



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

**Dip. AGRONOMIA ANIMALI ALIMENTI RISORSE NATURALI E AMBIENTE**

**Dip TERRITORIO E SISTEMI AGRO-FORESTALI**

**Corso di laurea in SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE**

**IMPIANTI FOTOVOLTAICI, LUOGHI D'INSTALLAZIONE  
E MODIFICA DEL TERRITORIO**

**RELATORE:**

Dott. Francesco Marinello

**CORRELATORE:**

Prof. Luigi Sartori

Dott. Andrea Pezzuolo

**LAUREANDO:**

Tommaso Sasso

Matricola n. 1221717

**ANNO ACCADEMICO 2021-2022**



# RIASSUNTO

Negli ultimi anni c'è stata una continua e crescente spinta verso le fonti d'energia rinnovabile come eolico, solare o fotovoltaico. Proprio quest'ultimo ha visto la crescita più importante con una sempre maggiore frequenza di impiego. Secondo l'European Science Hub, il solare fotovoltaico è inoltre il tipo di energia rinnovabile con il più ampio margine di riduzione dei costi e aumento dell'efficienza, ed è quindi da considerarsi come parte integrante della transizione europea verso un sistema energetico a basse emissioni. Complici gli incentivi economici, la crescita dei costi dei combustibili fossili in particolare nell'ultimo anno e la sempre più radicata coscienza in termini di cambiamenti climatici e impatto ambientale, gli impianti fotovoltaici sono al centro di una grande campagna di installazione da parte di imprese e aziende. In Italia la produzione energetica potenziale delle sole installazioni sui tetti degli edifici italiani è stata stimata in circa 200 TWh di elettricità all'anno, il doppio dell'obiettivo nazionale per il 2030 utilizzando moduli con un'efficienza del 22%.

In questo lavoro di tesi è stato analizzato un campione di impianti fotovoltaici distribuiti sul territorio nazionale soffermandosi su varie caratteristiche dei diversi impianti dalle quali è scaturita una prevalenza di specifici impianti in relazione a vari luoghi di installazione e potenze prodotte per superficie utilizzata.

# ABSTRACT

In recent years there has been a continuous and growing push towards renewable energy sources such as wind, solar, or photovoltaic power. It is precisely the latter that has seen the most significant growth with an increasing frequency of use. According to the European Science Hub, solar photovoltaic power is also the type of renewable energy with the greatest scope for cost reduction and efficiency gain, and should therefore be seen as an integral part of Europe's transition to a low-emission energy system. Compounded by economic incentives, by the rising cost of fossil fuels particularly over the past year, and by a growing awareness in terms of climate change and environmental impact, photovoltaic systems are the focus of a major installation campaign by businesses and companies. In Italy, the potential energy production of Italian rooftop installations alone has been estimated at about 200 TWh of electricity per year, doubling the national target for 2030 using modules with a 22 percent efficiency. In this thesis, a sample of photovoltaic installations distributed throughout the country was analyzed, focusing on various characteristics of the different installations. The analysis has revealed a prevalence of specific installations in relation to various installation locations and powers produced per surface area.

# SOMMARIO

RIASSUNTO .....	1
ABSTRACT .....	2
SOMMARIO .....	3
Capitolo 1 .....	4
INTRODUZIONE .....	4
1.1 Transizione ecologica e attenzione verso energie rinnovabili .....	4
1.2 Il presente lavoro.....	6
Capitolo 2 .....	7
IMPIANTI FOTOVOLTAICI E AGRIVOLTAICO .....	7
2.1 Tendenze attuali.....	7
2.2 Distribuzione e Aspetti normativi.....	8
2.3 Tipologie di installazioni e di pannelli.....	14
Capitolo 3 .....	19
DESCRIZIONE DEL LAVORO DI TESI.....	19
3.1 Descrizione dell’analisi e dei dati utilizzati.....	19
3.2 Analisi dei risultati .....	21
Capitolo 4 .....	27
CONCLUSIONI .....	27
BIBLIOGRAFIA .....	30
Documenti scientifici.....	30
Database.....	32
Siti web .....	32
RINGRAZIAMENTI .....	33

# Capitolo 1

## INTRODUZIONE

### 1.1 Transizione ecologica e attenzione verso energie rinnovabili

L'energia elettrica è ormai alla base della vita dell'uomo, sia nella realtà privata, sia nell'economia e nel lavoro. Tutti noi, nel corso della nostra giornata, entriamo in contatto sempre di più con strumenti, macchine o dispositivi che sono alimentati dall'elettricità tanto che è possibile affermare come la nostra società sia a tutti gli effetti energivora.

