia di transazioni, il *Protocol Identifier* viene usato per identificare, come suggerisce il nome, il protocollo di comunicazione usato per il messaggio e il Modbus è indicato con il numero 0. Il campo *length* contiene un contatore dei byte dei campi successivi a partire dal *Unit Identifier*. Quest'ultimo è tipicamente usato per comunicare a una linea Modbus seriale attraverso un gateway.

3.4.2 M-Bus

Il protocollo M-Bus, o Meter-Bus, a differenza del protocollo Modbus che permette di collegare diversi tipi di dispositivi, nasce per permettere di collegare e di leggere in remoto più misuratori, anche relativi a fluidi diversi come acqua, gas ed elettricità. Lo standard per questo protocollo viene indicato dalla normativa EN 13757 – 2, mentre esiste anche la versione wireless del protocollo M-Bus che segue la parte quattro della normativa (EN 13757 – 4). (38)

La struttura semplificata della comunicazione Mbus è costituita da 4 livelli:

- Livello fisico
- Livello di connessione
- Livello di rete
- Livello di applicazione

Nel livello fisico la tensione nominale del bus è di 36 V. La trasmissione seriale dei dati dal *master* agli *slave* viene effettuata modulando il livello di tensione del bus, mentre la trasmissione dei dati dagli *slave* al *master* utilizza una modulazione del consumo di corrente dello *slave*.

La struttura del messaggio è formata da un bit di inizio della trasmissione pari a 0, mentre l'1 indica lo stato di riposo della trasmissione. Di seguito sono presenti 8 bit di dati, seguito da un bit di parità e un bit di stop, che è sempre pari a 1. La velocità di comunicazione può variare tra 300 e 9600 bit/s e possono essere collegati fino a 250 slave su un singolo doppino, che può estendersi fino a 1000 m, a seconda del numero di slave.

3.4.3 Enerbrain

Il lavoro descritto nel proseguo dell'elaborato è stato svolto nell'ambito del progetto di tesi in azienda proposto al candidato da Enerbrain. Fondata a Torino nel 2015, negli ultimi due anni è passata dall'essere considerata una start-up a una solida realtà di piccola media impresa innovativa. Enerbrain offre soluzioni di efficientamento energetico degli edifici, agendo sui sistemi HVAC esistenti, attraverso l'utilizzo di tecnologie IoT e logiche algoritmiche avanzate in Cloud. Il sistema che verrà analizzato nel prossimo capitolo è stato il risultato di una stretta collaborazione con un potenziale partner dell'azienda per ampliare le possibilità di utilizzo della soluzione Enerbrain. Inoltre è stato fondamentale la collaborazione fra le varie sezioni dell'azienda per quanto riguarda la programmazione, l'installazione e la messa in servizio del sistema ipotizzato.

4 Caso Studio: il complesso del Lingotto

Nel presente capitolo verrà presentato il sito oggetto del progetto di efficientamento tramite la sostituzione delle valvole a due vie attualmente presenti con valvole *pressure independent*, controllabili da remoto e dotate anche di misuratore integrato. In particolare ci si concentrerà sulle analisi precedenti all'installazione per verificare lo stato di fatto delle dorsali di distribuzione, sugli attuali misuratori presenti in campo, sulle caratteristiche dei dispositivi scelti da installare e sui possibili sviluppi futuri dell'architettura.

Il sito è il complesso del Lingotto, situato nella città di Torino in Via Nizza 250. Attualmente l'edificio comprende una galleria commerciale, uffici, un auditorium, due hotel, una multisala cinematografica, una pista di atterraggio per elicotteri, un centro congressi e un centro esposizioni all'interno di uno stesso edificio, suddiviso in 3 sezioni, dette fasi, e distribuiti su più piani (39). Data l'eterogeneità delle finalità d'uso delle aree interne all'edificio, gli orari di occupazione sono diversi a seconda dell'utilizzo e ciò rappresenta un'ulteriore difficoltà per quanto riguarda la gestione dell'impianto di generazione e distribuzione. Nelle figure seguenti sono raffigurate delle immagini del Lingotto prese dal satellite e da diverse angolazioni, per presentare l'estensione e la complessità dell'edificio.



Figura 69 - Vista satellitare del complesso Lingotto (40)



Figura 70 - Foto laterale dell'edificio con vista sulla "bolla" (41)

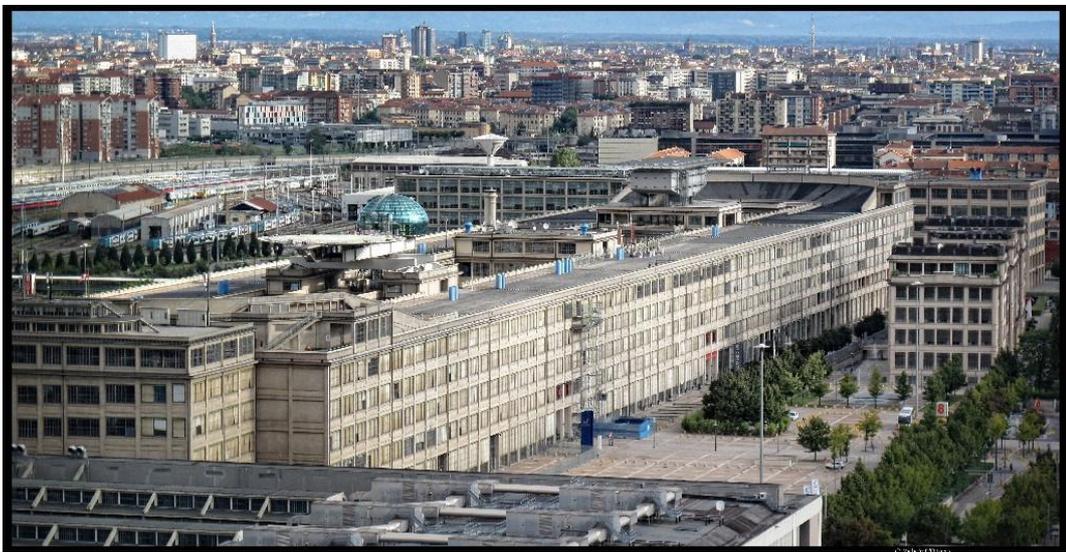


Figura 71 - Il complesso del Lingotto (42)

4.1 Storia

Nel 1915 la FIAT acquistò circa 378'000 [mq] necessari alla costruzione di un nuovo stabilimento che avrebbe dovuto sostituire la vecchia officina artigianale presente in Corso Dante a Torino. Nell'idea di Giovanni Agnelli, allora presidente, questa nuova costruzione avrebbe permesso «alla nostra società di costruire in Torino uno dei più grandi stabilimenti esistenti». (43) Il progetto generale fu affidato a Giacomo Matté Trucco, laureatosi al Politecnico di Torino in ingegneria e impiegato FIAT fin dal 1906. La costruzione iniziò nella primavera del 1917 con il complesso centrale, che già nel 1922 fu completato e iniziò a funzionare a pieno regime. Le costruzioni continuarono fino al

1930 con l'introduzione delle rampe elicoidali ai capi del complesso, della palazzina degli uffici, che tutt'oggi si affaccia su Via Nizza, e del centro presse.

Il complesso iniziale era costituito da due fabbricati longitudinali paralleli, con cinque piani fuori terra, uniti tra loro da cinque corpi trasversali, dette traverse, più alti del corpo principale. All'interno dei due corpi longitudinali erano presenti le officine (Figura 72) in cui avvenivano le varie fasi di lavorazione delle auto, mentre nelle traverse erano presenti i collegamenti verticali, gli spazi destinati alle pause e i servizi. Il flusso della produzione procedeva dal basso verso l'alto: lo stampaggio avveniva al piano terra, la parte meccanica veniva assemblata nella parte nord, la carrozzeria nella parte sud e poi si incontravano all'ultimo piano per il montaggio. Nel 1927 fu costruita sull'intera copertura dell'edificio una pista, visibile chiaramente nella Figura 69, costituita da due rettilinei collegati da due curve paraboliche, che veniva utilizzata per il collaudo delle autovetture. Per accedere alla pista inizialmente venivano usati dei montacarichi, sostituiti in seguito dalle due rampe di accesso citate precedentemente e raffigurate in Figura 73.



Figura 72 - Linea di produzione nelle officine (43 p. 18)

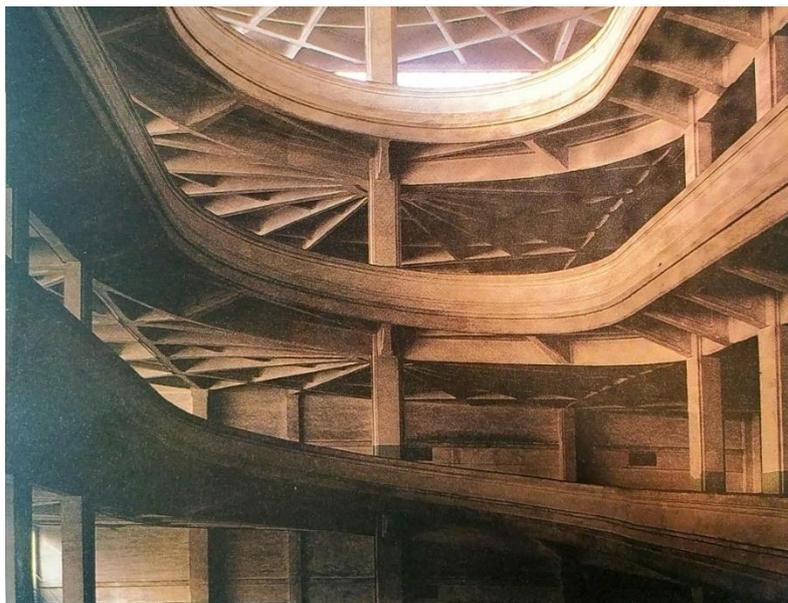


Figura 73 - Rampa elicoidale sud (43 p. 34)

Contemporaneamente alla costruzione dell'edificio principale, venne costruita una palazzina per ospitare gli uffici direzionali, amministrativi e una mensa per i dipendenti. L'aspetto è molto simile a quello delle officine, ma con dei dettagli ulteriori sulla facciata data l'importanza del simbolo di rappresentanza che doveva avere. L'edificio è costituito da quattro piani fuori terra per i corpi laterali e da un corpo centrale da cinque piani.



Figura 74 - Facciata della palazzina degli uffici (43 p. 36)

Infine l'ultima grande parte del complesso era costituita dal centro presse che si presentava come un edificio industriale di pianta rettangolare e di superficie occupata maggiore rispetto al resto del complesso come si può vedere dalla Figura 75 a sinistra. All'interno l'edificio era organizzato su un grande vano centrale ai cui fianchi erano presenti degli spazi in cui venivano effettuate tutte le lavorazioni ausiliarie al ciclo di produzione legato alle presse.

In Figura 75 è possibile vedere le diverse fasi di sviluppo del Lingotto e i vari edifici di cui era composto. In particolare sono ben distinguibili le officine, colorate in grigio, la palazzina degli uffici, in arancione, e il centro presse in beige.

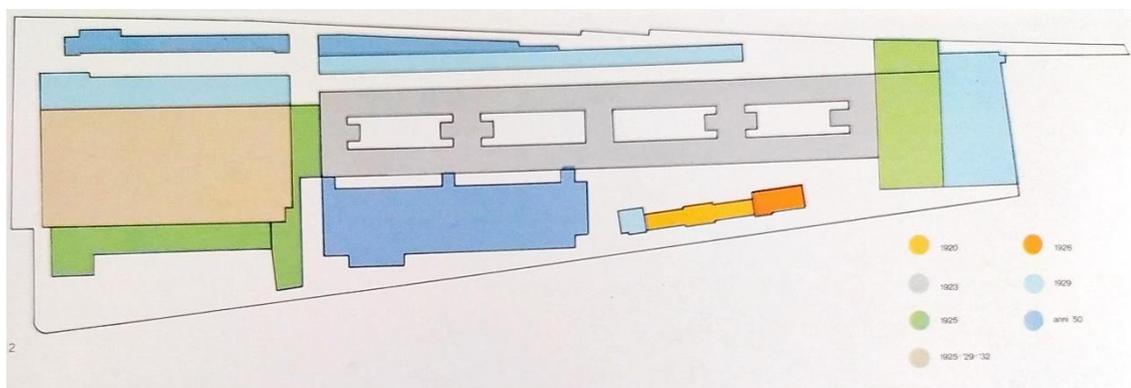


Figura 75 - Fasi di ampliamento del Lingotto dagli anni 20 agli anni 50 (43 p. 31)

Tuttavia il Lingotto presentava dei punti deboli che ben presto si palesarono: il raddoppio della produzione nel giro di dieci anni evidenziò dei problemi di trasporti interni fra i piani e la crescente necessità di uno sviluppo orizzontale per le linee di produzione dimostrò che anche la disposizione delle officine rappresentava un problema molto complesso da risolvere. Per queste ed altre motivazioni già negli anni 30 iniziò la costruzione dello stabilimento Mirafiori e un dialogo con il Comune di Torino e altri enti per delineare un progetto di riutilizzo del complesso del Lingotto (43). Tuttavia, a causa dello scoppio della Seconda Guerra Mondiale, tutti questi discorsi vennero interrotti e il Lingotto divenne fondamentale per riuscire a far fronte al volume delle richieste statali per il conflitto. Durante la guerra furono numerosi i bombardamenti sulle fabbriche italiane e anche il Lingotto fu colpito duramente.