Dai processi per generare tutta quest'energia tramite combustibili fossili si creano quantità proibitive di gas serra, in particolar modo anidride carbonica, che negli ultimi duecento anni hanno portato a un innalzamento delle temperature medie mondiali che minaccia l'esistenza del nostro pianeta.

Per questo nel corso degli anni sono state attuate da parte della comunità internazionale diverse azioni, sotto forma di trattati, per diminuire l'aumento delle temperature come l'Earth Summit di Rio 1992, il Protocollo di Kyoto del 1997 e ultimissima Agenda 2030 istituita in occasione della Conferenza di Parigi del 2015.

L'incremento di energia utilizzata e prodotta con combustibili fossili, inoltre, aumenta le emissioni di gas serra.

Tali gas serra, come se non bastasse, aumentano a loro volta i consumi di energia tramite l'incremento delle temperature e l'aumento di inquinamento in atmosfera. Infatti, come viene spiegato dal Dott. Pan He dell'università di Cardiff sulla rivista Nature: "quando i livelli di inquinamento atmosferico sono elevati, le persone tendono a ridurre i viaggi e a spostarsi verso le attività indoor, il che porta a un maggiore consumo di elettricità in generale, che si tratti di riscaldamento, raffreddamento e illuminazione o dell'aumento dell'uso di elettrodomestici".

Risulta quindi necessario attuare un radicale passaggio dalle fonti di energia tradizionali alle fonti rinnovabili quali eolico, fotovoltaico, solare, geotermico, idroelettrico o da biomassa.

Secondo il rapporto del 2021 "Indicatori di efficienza e decarbonizzazione del sistema energetico nazionale e del settore elettrico" dell'ISPRA, in Italia c'è stato un graduale ma

non sostanziale aumento della quota percentuale di energia da fonti rinnovabili dal 1990 al 2007: si parla di valori al 2007 di circa il 9%. Dal 2007 in poi, invece, si osserva una accelerazione della quota fino al 19% del consumo interno lordo nel 2019. Infatti, dal 1990 al 2019 il consumo interno lordo di energia da fonti rinnovabili è più che quadruplicato passando da 6,5 a 29,5 Mtep. Questo a fronte di un calo dal 1990 al 2019 della componente fossile che passa da 95,5% a 80,6% (ISPRA).

Il declino del contributo fossile al consumo interno lordo è diventato particolarmente ripido appunto dal 2007. Questo incremento di energie rinnovabili è significativo ma non è ancora abbastanza; Norvegia e Islanda producono e consumano quasi solamente energia da fonti rinnovabili, circa per il 99,9%. Principale tra le fonti di energia rinnovabile è il fotovoltaico che ha visto un grande aumento di installazioni sul territorio italiano grazie a numerosi incentivi messi in essere negli ultimi trent'anni come CIP 6/92 o Conto Energia.

Appunto con questi incentivi, molti privati ma in particolar modo molte aziende hanno deciso investire installando impianti fotovoltaici. Anche un gran numero di imprese agricole italiane ha perseguito questa strada che ha consentito di ammortizzare i costi di produzione dei relativi impianti.

Guardando al prossimo futuro è in aumento la comparsa di mezzi agricoli ibridi o "full electric". Infatti, dopo la graduale digitalizzazione dell'agricoltura, il passo successivo sembra essere l'utilizzo di macchine elettriche analogamente a quanto successo per il mercato automobilistico.

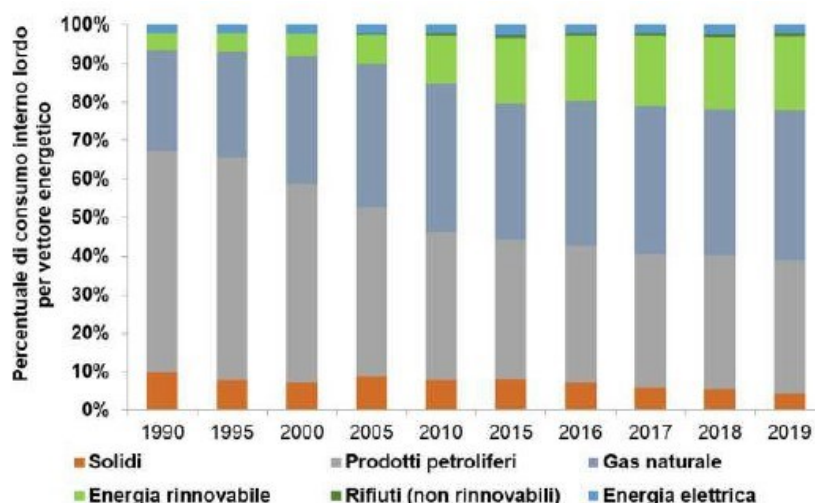


Figura 1.1: Grafico che relaziona la percentuale di consumo interno lordo di energia per vettore energetico ad anni crescenti dal 1990 al 2019. (dati ISPRA 2021, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale).

Per il momento i “full electric” si attestano su veicoli di bassa potenza; l'impressione è che i trattori elettrici a batteria saranno pienamente fruibili soltanto quando le celle e quindi le batterie avranno compiuto un sostanziale salto tecnologico. Per le alte potenze appaiono quindi più promettenti i mezzi ibridi, come il REX4 Electra di Landini presentato all'EIMA 2021.

Per attuare questa modifica l'Italia, nel 2021, ha introdotto uno specifico dicastero chiamato “Ministero della Transizione Ecologica” che sostituisce il vecchio “Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare” e lo completa con diverse responsabilità e competenze in ambito energetico.

## **1.2 Il presente lavoro**

Dopo aver illustrato nel capitolo precedente le ragioni che hanno portato a percorrere questa ricerca, nel presente lavoro di tesi sarà condotta un'analisi sull'energia fotovoltaica e sugli impianti che la producono situati sul territorio nazionale italiano.

Inizialmente verranno fornite delle informazioni generali riguardanti il fotovoltaico. Prima soffermandosi sulle varie normative da rispettare per installare impianti fotovoltaici e poi dando uno sguardo ai molteplici incentivi accessibili a chi decide di insediare un sistema fotovoltaico. Dopodiché l'attenzione si sposterà sulle diverse tipologie di moduli fotovoltaici presenti sul mercato, sulle loro caratteristiche e sulla loro efficienza in termini di produzione energetica. Ancora verranno riportate le varie tipologie di installazioni fotovoltaiche utilizzate in base al luogo sul quale andranno montate o secondo la tecnologia utilizzata.

In seguito al lavoro di ricerca, è stata svolta un'analisi di un campione di impianti.

Da questa analisi sono emerse varie caratteristiche e sono stati raccolti diversi dati relativi a ogni impianto fotovoltaico. Tali dati sono serviti per capire quali tipi di impianti o installazioni siano più utilizzate in Italia e quali siano le superfici medie occupate da ogni diversa tipologia.

In aggiunta a questo, sono stati verificati anche gli incentivi percepiti da chi ha installato fotovoltaico mettendoli in relazione alla superficie e alla potenza di ogni relativo impianto. A seguire, diversi risultati sono stati confrontati con un simile lavoro di tesi del 2017 e con dei rapporti di diversi istituti ed enti statali per stabilire se vi siano stati cambiamenti sulle medie del panorama nazionale.



## Capitolo 2

# IMPIANTI FOTOVOLTAICI E AGRIVOLTAICO

### 2.1 Tendenze attuali

Il fotovoltaico in agricoltura è ormai molto diffuso. Sono sempre più le aziende agricole che installano impianti fotovoltaici su terreni agricoli o sui tetti delle strutture aziendali, siano esse serre o edifici.