Dopo la guerra, le parti distrutte della fabbrica furono ricostruite in breve tempo, ma la produzione di automobili venne totalmente spostata al nuovo stabilimento Mirafiori, mentre nel vecchio complesso rimase la produzione di accessori, di singole parti, di vetture particolari e di elettrodomestici (43). Negli anni 60, caratterizzati dal boom economico, la fabbrica venne riconvertita nella produzione di automobili aggiornando la tecnologia delle linee produttive, ma l'invecchiamento dell'edificio e l'innovazione tecnologica rendevano sempre più evidenti i limiti dell'edificio. Dal 1979 al 1982 fu prodotta l'ultimo modello di automobile, la prima serie della Lancia Delta, dopodiché la fabbrica fu totalmente dismessa.

Nel 1982 la FIAT promosse una serie di consultazioni con venti studi di architettura per proporre nuovi utilizzi per il Lingotto, fra cui Gae Aulenti, Richard Meier, Kevin Roche e Renzo Piano (44). Ma nessuno di questi venti progetti alla fine venne scelto e nel 1985 venne incaricato l'architetto Renzo Piano di ristrutturare il complesso del Lingotto. La struttura esterna rimase invariata, mentre l'interno fu oggetto di grosse modifiche che portarono a una divisione per soddisfare diverse funzioni: uso commerciale, uso alberghiero, uso culturale e uso uffici. L'edificio centrale delle officine, al piano terra e al primo piano, è stato convertito e riqualificato per ospitare un'unica area commerciale in cui sono presenti negozi, bar, un cinema multisala e ristoranti. Nel 1991 fu invece riqualificata l'area che ospitava il centro presse, che divenne un centro fieristico-espositivo, chiamato Lingotto Fiere. Questo spazio divenne in breve tempo molto importante sia per fiere nazionali, come il Torino Comics, che internazionali, come il Salone Internazionale del libro. Nel 1993 venne realizzato, su progetto di Renzo Piano, un centro congressi nella parte sud al piano terreno e ai piani sottostanti. È costituita da dodici sale più la sala principale detta "Sala Cinquecento". Nel 1994 l'architetto Piano presentò anche un progetto per la costruzione della "Bolla", visibile in Figura 70, una sala riunioni semi-sferica, completamente vetrata, realizzata sulla copertura dell'edificio. Infine nel 2002 venne realizzata la Pinacoteca Giovanni e Maria Agnelli, che ospita la collezione d'arte privata della famiglia. (45)



Figura 76 - Una delle aree comuni presenti nell'area commerciale (45)

Nei primi decenni del XXI secolo si spostarono nella parte nord dell'edificio anche il Politecnico di Torino con il corso di Ingegneria dell'Autoveicolo e l'Università di Torino con la clinica odontoiatrica universitaria. Inoltre non sono più presenti uffici del gruppo FIAT all'interno del complesso, ma sono stati sostituiti da altre società. I piani superiori dell'edificio sono occupati dagli uffici e sulla copertura è presente un ristorante direttamente sulla pista.

4.2 Impianto di distribuzione attuale

Data la grande varietà di destinazioni d'uso e l'ampia superficie da servire, il sistema di distribuzione dei fluidi caldi e refrigerati all'interno del complesso del Lingotto è costituito da una serie di condotti passanti nei diversi cavidotti presenti nella parte seminterrata e nei cavedi verticali. Questo sistema risulta essere molto complesso e intricato viste le grandi distanze che devono percorrere i fluidi e le diverse richieste che possono arrivare dalle utenze. Per esempio si può dire con relativa certezza che l'area commerciale, climatizzata attraverso delle UTA, richiederà solamente acqua calda nella stagione termica e solo acqua refrigerata nella stagione estiva. Invece utenti come gli hotel o gli uffici è possibile che richiedano in tutte le stagioni un quantitativo di acqua calda o di acqua refrigerata per mantenere costante il comfort degli occupanti.

Prima di procedere con la trattazione più in dettaglio dello stato di fatto dell'impianto di distribuzione, è bene differenziare le aree in cui viene comunemente suddiviso l'edificio in modo che sia chiara la posizione delle utenze e la denominazione delle zone. In Figura 77 è possibile vedere le tre macro-aree in cui viene suddiviso il Lingotto: la Fase 1, che corrisponde al Lingotto Fiere, la Fase 2, che comprende parte dell'edificio centrale, e la Fase 3, che contiene la parte rimanente dell'edificio centrale più la parte Nord. La parte commerciale viene poi suddivisa in corti a seconda della posizione all'interno dell'edificio centrale come si vede dalla Figura 78 a seconda del cortile su cui si affacciano, a partire dall'estremità Nord e a finire all'estremità Sud.

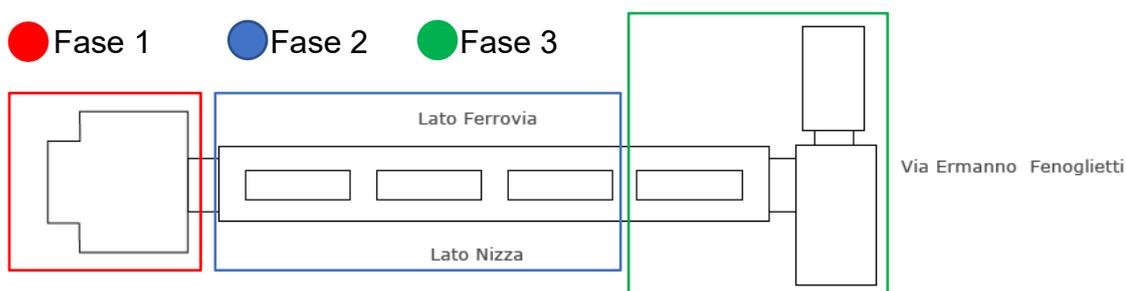


Figura 77 - Suddivisione in fasi del sito Lingotto

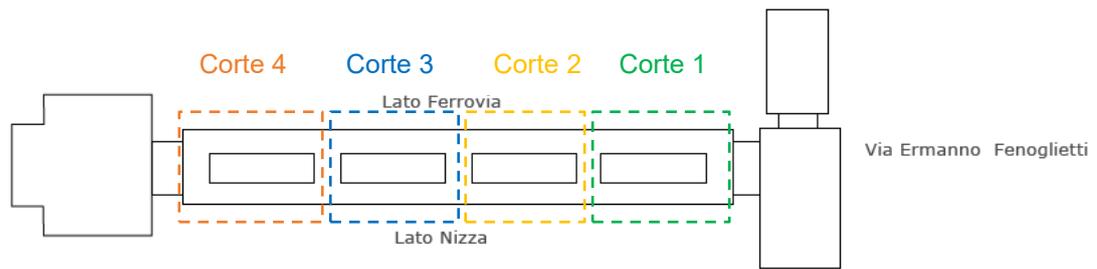


Figura 78 - Suddivisione dell'area commerciale del Centro Commerciale Lingotto

L'impianto di distribuzione è costituito da due centrali di generazione e pompaggio, dalle tubazioni in acciaio inox di dimensione variabile, dalle valvole di regolazione a due vie e dai terminali posti in ambiente, che tipicamente sono ventilconvettori o batterie delle UTA a servizio delle aree.

Le centrali di distribuzione sono localizzate al piano interrato all'interno della Fase 2 e della Fase 3. All'interno di ognuna delle due centrali sono presenti gli impianti di pompaggio per l'acqua calda e per l'acqua refrigerata, vari gruppi frigo per la produzione dell'acqua refrigerata, collegati a delle torri evaporative poste all'esterno dell'edificio per lo scambio termico con l'aria, e degli scambiatori di calore collegati alla rete del teleriscaldamento di Torino. La centrale principale risulta essere quella di Fase 2 che garantisce il soddisfacimento delle richieste delle utenze sia di Fase 2 che di Fase 3 in tutte le stagioni. Nei periodi di picco vengono utilizzate entrambe le centrali e nel caso in cui siano previsti degli interventi di manutenzione è possibile deviare tutta la richiesta su una sola delle due centrali.

4.2.1 Le centrali termo-frigorifere

All'interno della centrale di Fase 2 sono presenti quattro gruppi frigo controllati tramite un software Trane collegati a delle torri evaporative poste all'esterno dell'edificio. Una macchina frigorifera a compressione di vapore, detta anche gruppo frigo, è costituita da quattro componenti fondamentali: il condensatore, la valvola di espansione, l'evaporatore e il compressore. Tramite l'utilizzo di questi componenti la macchina realizza un ciclo di Carnot inverso in modo che venga sottratto calore alla sorgente più fredda, in questo caso l'acqua da refrigerare, per cederlo a una sorgente più calda, come rappresentato in Figura 79. L'acqua che viene utilizzata per raffreddare il condensatore viene a sua volta raffreddata tramite l'utilizzo delle torri evaporative, che permettono quindi un minore spreco d'acqua e utilizzano l'aria ambiente come vettore energetico con cui scambiare calore. Il set-point della temperatura di mandata dell'acqua refrigerata verso le utenze è di 7[°C] e anche nella stagione termica è necessario che almeno un gruppo frigo sia in funzione in modo che venga garantito l'approvvigionamento di acqua refrigerata ai CED (Centro Elaborazione Dati) presenti nel complesso.

Nella stessa stanza in cui sono presenti i gruppi frigo, si trova anche il gruppo di pompaggio dell'acqua refrigerata che è costituito da cinque pompe centrifughe disposte in parallelo e tutte con gli stessi dati di targa riportati in Tabella 5. Le pompe sono controllate in modi diversi: tre sono comandate da un inverter per variare il numero di giri, mentre le altre due sono controllate a punto, cioè con un comando On-Off. La pressione di mandata dell'acqua refrigerata è di circa 7 [bar].

Tabella 5 - Dati di targa del gruppo pompe dell'acqua refrigerata della centrale frigorifera di Fase 2

Grandezza	Unità di misura	Valore
Potenza	kW	55
Cos φ	-	0,85
Frequenza	Hz	50
Velocità di rotazione	Giri/min	1475
Portata	m ³ /h	520
Prevalenza	m	30

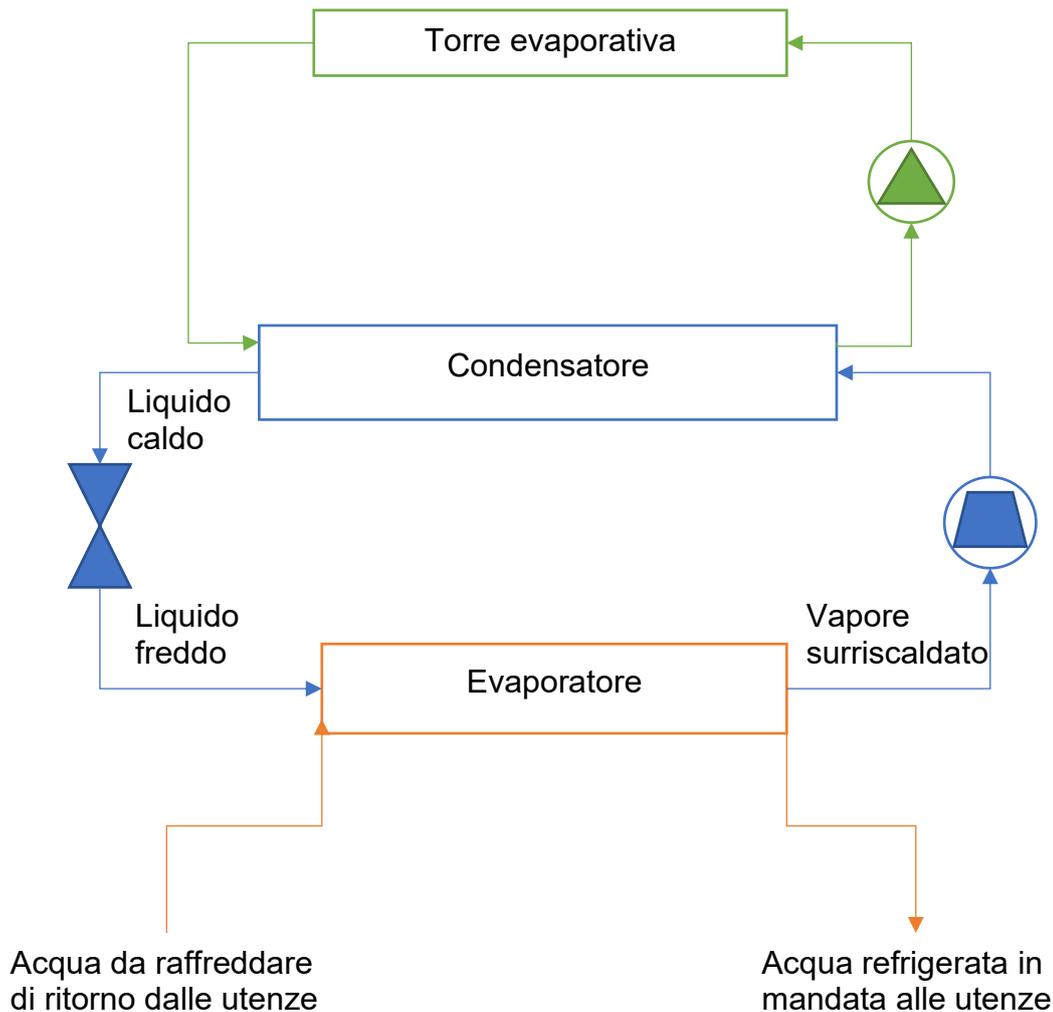
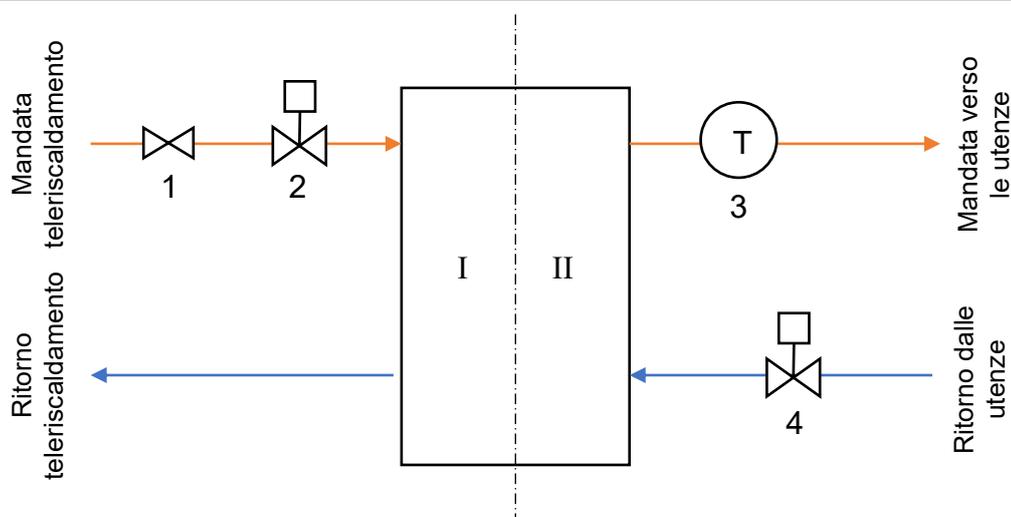


Figura 79 - Schema di principio di macchina frigorifera con torre evaporativa

In un locale accanto alla stanza dei gruppi frigo sono presenti tre scambiatori collegati con il circuito primario all'arrivo del teleriscaldamento e installati in parallelo; uno schema di principio degli scambiatori è riportato in Figura 80, mettendo in evidenza le valvole e le sonde posizionate sul circuito primario e secondario. Queste si uniscono al secondario in due collettori di mandata collegati a un gruppo di pompaggio costituito da cinque pompe in parallelo e a un altro gruppo di circolatori costituito da una coppia di pompe in parallelo. Tutte le pompe hanno gli stessi dati di targa che sono riassunti in Tabella 6, ma servono utenze differenti: due pompe servono l'area della galleria commerciale, quattro pompe mandano l'acqua calda agli uffici e infine l'ultima pompa è attualmente spenta e bypassata, in quanto serviva la palazzina Fiat che però adesso viene rifornita dallo stesso collettore degli uffici. Quattro pompe sono controllate tramite inverter posizionato nello stesso locale, mentre le rimanenti tre sono controllate a punto fisso. La pressione di mandata di queste pompe è di circa 6 [bar].

Tabella 6 - Dati di targa del gruppo di pompaggio dell'acqua calda della centrale termica di Fase 2

Grandezza	Unità di misura	Valore
Potenza	kW	45
Cos φ	-	0,87
Frequenza	Hz	50
Velocità di rotazione	Giri/min	1475
Portata	m ³ /h	260
Prevalenza	m	40



Legenda

- 1: valvola di blocco con riarmo manuale
- 2: valvola a due vie con servomotore
- 3: Termostato di sicurezza collegato alla valvola di blocco

Figura 80 - Schema di principio di uno scambiatore di calore con il teleriscaldamento

La centrale della Fase 3 risulta essere organizzata nello stesso della precedente centrale. Sono presenti tre gruppi frigo, di cui uno al momento è in fase di sostituzione, quattro scambiatori di calore per il teleriscaldamento e due gruppi di pompaggio, uno per l'acqua refrigerata e uno per l'acqua calda. Il funzionamento dei gruppi frigo e degli scambiatori di calore è identico a quello descritto nel paragrafo precedente; i gruppi frigo vengono controllati direttamente dal sistema Desigo. Il gruppo di circolatori dedicato all'acqua refrigerata è costituito da quattro pompe installate in parallelo i cui dati di targa sono riportati in Tabella 7. Due delle quattro pompe sono controllate tramite inverter, mentre le altre due sono azionate a punto fisso. La pressione di mandata di questi circolatori è di circa 7 [bar].

Tabella 7 - Dati di targa del gruppo di pompaggio dell'acqua refrigerata della centrale frigorifera di Fase 3

Grandezza	Unità di misura	Valore
Potenza	kW	75
Cos φ	-	0,9
Frequenza	Hz	50
Velocità di rotazione	Giri/min	1470
Portata	m ³ /h	520
Prevalenza	m	30

Il gruppo di pompaggio dedicato all'acqua calda è invece composto da cinque pompe installate in parallelo, i cui dati di targa sono riportati in Tabella 8. Le pompe sono controllate nel seguente modo: tre di esse sono controllate tramite inverter, mentre le altre due funzionano a punto fisso. La pressione di mandata di questo gruppo di pompe è di 6,5 [bar].

Tabella 8 - Dati di targa del gruppo pompe dell'acqua calda nella centrale termica di Fase 3

Grandezza	Unità di misura	Valore
Potenza	kW	37
Cos φ	-	0,87
Frequenza	Hz	50
Velocità di rotazione	Giri/min	1460
Portata	m ³ /h	260
Prevalenza	m	30

Come già specificato in precedenza la centrale di Fase 3 viene utilizzata solo per soddisfare i picchi di richiesta o in caso di interventi di manutenzione sull'altra centrale. La centrale di Fase 1 non è stata trattata in questo elaborato in quanto non fornisce alcun apporto al soddisfacimento delle richieste delle utenze dell'edificio principale del Lingotto, ma è dedicata esclusivamente al polo fieristico-espositivo.

4.2.2 Distribuzione

Le tubazioni che costituiscono l'impianto di distribuzione sono realizzate in acciaio inox e hanno un grandezza variabile, il diametro, nominato in seguito come DN, varia fra un massimo di 300 [mm] e un minimo di 50 [mm]. Le tubazioni del caldo sono solitamente più piccole di quelle contenenti l'acqua refrigerata, in quanto sono necessarie minori portate d'acqua nel caso dello scambio termico a temperature maggiori. Sia le tubazioni dell'acqua calda che quelle dell'acqua refrigerata sono dotate di coibentazione per minimizzare le dispersioni termiche lungo il tragitto. Data la complessità dell'edificio e delle varie utenze che devono essere soddisfatte non è facile ricostruire uno schema funzionale che permetta di comprendere appieno come avviene la distribuzione; in Figura 81 è stato abbozzato uno schema di principio per visualizzare i collegamenti fra le due centrali e la distribuzione verso le utenze.

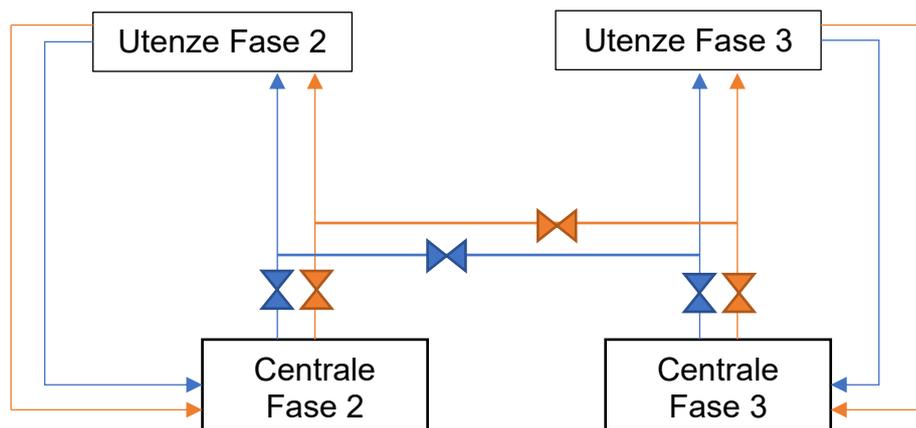


Figura 81 - Schema di principio della distribuzione e del collegamento fra le due centrali

Durante i sopralluoghi effettuati all'interno dell'edificio per recuperare le informazioni riguardanti gli impianti di pompaggio e l'impianto di distribuzione, è stata verificata la presenza di numerose valvole a due vie in diverse sezioni delle tubazioni. Il funzionamento di queste valvole varia a seconda della posizione in cui sono localizzate e può essere:

- Sezionamento: lo scopo di queste valvole è di sezionare parte della tubazione per manutenzione o installazione di dispositivi come misuratori, valvole di regolazione o sonde;
- Regolazione: la funzione di queste valvole è quello di regolare la portata in mandata alle utenze a seconda della richiesta.



Figura 82 - Esempio di valvole di sezionamento e regolazione

Tutte le valvole a due vie che sono state individuate in questi sopralluoghi sono di tipo flangiata e manuali; è quindi richiesto l'intervento dei manutentori per regolare la portata in arrivo alle utenze o per sezionare parte delle tubazioni. Come è possibile vedere in Figura 82 fra le due valvole di sezionamento è presente un contatore che misura la portata di acqua che passa nella tubazione, la temperatura dell'acqua in mandata e in ritorno e contabilizza l'energia scambiata dal fluido.

Questi contatori sono certificati secondo la direttiva MID affrontata nel capitolo 3.2.1 per poter essere utilizzati nella contabilizzazione fiscale per ripartire i consumi del Lingotto fra i diversi occupanti. Ognuno di questi contatori viene identificato da un codice alfanumerico, costituito da una lettera iniziale (C per contatori dell'acqua calda, R per contatori dell'acqua refrigerata) e da un numero, che permette l'associazione fra il dispositivo e le utenze servite.

I contatori non provengono tutti dallo stesso fornitore e sono stati installati in periodi diversi; ne consegue che sono stati identificati dei modelli dotati di uscita impulsiva, altri dotati di un'uscita M-Bus e altri ancora dotati sia di uscita M-Bus che di uscita Modbus. Alcuni dei contatori sono stati provvisti, in un precedente intervento, di un dispositivo che ha permesso l'interfacciamento dei misuratori con la piattaforma Web fornita da Enerbrain. Tuttavia questo intervento non è stato effettuato su tutti i contatori, ma inizialmente solo su quelli che erano ritenuti più importanti o "energivori".

Nella tabelle seguenti, distinte in misuratori dell'acqua calda e misuratori dell'acqua refrigerata (Tabella 9 e Tabella 10) sono riassunte l'area servita dalla tubazione su cui è

installato il dispositivo, le utenze relative e il modello del contatore. Nelle tabelle non sono presenti tutti i modelli dei contatori perché collocati in posti difficilmente raggiungibili.

Al termine delle tubazioni di distribuzione sono presenti i terminali di emissione per il condizionamento degli ambienti. Nel caso delle aree comuni a servizio dell'area commerciale l'acqua viene distribuita alle batterie calde o fredde delle UTA a servizio delle zone. Per gli uffici invece sono presenti dei ventilconvettori che utilizzano l'acqua calda in inverno, l'acqua refrigerata in estate o entrambe nelle medie stagioni.