In termini di nuove installazioni la tendenza attuale è quella di creare nuovi impianti agrivoltaici e cioè impianti fotovoltaici non convenzionali o tradizionali.

L'agrivoltaico, o agrovoltaico, è un sistema che coniuga la produzione agricola con il fotovoltaico, ospitando i due termini sul medesimo terreno o superficie. Nella fattispecie l'agrivoltaico tende a migliorare l'efficienza di una struttura o di un appezzamento dedicati all'agricoltura con l'introduzione di un impianto fotovoltaico con lo scopo di massimizzare l'uso di quella porzione di suolo o spazio.

Da questa interessante "simbiosi" tra agricoltura e fotovoltaico scaturisce un significativo vantaggio ovvero l'aumento della produttività di un terreno. Infatti, questo surplus creato dalla produzione di energia genera un incremento della produttività che varia dal 35% al 73%, a seconda del sistema adottato. (Dupraz et al., 2011).

La propensione verso questa forma innovativa di fotovoltaico è motivata anche da altri vantaggi e pregi. Primo fra questi è il mantenimento della fertilità del terreno, in quanto pannelli sopraelevati garantiscono la protezione del manto erboso e della massa vegetale. Altro punto forte è la riduzione della necessità di irrigazione delle colture che può arrivare fino al 20% (Trommsdorff et al., 2020). Al contrario invece è possibile utilizzare i moduli fotovoltaici per raccogliere acqua piovana che può essere impiegata essa stessa per irrigare. Inoltre, si ha l'incremento di ombreggiamento, utile per certi tipi di colture o cultivar, e la protezione da agenti atmosferici violenti come il vento o forti precipitazioni anche grandigene.

Infine esiste anche un beneficio per i pannelli in quanto questi guadagnano in efficienza grazie a un migliore raffreddamento convettivo dovuto al maggiore spazio interposto tra le unità fotovoltaiche e il terreno.

Il grande svantaggio dell'agrivoltaico, invece, è il costo. Tali impianti, appunto, sono strutture molto costose da installare, circa il 40% in più di un impianto a terra. (Bartolini R. 2021). Tuttavia, gli incentivi, statali ed europei, non mancano e saranno certamente potenziati ulteriormente.



Figura 2.1: A sinistra impianto agrivoltaico nei pressi di Cesena (FC). ARPAE Emilia – Romagna 2022. A destra impianto fotovoltaico tradizionale a terra a Troia (FG). (Edison.it)

## 2.2 Distribuzione e Aspetti normativi

Gli impianti fotovoltaici in Italia stanno prendendo sempre più piede grazie anche a vari incentivi che, dal Protocollo di Kyoto del 1997 in poi, sono stati emanati da stato e Unione Europea sotto forma di sovvenzioni o come premi sulla vendita dell'energia prodotta dai sistemi fotovoltaici.

Il primo impianto fotovoltaico italiano venne installato nel 1979 al Passo della Mandriola, tra gli Appennini del Cesenate: la potenza era di circa 1 kW. Da quel 1979 i costi degli impianti e le normative sono radicalmente cambiati tanto che oggi l'Italia vanta più di un milione di impianti fotovoltaici, erano 1.016.000 a fine 2021, per una potenza totale di 22,6 GW.

Su questi numeri la maggior parte degli impianti fotovoltaici installati in Italia, il 97,6% del parco impianti complessivo, per una potenza pari al 38,5% di quella totale, sono collegati alla rete in bassa tensione. Il 54,3% della potenza installata complessiva sono impianti connessi alla media tensione, mentre solo un esiguo numero di impianti è collegato alla rete di alta tensione, per una potenza pari a circa il 7,2% della potenza totale.

Per quanto riguarda la distribuzione degli impianti e la relativa potenza sul territorio nazionale esiste, invece, una diversificazione abbastanza ampia tra le regioni.

A fine 2021, le sole regioni di Lombardia e Veneto concentravano il 30,4% degli impianti installati sul territorio nazionale, rispettivamente con 160.757 e 147.687 impianti.