Tabella 9 - Anagrafica dei contatori per l'acqua refrigerata

Contatore	Fase	Macro area	Area	UtENZE	Modello misuratore
R01	Fase 2	Uffici	Control room	Torre Centrale	Controlli SENSOSTAR C
R02	Fase 2	Padiglione 5	Padiglione 5	Padiglione 5	Controlli SENSOSTAR C
R03	Fase 2	Padiglione 5	Padiglione 5	Padiglione 5	Controlli SENSOSTAR C
R04	Fase 2	Centro congressi	Centro congressi	Centro Congressi	Controlli SENSOSTAR C
R05	Fase 2	Uffici	Uffici	Tutta torre sud	Controlli SENSOSTAR C
R06	Fase 2	Uffici	Uffici	Uffici	Siemens SITRANS FUE 950
R07	Fase 2	Hotel 1	Hotel	Hotel 1	Controlli SENSOSTAR C
R08	Fase 2	Hotel 1	Hotel	Centrale Hotel	Controlli SENSOSTAR C
R09	Fase 2	Hotel 1	Hotel	Hotel 1	Controlli SENSOSTAR C
R10	Fase 2	Uffici	Uffici	Uffici lato Nizza	Controlli SENSOSTAR C
R11	Fase 2	Uffici	Uffici	Uffici lato ferrovia	Siemens SITRANS FUE 950
R12	Fase 2	Uffici	Uffici	Uffici testata Sud	Siemens SITRANS FUE 950
R13	Fase 2	Galleria commerciale	Galleria commerc	Negozi Fase 2 corti 2, 3, 4	Controlli SENSOSTAR C
R14	Fase 2	Galleria commerciale	Galleria commerc	Negozi Fase 2	Controlli SENSOSTAR C
R15	Fase 3	Galleria commerciale	Galleria commerc	Galleria commerciale	Siemens SITRANS FUE 950
R16	Fase 1	Centro Fiere	Fiere	Fase 1 - FIERE	Siemens SITRANS FUE 950
R17	Fase 2	Galleria commerciale	Galleria commerc	Galleria commerciale	Danfoss Calstream CS 2500
R18	Fase 2	Uffici	Uffici	Uffici	Danfoss Calstream CS 2500
R20	Fase 2	Uffici	Uffici	Uffici	Non raggiungibile
R21	Fase 2	Uffici	Uffici	Uffici	Danfoss Calstream CS 2500
R22N	Fase 2	Uffici	Uffici	Torre Sud 1°piano	Non raggiungibile
R22FS	Fase 2	Uffici	Uffici	Torre Sud 1°piano	Non raggiungibile
R23	Fase 2	Uffici	Uffici	Tor. Sud Ar. pri.Q.+23,05	Non raggiungibile
R24	Fase 2	Palestre	Palestre	Ex palestra Quota +13,05	Siemens SITRANS FUE 950
R25	Fase 2	Galleria commerciale	Galleria commerc	Galleria aree comuni corte 4 sud lato Nizza e ferrovia	ABB SVM F2
R26	Fase 2	Galleria commerciale	Galleria commerc	Galleria aree comuni corte 4 nord e corte 3 lato Nizza e ferrovia	ABB SVM F2
R27	Fase 2	Galleria commerciale	Galleria commerc	Galleria aree comuni corte 3 nord e corte 2 lato Nizza e ferrovia	ABB SVM F2
R28	Fase 2	Galleria commerciale	Galleria commerc	Galleria aree comuni corte 2 nord lato Nizza e ferrovia	ABB SVM F2
R29	Fase 3	Galleria commerciale	Galleria commerc	Galleria fase 3 - corte 1 nord lato ferrovia	Siemens SITRANS FUE 950
R30	Fase 3	Galleria commerciale	Galleria commerc	Galleria fase 3 - corte 1 nord lato Nizza	Siemens SITRANS FUE 950
R31	Fase 3	Galleria commerciale	Galleria commerc	Galleria fase 3 - corte 1 sud lato ferrovia	ABB SVM F2
R32	Fase 3	Galleria commerciale	Galleria commerc	Galleria fase 3 - corte 1 sud lato Nizza	ABB SVM F2
R33	Fase 3	Supermercato	Supermercato	Supermercato	Danfoss Infocal 5
R34B	Fase 3	Università di Torino	Università di Torino	Università di Torino	Siemens SITRANS FUE950
R34D	Fase 3	Università di Torino	Università di Torino	Università di Torino	Siemens SITRANS FUE950
R35	Fase 3	Cinema	Cinema	Cinema	Siemens SITRANS FUE950
R36A	Fase 3	Città di Torino	Città di Torino	Città di Torino	ISOMAG
R36C	Fase 3	Città di Torino	Città di Torino	Città di Torino	Siemens SITRANS FUE950
R37E	Fase 3	Politecnico	Politecnico di Torino	Politecnico di Torino	Siemens SITRANS FUE950
R37F1	Fase 3	Politecnico	Politecnico di Torino	Politecnico di Torino	ISOMAG
R37F3	Fase 3	Politecnico	Politecnico di Torino	Politecnico di Torino (Foyer, Aula Magna)	Siemens Contacalorie UH50 C74C
R38	Fase 3	Pinacoteca	Pinacoteca	Pinacoteca	Controlli SENSOSTAR C
R39	Fase 2	Pinacoteca	Pinacoteca	Pinacoteca	Controlli SENSOSTAR C
R40	Fase 2	Uffici	Uffici	Uffici	Controlli SENSOSTAR C
R41	Fase 3	Hotel 2	Hotel	Hotel	Danfoss Infocal 5
R42	Fase 2	Uffici	Uffici	Uffici	Danfoss Infocal 5
R46	Fase 2	Galleria commerciale	Galleria commerc	Negozi Fase 2	Siemens SITRANS FUE 950

Tabella 10 - Anagrafica dei contatori per l'acqua calda

Contatore	Fase	Macro area	Area	UtENZE	Modello misuratore
C01	Fase 2	Uffici	Galleria e control room	Torre Cen.	Controllori SENSOSTAR C
C02	Fase 2	Padiglione 5	Padiglione 5	Padiglione 5	Siemens SITRANS FUE950
C03	Fase 2	Padiglione 5	Padiglione 5	Padiglione 5	Controllori SENSOSTAR C
C04	Fase 2	Centro congressi	Centro congressi	Centro Congressi	Controllori SENSOSTAR C
C05	Fase 2	Uffici	Uffici	Tutta torre sud	Controllori SENSOSTAR C
C06	Fase 2	Uffici	Uffici	Uffici	Siemens SITRANS FUE 950
C07	Fase 2	Hotel 1	Hotel 1	Hotel 1	Siemens SITRANS FUE 950
C08	Fase 2	Hotel 1	Hotel 1	Hotel 1	Siemens SITRANS FUE 950
C09	Fase 2	Hotel 1	Hotel 1	Hotel 1	Controllori SENSOSTAR C
C10	Fase 2	Uffici	Uffici	Uffici lato Nizza	Controllori SENSOSTAR C
C11	Fase 2	Uffici	Uffici	Uffici lato ferrovia	Siemens SITRANS FUE 950
C12	Fase 2	Uffici	Uffici	Uffici testata Sud	Siemens SITRANS FUE 950
C13	Fase 2	Galleria commerciale	Galleria commerciale	Negozi Fase 2 corti 2, 3, 4	Siemens SITRANS FUE 950
C14	Fase 2	Uffici	Uffici	Uffici	Controllori SENSOSTAR C
C16	Fase 1	Centro Fiere	Fiere	Fase 1 - FIERE	Siemens SITRANS FUE 950
C17	Fase 2	Galleria commerciale	Galleria commerciale	Galleria commerciale	Danfoss Calstream CS 2500
C18 palazzina	Fase 2	Uffici	Uffici	Uffici	Danfoss Calstream CS 2500
C19 hotel	Fase 2	Hotel 1	Hotel 1	Hotel scambiatore acqua sanitaria	Danfoss Calstream CS 2500
C20	Fase 2	Uffici	Uffici	Bolla Quota +23,05	Non raggiungibile
C21	Fase 2	Uffici	Uffici	Spazio ex mostre (Uffici Lingotto Musica + Vuoto)	Danfoss Calstream CS 2500
C22 (FS)	Fase 2	Uffici	Uffici	Torre Sud 1° piano	Non raggiungibile
C22N	Fase 2	Uffici	Uffici	Torre Sud 1° piano	Non raggiungibile
C23	Fase 2	Uffici	Uffici	Tor. Sud Ar. pri.Q.+23,05	Non raggiungibile
C24	Fase 2	Palestre	Palestre	Ex palestra Quota +13,05	Siemens SITRANS FUE 950
C25	Fase 2	Galleria commerciale	Galleria commerciale	Galleria aree comuni corte 4 sud lato Nizza e ferrovia	ABB SVM F2
C26	Fase 2	Galleria commerciale	Galleria commerciale	Galleria aree comuni corte 4 nord e corte 3 lato Nizza e ferrovia	ABB SVM F2
C27	Fase 2	Galleria commerciale	Galleria commerciale	Galleria aree comuni corte 3 nord e corte 2 lato Nizza e ferrovia	ABB SVM F2
C28	Fase 2	Galleria commerciale	Galleria commerciale	Galleria aree comuni corte 2 nord lato Nizza e ferrovia	ABB SVM F2
C29	Fase 3	Galleria commerciale	Galleria commerciale	Galleria fase 3 - corte 1 nord lato ferrovia	Siemens SITRANS FUE 950
C30	Fase 3	Galleria commerciale	Galleria commerciale	Galleria fase 3 - corte 1 nord lato Nizza	Siemens SITRANS FUE 950
C31	Fase 3	Galleria commerciale	Galleria commerciale	Galleria fase 3 - corte 1 sud lato ferrovia	ABB SVM F2
C32	Fase 3	Galleria commerciale	Galleria commerciale	Galleria fase 3 - corte 1 sud lato Nizza	ABB SVM F2
C33	Fase 3	Supermercato	Galleria commerciale	Supermercato	Danfoss Infocal 5
C34B	Fase 3	Università di Torino	Università di Torino	Università di Torino	Controllori SENSOSTAR C
C34D	Fase 3	Università di Torino	Università di Torino	Università di Torino	Siemens SITRANS FUE950
C35	Fase 3	Cinema	Cinema	Cinema	ABB SVM F2
C36A	Fase 3	Città di Torino	Città di Torino	Città di Torino	Controllori SENSOSTAR C
C36C	Fase 3	Città di Torino	Città di Torino	Città di Torino	Siemens SITRANS FUE 950
C37E + C37F1	Fase 3	Politecnico	Politecnico di Torino	Politecnico di Torino	ISOMAG + ISOMAG
C37F2	Fase 3	Politecnico	Politecnico di Torino	Politecnico di Torino	Siemens SITRANS FUE 950
C37F3	Fase 3	Politecnico	Politecnico di Torino	Politecnico di Torino (Foyer, Aula Magna)	ISOMAG
C38	Fase 3	Pinacoteca	Pinacoteca	Pinacoteca	Controllori SENSOSTAR C
C39	Fase 3	Galleria commerciale	Galleria commerciale	Galleria commerciale	Siemens SITRANS FUE950
C41	Fase 3	Hotel 2	Hotel 2	Hotel 2	Non raggiungibile
C42	Fase 2	Uffici	Uffici	Uffici	Danfoss Infocal 5
C46	Fase 2	Galleria commerciale	Galleria commerciale	Negozi Fase 2	Siemens Contacalorie

4.3 Analisi effettuate

Il primo passo del lavoro portato avanti è stato effettuare dei sopralluoghi, accompagnato dai manutentori del sito, per verificare i DN delle tubazioni, la posizione dei contatori, i dati di targa dei gruppi di pompaggio e iniziare a redigere un'accurata anagrafica dei misuratori e delle condotte su cui sono installati. Il risultato di questi sopralluoghi è riassunto nelle Tabella 5, Tabella 6, Tabella 7, Tabella 8 e Tabella 11.

Tabella 11 - Diametri nominali delle tubazioni riferite ai contatori

ACQUA REFRIGERATA		ACQUA CALDA	
Codice contatore	DN (mm)	Codice contatore	DN (mm)
R01	80	C01	65
R02	125	C02	80
R03	-	C03	-
R04	250	C04	200
R05	125	C05	80
R06	150	C06	100
R07	125	C07	100
R08	150	C08	125
R09	100	C09	80
R10	150	C10	100
R11	150	C11	100
R12	250	C12	125
R13	100	C13	100
R14	100	C14	100
R15	150	C17	80
R17	80	C18	150
R18	300	C19	150
R20	65	C20	50
R22FS	65	C21	65
R22N	65	C22FS	50
R23	80	C22N	65
R25	100	C23	80
R26	150	C25	80
R27	150	C26	125
R28	100	C27	100
R29	200	C28	65
R30	125	C29	100
R31	125	C30	80
R32	125	C31	80
R33	-	C32	80
R34B	300	C33	-
R34D	300	C34 B	150
R35	150	C34 D	150
R36A	150	C35	125
R36C	150	C36 A	125
R37E	250	C36 C	150
R37F1	125	C37 E	200
R37F3	80	C37 F1	125
R38	150	C37 F2	80
R39	150	C37 F3	80
R40	300	C38	100
R41	250	C39	80
R42	80	C42	50
R46	80	C46	65

I contatori R03 e C03 non sono stati riportati in quanto non vengono più utilizzati per il condizionamento delle aree comuni del padiglione 5, ma servono solo degli scambiatori di calore. I contatori R33 e C33 non sono inseriti dato che si trovano installati sulla tubazione a circa 5 [m] d'altezza ed è stato impossibile ritrovare informazioni sul diametro da documenti tecnici forniti dai manutentori. In secondo luogo si è proceduto a effettuare una verifica delle letture dei contatori, in particolare soffermandosi sulla corrispondenza fra le letture effettuate di persona da un manutentore e le teleletture effettuate tramite la piattaforma Enerbrain e sulla classificazione delle utenze più "energivore".

4.3.1 Confronto fra letture e teleletture

Per verificare la corretta lettura dalla piattaforma Web dei consumi energetici relativi ai contatori dell'acqua calda e dell'acqua refrigerata è stato considerato un periodo a partire da marzo 2021 fino a ottobre 2021. La scelta di questi mesi è dettata dal fatto che sono stati installati a febbraio 2021 dei dispositivi che hanno permesso la trasmissione dei dati alla piattaforma Web di Enerbrain tramite un convertitore da protocollo M-Bus a protocollo Modbus TCP/IP collegato a un gateway per fornire la connessione.

Nel corso di questa analisi sono stati calcolati: lo scostamento assoluto fra il consumo in lettura e in telelettura, come semplice differenza fra le due misure, lo scostamento relativo, calcolato utilizzando la formula (11), e lo scostamento percentuale, calcolato secondo la relazione (12). Nella tabella seguente (Tabella 12) vengono mostrati i risultati finali dell'analisi, mentre nell'Appendice viene riportato il foglio di calcolo completo.

$$s_r = \frac{\text{telelettura} - \text{lettura} [MWh]}{\text{lettura} [MWh]} \quad (11)$$

$$s_{\%} = \frac{\text{telelettura} - \text{lettura} [MWh]}{\text{lettura} [MWh]} \cdot 100 \quad (12)$$

Come si può notare dalle analisi effettuate sono ancora numerosi i contatori che necessitano di essere dotati di un interfacciamento con la piattaforma Web per permettere la lettura da remoto. Inoltre alcuni contatori presentano delle teleletture anomale rispetto alle letture fatte dal manutentore; questi errori potrebbero essere dovuti a errori di conversione delle unità di misura da quelle utilizzate dal misuratore a quelle mostrate

sulla pagina Web dedicata. Viene considerata accettabile la telelettura nel caso in cui lo scostamento percentuale rientri fra il -20% e il +20% in quanto è possibile che la persona incaricata di recuperare le misurazioni di persona non sia riuscita a prendere la misura precisamente alla fine del mese e che quindi ci sia una discrepanza rispetto alle misurazioni recuperate dalla lettura da remoto.

È necessario provvedere alla risoluzione delle inconsistenze evidenziate nel paragrafo precedente poiché non permettono un reale miglioramento nell'efficacia di gestione e monitoraggio del complesso. Completare l'interfaccia di tutti i contatori presenti in campo e tarare in maniera corretta la conversione delle unità di misura permetterebbe una migliore qualità dei dati a disposizione dei gestori e dei manutentori del complesso. Questo garantirebbe, inoltre, una migliore efficienza energetica dato che sarebbe possibile individuare puntualmente eventuali perdite nella distribuzione, guasti dei componenti meccanici come valvole e sistemi di pompaggio, possibili cause di eventuali situazioni di discomfort degli occupanti e proporre interventi agli utenti nell'ottica dell'uso efficiente dell'energia.

Tabella 12 - Risultati del calcolo degli scostamenti fra le letture e le teleletture dei contatori dell'acqua refrigerata e dell'acqua calda

ID Contatore	Totale da letture		Totale da teleletture		Scostamento assoluto MWh	Scostamento relativo	Scostamento percentuale %
	MWh	MWh	MWh	MWh			
R01	13	0.08	-12.92	-0.99	-99%		
R02	0	0.00	0.00	0.00	0%		
R03	0	0.00	0.00	0.00	0%		
R04	400	401.62	1.62	0.00	0%		
R05	80.4	83.73	3.33	0.04	4%		
R06	253	2.53	-250.47	-0.99	-99%		
R07	181	181.03	0.03	0.00	0%		
R08	321	319.84	-1.16	0.00	0%		
R09	108.4	107.46	-0.94	-0.01	-1%		
R10	570	578.09	8.09	0.01	1%		
R11	465	460.41	-4.59	-0.01	-1%		
R12	1226	1224.85	-1.15	0.00	0%		
R13	85	85.47	0.47	0.01	1%		
R14	64	62.83	-1.17	-0.02	-2%		
R15	170	0.00	-170.00	-1.00	-100%		
R17	0	0.60	0.60	0.00	0%		
R18	0	0.00	0.00	0.00	0%		
R20	22	25.50	3.50	0.16	16%		
R22FS	50	29.91	-20.09	-0.40	-40%		
R22N	40	40.42	0.42	0.01	1%		
R23	0	0.00	0.00	0.00	0%		
R25	19	15710.18	15691.18	825.85	82585%		
R26	93	9426.89	9333.89	100.36	10036%		
R27	282	121289.88	121007.88	429.11	42911%		
R28	63	95479.72	95416.72	1514.55	151455%		
R29	36	36.00	0.00	0.00	0%		
R30	114	0.00	-114.00	-1.00	No telelettura		
R31	10	57.29	47.29	4.73	473%		
R32	74	21.00	-53.00	-0.72	-72%		
R33	109	119.17	10.17	0.09	9%		
R34B	655	538.00	-117.00	-0.18	-18%		
R34D	0	0.00	0.00	0.00	No telelettura		
R35	386	321.76	-64.24	-0.17	-17%		
R36A	0	0.00	0.00	0.00	0%		
R36C	0	0.00	0.00	0.00	0%		
R37 E	260	0.00	-260.00	-1.00	No telelettura		
R37 F1	145.7	0.00	-145.70	-1.00	No telelettura		
R37 F3	22.2	0.00	-22.20	-1.00	No telelettura		
R38	693	559.50	-133.50	-0.19	-19%		
R39	0	0.00	0.00	0.00	0%		
R40	0	0.00	0.00	0.00	0%		
R41	1033	0.00	-1033.00	-1.00	No telelettura		
R42	0	0.00	0.00	0.00	No telelettura		
R46	52	0.00	-52.00	-1.00	No telelettura		

ID Contatore	Totale da letture		Totale da teleletture		Scostamento assoluto MWh	Scostamento relativo	Scostamento percentuale %
	MWh	MWh	MWh	MWh			
C01	14	14.50	0.50	0.04	4%		
C02	108	102.74	-5.26	-0.05	-5%		
C03	52	53.31	1.31	0.03	3%		
C04	349	350.18	1.18	0.00	0%		
C05	54	65.38	11.38	0.21	21%		
C06	238	238.40	0.40	0.00	0%		
C07	132.2	112.60	-19.60	-0.15	-15%		
C08	72	52.50	-19.50	-0.27	-27%		
C09	31	24.68	-6.32	-0.20	-20%		
C10	300	308.08	8.08	0.03	3%		
C11	238	231.20	-6.80	-0.03	-3%		
C12	487	487.30	0.30	0.00	0%		
C13	46	31.00	-15.00	-0.33	-33%		
C14	20	66047.46	66027.46	3301.37	330137%		
C17	0	56.02	56.02	0.00	0%		
C18	452	694.68	242.68	0.54	54%		
C19	505	0.00	-505.00	-1.00	No telelettura		
C20	12	146.30	134.30	11.19	1119%		
C21	0	0.00	0.00	0.00	No telelettura		
C22FS	46	22.68	-23.32	-0.51	-51%		
C22N	26	13.57	-12.43	-0.48	-48%		
C23	4.69	2.35	-2.34	-0.50	-50%		
C25	0	58486.96	58486.96	0.00	0%		
C26	39	8005.80	7966.80	204.28	20428%		
C27	0	0.00	0.00	0.00	0%		
C28	24	19684.78	19660.78	819.20	81920%		
C29	65	83.00	18.00	0.28	28%		
C30	43	59.40	16.40	0.38	38%		
C31	65	75.20	10.20	0.16	16%		
C32	93	66.80	-26.20	-0.28	-28%		
C33	26	30.14	4.14	0.16	16%		
C34B	0	0.00	0.00	0.00	0%		
C34D	493	516.00	23.00	0.05	5%		
C35	21.8	17.70	-4.10	-0.19	-19%		
C36A	0	0.00	0.00	0.00	0%		
C36C	0	0.00	0.00	0.00	0%		
C37 E	158	0.00	-158.00	-1.00	No telelettura		
C37 F1	67	0.00	-67.00	-1.00	No telelettura		
C37 F2	80	0.00	-80.00	-1.00	No telelettura		
C37 F3	0	0.00	0.00	0.00	No telelettura		
C38	401	299.84	-101.16	-0.25	-25%		
C39	45.5	0.00	-45.50	-1.00	No telelettura		
C42	0	0.00	0.00	0.00	0%		
C46	0	0.00	0.00	0.00	No telelettura		

4.3.2 Analisi sui consumi energetici

Data l'inconsistenza delle letture da remoto dimostrata nel capitolo precedente, per questa seconda analisi si è deciso di utilizzare solamente le letture effettuate direttamente dai manutentori sui dispositivi di misurazione in campo. Il periodo di riferimento che è stato utilizzato è l'intero anno 2021 e sono stati considerati sia il consumo di acqua calda che di acqua refrigerata. Si è concluso che, secondo i contatori elencati nella Tabella 11, sono stati consumati 14'402 [MWh] di energia termica e 9'632 [MWh] di energia frigorifera. Successivamente si è calcolata l'incidenza di ogni singola utenza sul consumo totale di acqua calda e di acqua refrigerata ottenendo i risultati elencati in Tabella 13.

Tabella 13 - Consumi totali e incidenza delle singole utenze nell'anno 2021

ID Contatore	2021		ID Contatore	2021	
	TOTALE (MWh)	Incidenza		TOTALE (MWh)	Incidenza
C01	72	0.50%	R01	74	0.77%
C02	735	5.10%	R02	0	0.00%
C03	186	1.29%	R03	0	0.00%
C04	1140	7.92%	R04	527	5.47%
C05	160.8	1.12%	R05	107	1.11%
C06	486	3.37%	R06	253	2.63%
C07	496.6	3.45%	R07	184.1	1.91%
C08	421	2.92%	R08	325	3.37%
C09	329	2.28%	R09	129	1.34%
C10	755	5.24%	R10	806	8.37%
C11	718	4.99%	R11	581	6.03%
C12	1414	9.82%	R12	1463	15.19%
C13	106	0.74%	R13	85	0.88%
C14	132	0.92%	R14	71	0.74%
C17	0	0.00%	R15	173	1.80%
C18	1212	8.42%	R17	0	0.00%
C19	785.9	5.46%	R18	0	0.00%
C20	75	0.52%	R20	46.5	0.48%
C21	0	0.00%	R22FS	50	0.52%
C22FS	50	0.35%	R22N	40	0.42%
C22N	30	0.21%	R23	0	0.00%
C23	6.03	0.04%	R25	19	0.20%
C25	49	0.34%	R26	138	1.43%
C26	232	1.61%	R27	292.7	3.04%
C27	42	0.29%	R28	63	0.65%
C28	95	0.66%	R29	43	0.45%
C29	271	1.88%	R30	115	1.19%
C30	243	1.69%	R31	10	0.10%
C31	386	2.68%	R32	111	1.15%
C32	355	2.46%	R33	109	1.13%
C33	103	0.72%	R34B	894	9.28%
C34 B	0	0.00%	R34D	0	0.00%
C34 D	1250	8.68%	R35	438	4.55%
C35	32.7	0.23%	R36A	0	0.00%
C36 A	0	0.00%	R36C	0	0.00%
C36 C	0	0.00%	R37 E	302	3.14%
C37 E	582	4.04%	R37 F1	145.7	1.51%
C37 F1	212	1.47%	R37 F3	22.2	0.23%
C37 F2	219	1.52%	R38	916.8	9.52%
C37 F3	12	0.08%	R39	0	0.00%
C38	737.4	5.12%	R40	1	0.01%
C39	271	1.88%	R41	1037	10.77%
C42	0	0.00%	R42	0	0.00%
C46	0	0.00%	R46	60.3	0.63%

Dalla tabella precedente è possibile individuare quelle che sono le utenze più energivore del Lingotto nella stagione del riscaldamento e nella stagione estiva. Per quanto riguarda la stagione termica, i consumi maggiori sono dati dai contatori C02 (Padiglione 5), C04 (Centro Congressi), C10 (Uffici lato Nizza), C11 (Uffici lato ferrovia), C12 (Uffici in testata Sud), C18 (Palazzina Fiat), C19 (Hotel #1), C34D (Università di Torino) e C38 (Pinacoteca). Per la stagione di raffrescamento le utenze che hanno consumato di più sono date dai contatori R04 (Centro Congressi), R10 (Uffici lato Nizza), R11 (Uffici lato ferrovia), R12 (Uffici in testata Sud), R34B(Università di Torino), R35 (Cinema), R38 (Pinacoteca) e R41 (Hotel #2).

I grandi consumi degli uffici e del Centro Congressi sono dovuti ai grandi volumi che devo essere climatizzati sia in estate che in inverno, considerando anche il livello di comfort che deve essere garantito sia per una maggiore produttività degli occupanti nel caso degli uffici sia per una migliore fruizione delle attività nel caso del centro congressi.

4.4 Intervento di sostituzione delle valvole

Dopo aver effettuato le analisi esplicitate in precedenza, è stato necessario decidere quale potessero essere gli interventi per migliorare la gestione dell'impianto di distribuzione e portare un effettivo risparmio in termini di consumo. In primis si è pensato di iniziare una campagna di monitoraggio tramite dei misuratori *clamp-on* (analizzati nel loro funzionamento nel capitolo 3.2.3), installati in parallelo ai contatori che presentavano notevoli discrepanze fra la lettura di persona e la lettura da remoto. Successivamente si è deciso di procedere con la sostituzione delle attuali valvole a due vie manuali presenti in diverse parti dell'impianto di distribuzione con un nuovo modello di valvola a due vie *pressure independent* controllabile da remoto e dotata anche di misuratori di portata e di energia termica. Rispetto a una tradizionale valvola a due vie, le valvole di bilanciamento e regolazione indipendenti dalla pressione permettono di “controbilanciare” le continue variazioni di portata, e dunque di pressione differenziale, che l'apertura o la chiusura della valvola causa a seconda della richiesta di riscaldamento o raffrescamento da parte dell'utente. Utilizzando una regolazione tramite una semplice valvola a due vie la distribuzione di calore fra le utenze non risulta essere uniforme, causando una minore efficienza energetica e possibili situazioni di discomfort.

Le valvole a due vie “classiche” sono composte da un corpo valvola e da un otturatore che varia la luce di passaggio interna del fluido, opponendo più o meno resistenza al flusso, come mostrato in Figura 83.

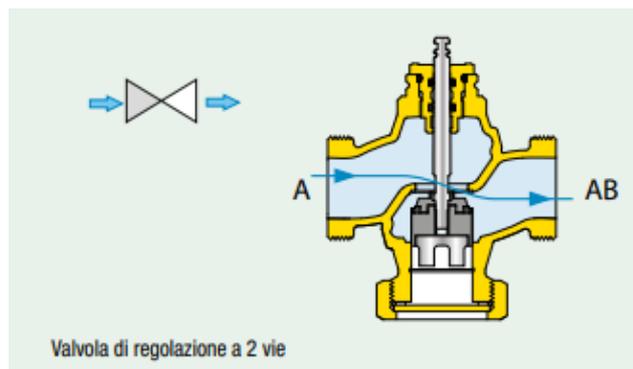


Figura 83 - Valvola di regolazione a due vie (46 p. 8)

Una valvola a due vie indipendente dalla pressione contiene, oltre al corpo valvola e all'otturatore, anche un dispositivo chiamato stabilizzatore di portata che permette di mantenere una portata di fluido costante al variare delle condizioni di pressione differenziale del circuito. Il dispositivo può essere schematizzato nel modo seguente:

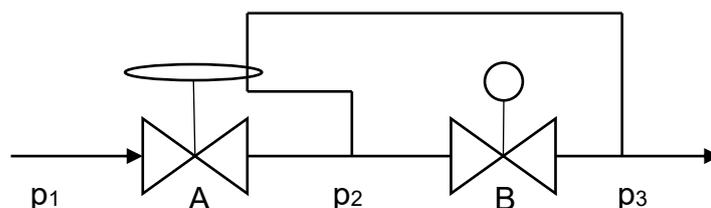


Figura 84 - Schema di principio di valvola di regolazione indipendente dalla pressione

Considerando che la portata passante attraverso una valvola è data dalla relazione (13)

$$Q \left[\frac{m^3}{s} \right] = K_v \cdot \sqrt{\Delta p} \quad (13)$$

grazie all'azione dello stabilizzatore (componente A nella Figura 84) viene mantenuto costante il Δp fra la pressione intermedia p_2 e la pressione di valle p_3 e quindi la portata risulta essere anch'essa costante.

Le valvole che sono state scelte per l'installazione hanno una funzione di bilanciamento e regolazione indipendente dalla pressione e permettono anche una misurazione continua della portata, della posizione della valvola, delle temperature in mandata e in ritorno, della potenza e dell'energia. Secondo la scheda tecnica l'accuratezza della misura della portata è del $\pm 3\%$ fra il 5% e il 100% della portata nominale.

La valvola può essere controllata tramite diversi tipi di segnale come il protocollo Bacnet, il protocollo Modbus, sia RS485 sia TCP/IP, e infine anche tramite un segnale analogico. Se viene dotata di una connessione di rete, i dati vengono registrati su un cloud server da cui è possibile scaricare i dati di consumo e tutte le misurazioni effettuate dalla valvola.

L'utilizzo di queste valvole all'interno di un impianto di distribuzione complesso come quello del Lingotto permette una serie di vantaggi:

- Garantiscono una maggiore semplicità nel bilanciamento della rete di distribuzione;
- Tramite la possibilità di controllo da remoto è possibile ottimizzare la regolazione e semplificare le modalità di conduzione dell'impianto;
- È possibile creare una rete per connettere le diverse valvole in modo che il manutentore possa conoscere le informazioni essenziali su ciascuna valvola;
- Dato che i dispositivi di misurazione delle valvole non sono certificati MID, non è possibile rimuovere i contatori precedentemente installati, ma disporre di una misura in parallelo permette di individuare più facilmente errori o problemi nell'impianto di distribuzione;
- Controllando le valvole tramite un PLC che manda un segnale analogico, sarebbe possibile anche impostare un calendario per chiudere la valvola nei giorni in cui non siano occupate le aree servite dalla tubazione.

Prima di procedere con l'installazione delle valvole in tutto il complesso, è stato deciso di effettuare una prova andando a installare due valvole in serie a due contatori il cui diametro non fosse eccessivamente elevato. I contatori che sono stati individuati per una prima prova di installazione sono il C01 e l'R01 in Figura 85, rispettivamente con un DN di 65 [mm] e di 80 [mm].



Figura 85 - Contatori R01 (a sinistra) e C01

È stata verificata successivamente la tenuta delle valvole di sezionamento presenti a valle e a monte dei contatori, per poter installare in sicurezza le valvole e senza causare eccessivi disservizi alle utenze. Tuttavia, a causa della valvola di sezionamento posta a monte del contatore C01 (Figura 86) la cui tenuta non era sufficiente, non è stato possibile installare la valvola in serie al contatore. Sarà necessario un fuori servizio organizzato e concordato con gli utenti a valle del contatore per svuotare parte dell'impianto e poter installare la valvola di regolazione.



Figura 86 - Valvola di sezionamento a monte di C01 non funzionante

La prima versione dell'architettura per il controllo della valvola comprendeva l'utilizzo di un PLC con almeno 4 uscite analogiche per controllare altrettante valvole e dei gateway installati precedentemente da Enerbrain per permettere la connessione dei contatori con la piattaforma Web dell'azienda, come schematizzato nella Figura 87.

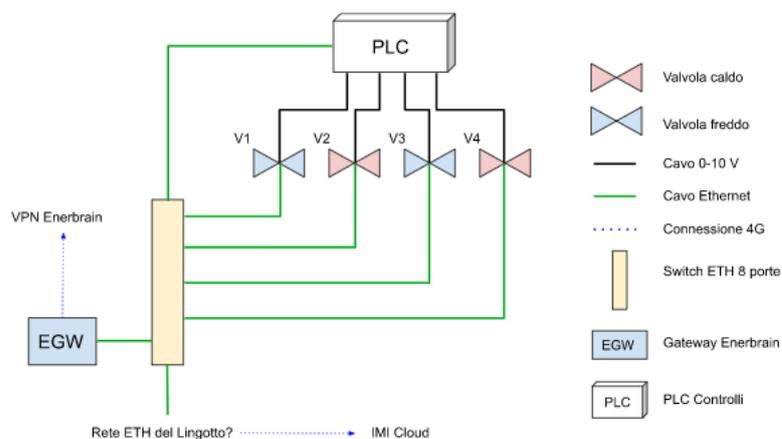


Figura 87 - Prima versione dell'architettura di controllo delle valvole di regolazione

Tuttavia, per non appesantire la connessione sui gateway già esistenti e garantire una maggiore sicurezza nel controllo e nella gestione delle valvole, si è deciso di utilizzare dei gateway di nuova installazione, che permettessero una maggiore stabilità di connessione e una maggiore libertà di configurazione, arrivando infine allo schema rappresentato in Figura 88.

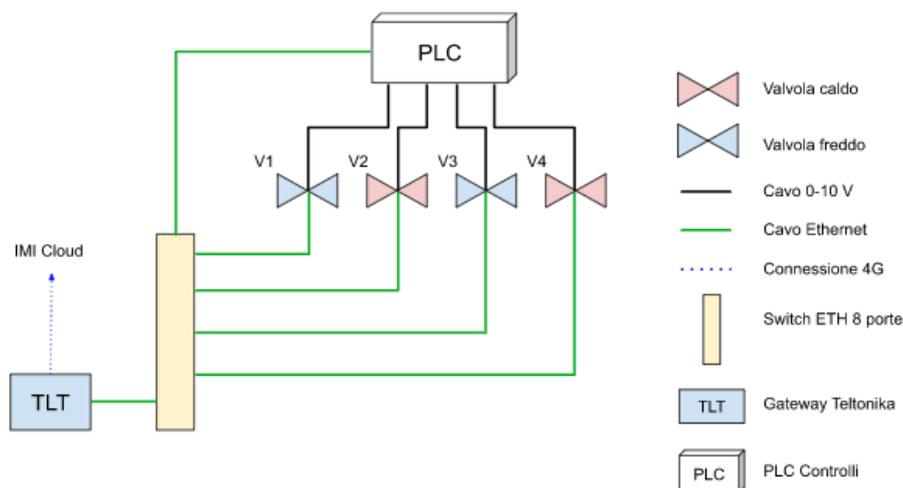


Figura 88 - Versione finale dell'architettura di controllo delle valvole di regolazione

Nella prova di installazione delle prime due valvole in serie ai contatori R01 e C01 si è proceduto a creare un piccolo quadro di regolazione in modo da testare il funzionamento della valvola, raccogliere dati di consumo della connessione e monitorare l'eventuale risparmio dato dall'installazione della valvola stessa. Si è deciso di controllare la valvola tramite un PLC dell'azienda Controlli, in particolare il modello MT-NET-BD5, dotato di otto ingressi analogici, due ingressi digitali, sei uscite digitali e due uscite analogiche per controllare le valvole tramite un segnale analogico.

Il PLC è collegato, insieme alle valvole, a un router Teltonika, modello RUT955, tramite una connessione Modbus TCP/IP. Il router fornisce la connessione Internet per poter controllare da remoto le valvole tramite una semplice interfaccia grafica del PLC e per consentire il collegamento con il cloud dell'azienda produttrice della valvola per la raccolta dei dati di misurazione. Il quadro è schematizzato in Figura 89 ed è alimentato tramite una tensione di 230 [V], fornita dal cliente, che viene convertita tramite degli alimentatori in una tensione di 24 [V]; ogni componente all'interno del quadro è stato dotato di un fusibile di protezione.

Nell'Appendice A sono state riportate le foto dei singoli componenti del quadro installato in campo.

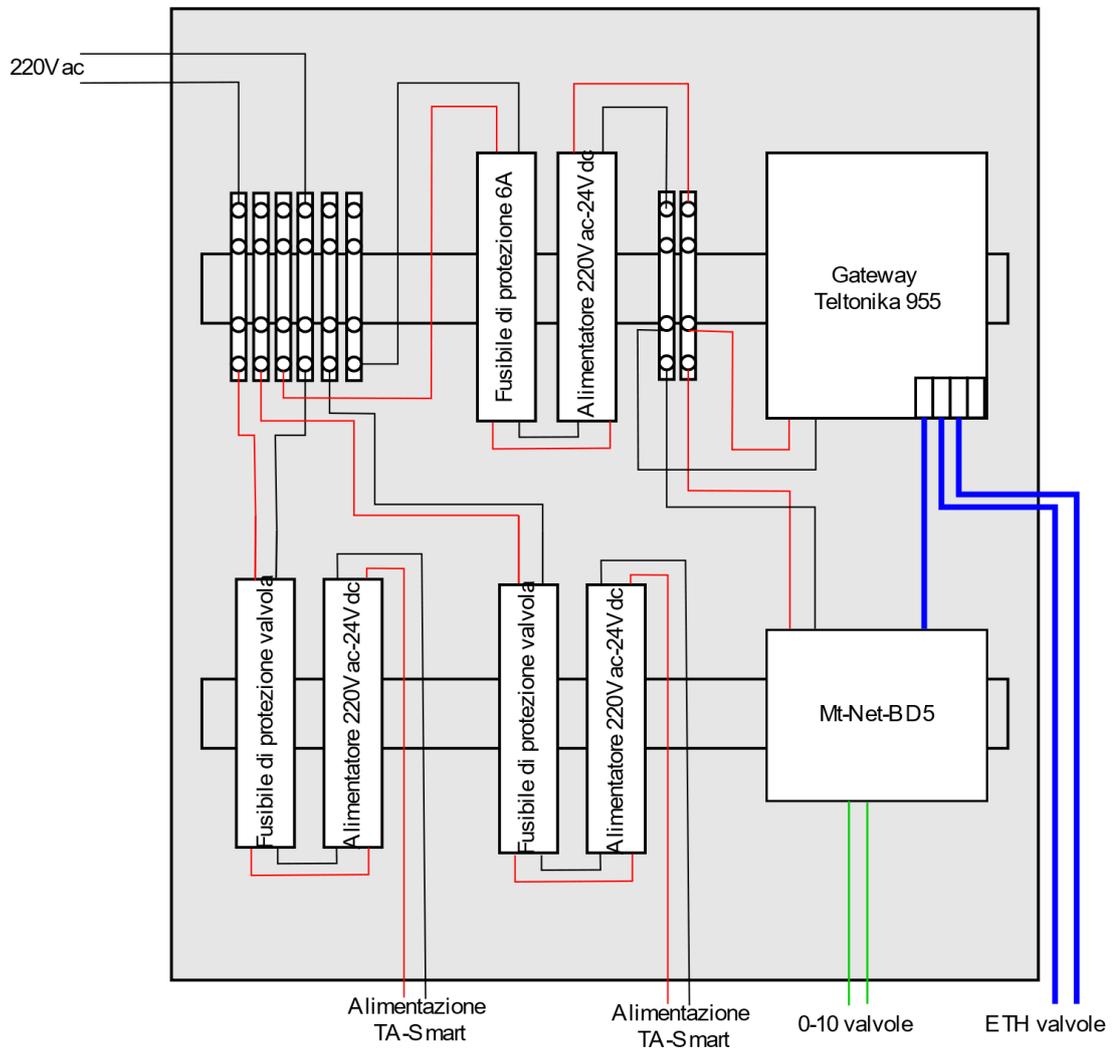


Figura 89 - Quadro di regolazione per valvole a due vie

Il quadro di regolazione e la valvola di regolazione sono state installate il giorno 13 giugno, ma complici alcuni difetti nella programmazione del gateway Teltonika RUT955 non è stato possibile dotare di una connessione immediata il PLC e la valvola. È stato necessario un secondo sopralluogo il giorno 21 giugno per finire la configurazione e verificare che tutti i componenti funzionassero correttamente. In fase di installazione si è provveduto a rivestire la valvola con un isolante per coibentarla, come si può ben vedere dalla Figura 90.



Figura 90 - A sinistra: quadro di regolazione; a destra: valvola di regolazione indipendente dalla pressione

Viste le poche settimane trascorse dall'installazione e un problema nel reperire i dati storici di consumo del contatore R01, non è stato possibile analizzare i dati di consumo confrontandoli con lo stesso periodo di tempo riferito all'anno precedente. Tenuto conto delle alte temperature esterne registrate in questo periodo, si è deciso di non agire per il momento sulla percentuale di chiusura della valvola, lasciandola dunque aperta al 100% in modo da garantire sufficiente comfort agli occupanti. Di seguito vengono infine riportati lo schema di principio della valvola installata e i grafici di andamento della temperatura del fluido in mandata e in ritorno e di andamento del consumo di energia ottenuti dalla valvola di regolazione.

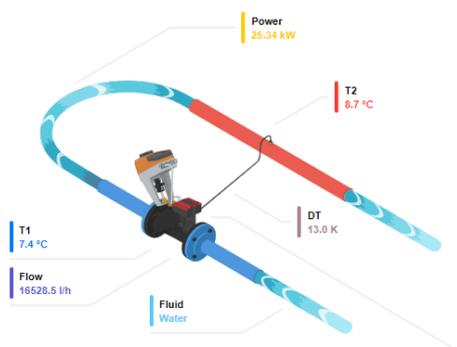


Figura 91 - Rappresentazione grafica della valvola di regolazione installata

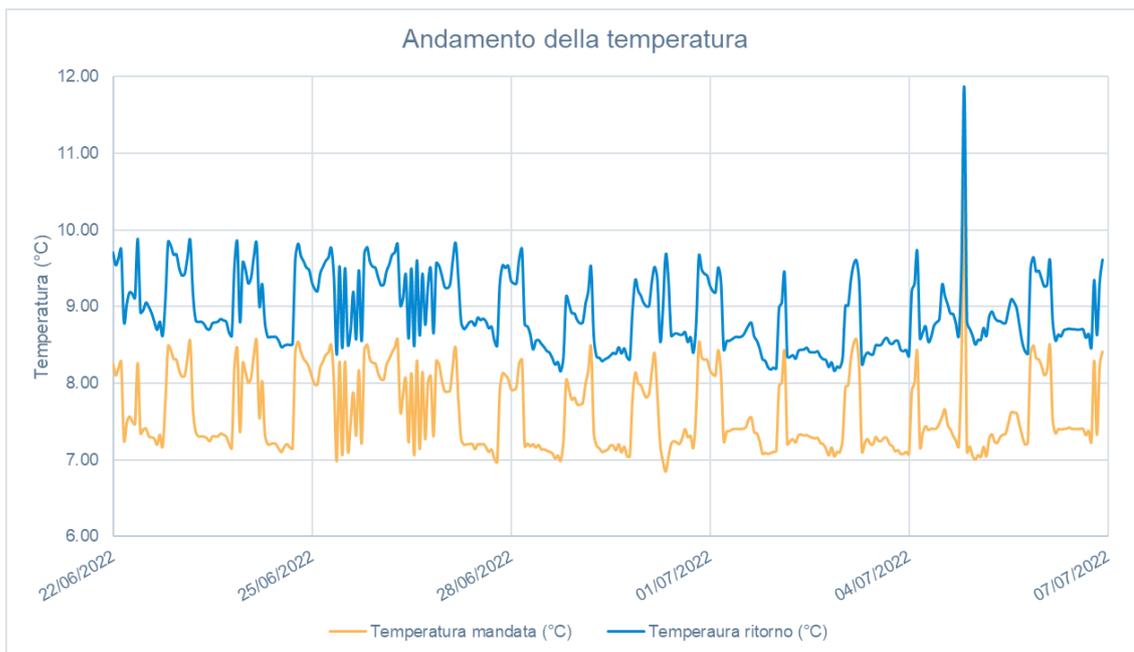


Figura 92 - Grafico sull'andamento della temperatura in mandata e in ritorno



Figura 93 - Andamento del consumo di energia giornaliero in confronto alla temperatura esterna

4.5 Possibili sviluppi futuri

In seguito alla verifica del corretto funzionamento della valvola recentemente installata, verrà programmato un fuori servizio per installare una seconda valvola di regolazione in serie al contatore C01. Dopodichè seguirà l'installazione delle stesse valvole sulle altre tubazioni in modo poter regolare tutti i circuiti tramite di esse.

Sarà necessario utilizzare un altro PLC Controlli rispetto a quello usato nel quadro di regolazione di prova, poiché sono necessari più uscite analogiche per riuscire a controllare un numero maggiore di valvole. In questo modo sarà possibile minimizzare la quantità di hardware necessario per la regolazione, con conseguenti benefici economici.

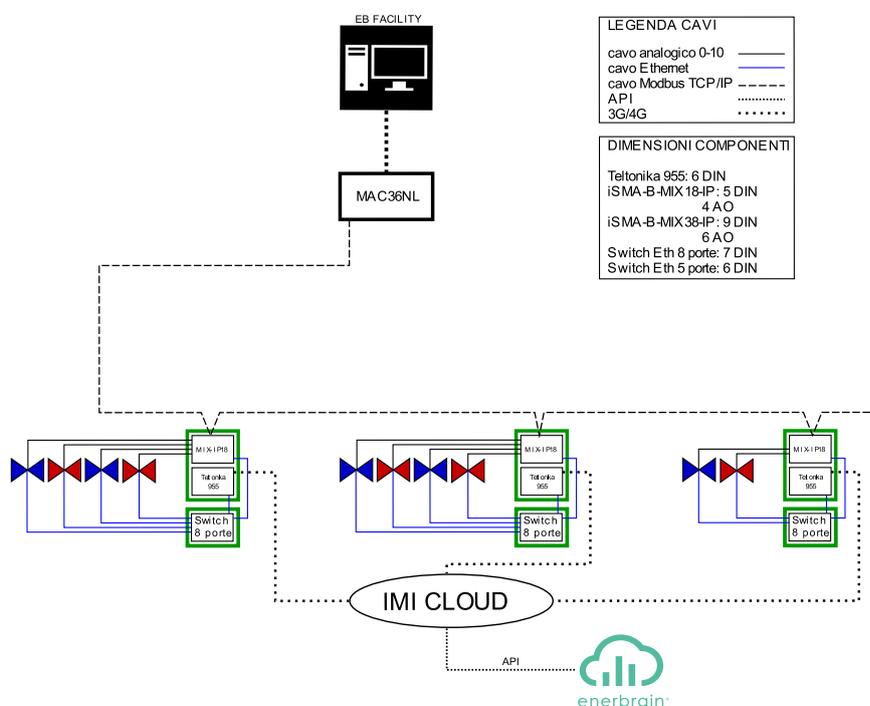


Figura 94 - Configurazione futura dell'architettura della rete di controllo e monitoraggio delle valvole di regolazione di nuova installazione

Come rappresentato in Figura 94, una volta che tutte le valvole saranno controllate tramite i PLC all'interno dei quadri di regolazione e saranno dotate di una connessione Internet, è stato previsto di creare una rete per connettere tutti i PLC a un concentratore. In questo modo i manutentori potranno interrogare i singoli PLC tramite un indirizzo IP e verificare il funzionamento delle singole valvole e il loro grado di apertura. Inoltre, con uno sviluppo ulteriore dell'interfaccia grafica, sarà possibile impostare dei calendari con un

grado di apertura o di chiusura della valvola in base all'orario di occupazione degli ambienti serviti.

Inizialmente i dati di consumo dovranno essere scaricati manualmente direttamente dal cloud dell'azienda produttrice della valvola, ma tramite uno sviluppo di API ad-hoc sarà possibile integrare le misurazioni più importanti all'interno della piattaforma Enerbrain. In questo modo risulteranno più semplice l'analisi dei dati di consumo e il confronto con le letture fiscali dei contatori per individuare eventuali problemi nella distribuzione o consumi fuori norma.

Conclusioni

L'obiettivo di questo lavoro di tesi in azienda è stato l'analisi della rete di distribuzione del Lingotto per identificare i possibili luoghi di installazione di nuove valvole di regolazione, che permettessero una migliore gestione dell'impianto e che garantissero un parametro di confronto per i contatori attualmente esistenti.

Per inquadrare il motivo dell'intervento di efficientamento della rete di distribuzione del Lingotto, oltre ai benefici economici, è stato affrontato nei primi due capitoli l'argomento del riscaldamento globale, dal punto di vista ambientale e dal punto di vista legislativo, andando a descrivere i principali accordi internazionali e le misure previste dal Governo italiano per giungere agli obiettivi prefissati per la riduzione delle emissioni e per l'aumento dell'efficienza energetica.

Successivamente, è stata descritta l'architettura del sistema installato in prova e la tipologia di componenti utilizzati. Il processo decisionale che ha portato alla scelta dei dispositivi presentati nell'elaborato è stato frutto di una collaborazione con altri colleghi dell'azienda Enerbrain che hanno supportato le fasi di programmazione e messa in servizio del sistema.

Nonostante non siano presenti al momento dei risultati comparabili con gli anni precedenti riguardo il consumo di energia da parte del contatore R01, è ragionevole pensare che l'installazione successiva di nuove valvole di regolazione al termine di questo progetto di tesi permetterà di creare un sistema di controllo della rete di distribuzione altamente efficace e innovativo.

Bibliografia

1. Hannah Ritchie, Max Roser, Pablo Rosado. CO₂ and Greenhouse Gas Emissions. *OurWorldInData.org*. [Online] 2020. [Riportato: 18 Febbraio 2022.] <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>.
2. Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. s.l. : Cambridge University Press, 2021. IPCC, 2021: Summary for Policymakers.
3. BerkeleyEarth.org. Global Temperature Report for 2019. *Berkeley Earth*. [Online] 2019. [Riportato: 18 Febbraio 2022.] <http://berkeleyearth.org/archive/2019-temperatures/>.
4. Istituto della Enciclopedia Italiana fondata da Giovanni Treccani. Rischio. *Sito Web Treccani*. [Online] 2018. [Riportato: 2 Luglio 2022.] https://www.treccani.it/vocabolario/rischio_res-af319d2b-e3b2-11eb-94e0-00271042e8d9/.
5. Hans-O. Pörtner, Debra C. Roberts, Helen Adams, Carolina Adler, Paulina Aldunce, Elham Ali, Rawshan Ara Begum, Richard Betts, Rachel Bezner Kerr, Robbert Biesbroek, Joern Birkmann, Kathryn Bowen, Edwin Castellanos, Gueladio Cissé, Andrew Constable, Wolfga. *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC : Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 2022.
6. Max Roser, Hannah Ritchie. Hunger and Undernourishment. *OurWorldInData.org*. [Online] 2020. [Riportato: 25 Febbraio 2022.] <https://ourworldindata.org/hunger-and-undenourishment>.
7. Hannah Ritchie, Max Roser, Pablo Rosado. CO₂ and Greenhouse Gas Emissions. *OurWorldInData.org*. [Online] 2020. [Riportato: 5 Marzo 2022.] <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector>.

8. Pablo Rosado, Hannah Ritchie, Max Roser. Energy. *OurWorldInData.org*. [Online] 2020. [Riportato: 5 Marzo 2022.] <https://ourworldindata.org/energy>.
9. IEA (International Energy Agency). World Energy Outlook 2021. <https://www.iea.org/>. [Online] 2021. [Riportato: 16 Marzo 2022.] <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>.
10. *Risoluzione adottata dall'Assemblea Generale il 25 settembre 2015 70/1: Trasformare il nostro mondo: l'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile*. ONU (Organizzazione Nazioni Unite). 2015.
11. Unione Europea. 2020 climate & energy package. *European Commission*. [Online] https://ec.europa.eu/clima/eu-action/climate-strategies-targets/2020-climate-energy-package_en.
12. —. Net greenhouse gas emissions (source: EEA). *Eurostat*. [Online] 2022. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/SDG_13_10__custom_1300372/bookmark/line?lang=en&bookmarkId=bd0ef27e-cd1e-4929-9e1e-5443e8eda433.
13. —. Primary Energy Consumption. *Eurostat*. [Online] 2022. [Riportato: 15 Giugno 2022.] https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/SDG_07_10/default/table?lang=en.
14. —. Realizzare il Green Deal europeo. *European Commission*. [Online] 2022. https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_it.
15. *Comunicazione della commissione al Parlamento europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle regioni: il Green Deal europeo*. Commissione Europea. Bruxelles : s.n., 2019.
16. Technical Expert Group on Sustainable Finance. *Taxonomy: Final report of the Technical Expert Group on Sustainable Finance*. s.l. : European Commission, 2020.
17. Technical Expert Group on Sustainable Finance. *Taxonomy Report: Technical Annex - Updated methodology & Updated Technical Screening Criteria*. s.l. : European Commission, 2020.

18. Unione Europea. EU taxonomy for sustainable activities. *European Commission*. [Online] 2020. [Riportato: 24 Maggio 2020.] https://ec.europa.eu/info/business-economy-euro/banking-and-finance/sustainable-finance/eu-taxonomy-sustainable-activities_en.
19. Commissione Europea. REACT-EU allocations 2021 and 2022. *Commissione Europea*. [Online] 2021. [Riportato: 23 Marzo 2022.] https://ec.europa.eu/info/files/react-eu-allocations-2021_it.
20. Unione Europea. NextGenerationEU. *Unione europea*. [Online] 2021. [Riportato: 24 Marzo 2022.] https://europa.eu/next-generation-eu/index_it.
21. Spano D., Mereu V., Bacciu V., Marras S., Trabucco A., Adinolfi M., Barbato G., Bosello F., Breil M., Chiriaco M. V., Coppini G., Essenfelder A., Galluccio G., Lovato T., Marzi S., Masina S., Mercogliano P., Mysiak J., Noce S., Pal J., Reder A., Rianna G. *Analisi del rischio. I cambiamenti climatici in Italia*. s.l. : Fondazione CMCC, 2020. ISBN 978-88-97666-15-8.
22. Our World In Data. Primary Energy Consumption. *Our World In Data*. [Online] 31 Marzo 2022. [Riportato: 15 Maggio 2022.] <https://ourworldindata.org/grapher/primary-energy-cons?tab=chart&country=~ITA>.
23. —. Electricity production by source. *Our World In Data*. [Online] 8 Aprile 2022. [Riportato: 16 Maggio 2022.] <https://ourworldindata.org/grapher/electricity-production-by-source?country=~ITA>.
24. Istat. Ambiente ed energia. *Istat*. [Online] 2021. [Riportato: 10 Giugno 2022.] <https://www.istat.it/it/ambiente-ed-energia?dati>.
25. Presidenza del Consiglio dei Ministri. Italia Domani, il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza. *Italiadomani*. [Online] 2021. [Riportato: 28 Dicembre 2021.] <https://italiadomani.gov.it/it/home.html>.
26. *Energy Use in Residential Buildings: Impact of Building Automation Control Systems on Energy Performance and Flexibility*. Francesco Mancini, Gianluigi Lo Basso, Livio de Santoli. 15, Roma : MDPI, 2019, *Energies*, Vol. 12.

27. Technical Committee CEN/TC 247. UNI EN 15232-1. *Energy performance of buildings - Part 1: Impact of Building Automation, Controls and Building Management*. Bruxellens : Comité Européen de Normalisation, 2016.
28. Doebelin, Ernest O. *Strumenti e metodi di misura*. Milano : The McGraw-Hill Companies, S.r.l., 2008. ISBN 978-88-386-6435-9.
29. *Direttiva 2014/32/UE*. Parlamento europeo e consiglio. s.l. : Unione Europea, 2014, Gazzetta ufficiale dell'Unione europea.
30. The programmable logic controller. [aut. libro] B. R, Y. Jaganmohan Reddy Mehta. *Industrial Process Automation Systems: Design and Implementation*. s.l. : Oxford: Elsevier Science & Technology, 2014.
31. Ephrem RyanAlphonsus, MohammadOmarAbdullah. A review on the applications of programmable logic controllers (PLCs). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016, Vol. 60, p. 1185 - 1205.
32. Frenzel, L., Frenzel, L. E. *Handbook of serial communications interfaces : A comprehensive compendium of serial digital input/output (i/o) standards*. s.l. : Elsevier Science & Technology, 2015.
33. *Internet of Things: Architectures, Protocols, and Applications*. Pallavi Sethi, Smruti R. Sarangi. New Delhi, India : Hindawi Publishing Corporation, 2017, Journal of Electrical and Computer Engineering, Vol. 2017.
34. Mehta, B. R e Reddy, Y. Jaganmohan. Serial Communication. *Industrial Process Automation Systems: Design and Implementation*. s.l. : Oxford: Elsevier Science & Technology, 2014.
35. Modbus organization. MODBUS over serial line specification and implementation guide V1.02. *Modbus.org*. [Online] 2006. [Riportato: 7 Giugno 2022.] <https://modbus.org/tech.php>.
36. Hersent, Olivier, David Boswarthick, and Omar Elloumi. Modbus. *The Internet of Things*. II. s.l. : Somerset: Wiley, 2012.

37. Modbus Organization. MODBUS Messaging on TCP/IP Implementation Guide V1.0b. *Modbus.org*. [Online] 2006. [Riportato: 13 Giugno 2022.] <https://modbus.org/specs.php>.
38. Olivier Hersent, David Boswarthick, Omar Elloumi. M-Bus and Wireless M-Bus. *The Internet of Things*. s.l. : John Wiley & Sons, 2012.
39. Istituto della Enciclopedia Italiana fondata da Giovanni Treccani. Lingotto. *Sito Web Treccani*. [Online] [Riportato: 25 Giugno 2022.] https://www.treccani.it/enciclopedia/lingotto_res-231c72d9-e841-11e0-8562-00271042e8d9.
40. Google. *Google Earth*. [Online] 20 Maggio 2021. [Riportato: 30 Giugno 2022.] <https://earth.google.com/web/@45.03081128,7.67386443,222.1200871a,3147.23578261d,35y,359.99990723h,0t,0r>.
41. Ministero della Cultura. Atlante Architettura Contemporanea. *Direzione Generale Creatività Contemporanea*. [Online] 2021. [Riportato: 7 Luglio 2022.] <https://www.atlantearchitettura.beniculturali.it/lingotto-torino/>.
42. D'Ottavio, Michele. Lingotto: MuseoTorino. *MuseoTorino*. [Online] 2010. [Riportato: 2 Luglio 2022.] <https://www.museotorino.it/view/s/b2c5ee5289ea4a08944fc69255c78b43?highlight=Lingotto>.
43. Attilio Bastianini, Giovanni Klaus Koenig, Denys Lasdun, Richard Meier, Lucio Passarelli, Renato Pedio, Luigi Pellegrin, Ludovico Quaroni, Piero Sartogo, Ionel Schein, James Stirling. *Venti progetti per il futuro del Lingotto*. Milano : Gruppo Editoriale Fabbri, Bompiano, Sonzogno, Etas S.p.A., 1989.
44. Centro Storico Fiat. *Il Lingotto (Venti progetti per il futuro del Lingotto)*. [Audiovisivo] Torino : Centro Storico Fiat, 1984.
45. Annalisa Colombino, Alberto Vanolo. *Turin and Lingotto: resilience, forgetting and the reinvention of place*. s.l. : European Planning Studies, 2017. p. 10-28.
46. Caleffi Hydronic Solutions. La regolazione degli impianti. *Idraulica*. Semestrale, 2019, 56.

47. Unione Europea. Neutralità carbonica: cos'è e come raggiungerla entro il 2050. *Parlamento Europeo*. [Online] 28 Giugno 2021. <https://www.europarl.europa.eu/news/it/headlines/society/20190926STO62270/neutralita-carbonica-cos-e-e-come-raggiungerla>.
48. —. Energy Poverty Advisory Hub. *European Commission*. [Online] 2022. https://energy-poverty.ec.europa.eu/energy-poverty-observatory/what-energy-poverty_en.
49. Istituto della Enciclopedia Italiana fondata da Giovanni Treccani S.p.A. bunkeraggio. *Treccani*. [Online] [Riportato: 5 Giugno 2022.] [https://www.treccani.it/vocabolario/bunkeraggio/#:~:text=bunker%20\(o%20buncher%20s.%20m.%20%5B,di%20combustibile%20per%20la%20nave..](https://www.treccani.it/vocabolario/bunkeraggio/#:~:text=bunker%20(o%20buncher%20s.%20m.%20%5B,di%20combustibile%20per%20la%20nave..)
50. Istituto della Enciclopedia Italiana fondata da Giovanni Treccani S.p.A. resistività. *Treccani*. [Online] [Riportato: 10 Luglio 2022.] <https://www.treccani.it/enciclopedia/resistivita#:~:text=resistivit%20In%20elctrologia%20grandezza%20caratteristica,%CF%81%20%20%20appunto%20la%20resistivit%20..>

Appendice A

Gruppo di pompaggio acqua refrigerata Fase 2

Centrale termica Fase 2

Gruppo di pompaggio acqua calda Fase 2

Centrale frigorifera Fase 3

Gruppo di pompaggio acqua refrigerata Fase 3

Centrale termica Fase 3

Gruppo di pompaggio acqua calda Fase 3

Quadro di regolazione



Figura 96 - Quadro di regolazione



Figura 95 - PLC Controlli MT-NET-BD5



Figura 98 - Alimentatori delle valvole



Figura 97 - Gateway Teltonika RUT955