La regione che possiede il primato nazionale in termini di potenza installata è la Puglia, con quasi 3 GW, pari al 13% del totale nazionale. Sempre nella stessa regione si osserva anche la dimensione media più elevata degli impianti (intorno ai 50 kW).

Le regioni con minore presenza di impianti, invece, sono Basilicata, Molise, Valle D'Aosta e la Provincia Autonoma di Bolzano. (Rapporto statistico sul solare fotovoltaico, GSE 2021).

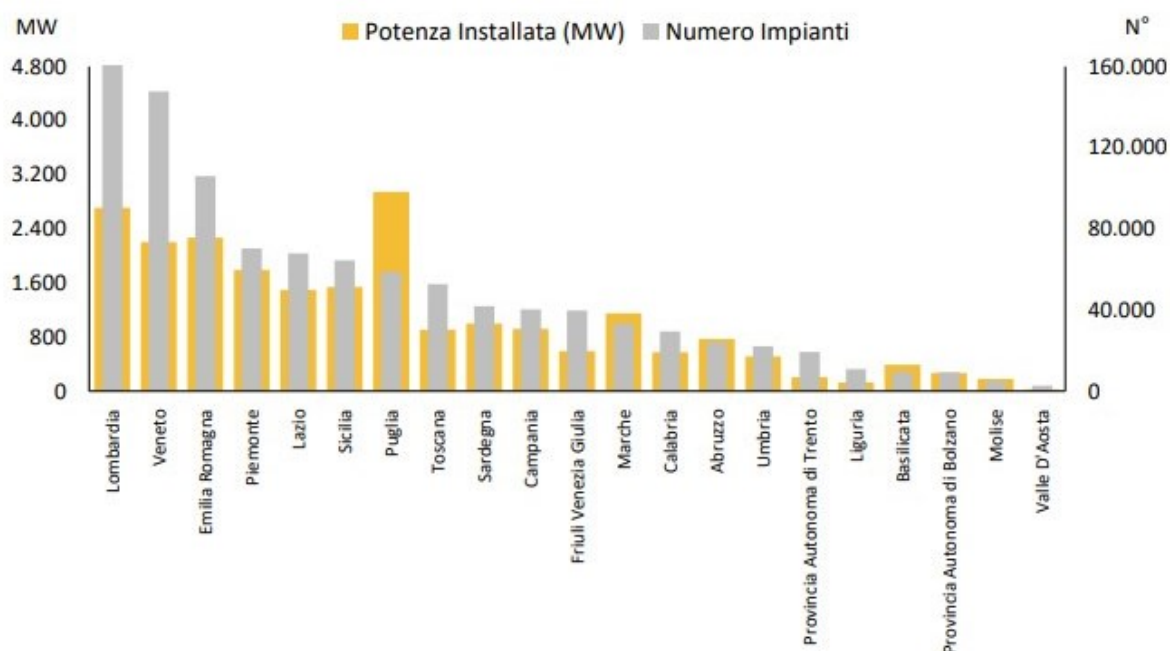


Figura 2.2: Distribuzione regionale della numerosità di impianti e della potenza relativa a fine 2021 per regioni italiane. (GSE 2021)

## NORMATIVE

Sono diverse le norme alle quali fare riferimento per il fotovoltaico.

La prima attenzione va ai vari decreti legge in materia e in particolare ai più recenti. Novità ultima è il decreto MiTE (Ministero della Transizione Ecologica) 2 agosto 2022 n.297, che riporta la “Estensione del modello unico per la realizzazione, la connessione e l’esercizio di impianti solari fotovoltaici di potenza fino a 200 kW”. Questo decreto, entrato in vigore il 7 settembre 2022, riporta il nuovo modello unico, che sostituisce tutte le procedure e le autorizzazioni necessarie all’installazione dei moduli sugli edifici. Tale modello vale per la realizzazione, la modifica e la connessione degli impianti fotovoltaici su edifici o su strutture che siano caratterizzati da:

- Potenza nominale non superiore a 200 kW.

- La richiesta di ritiro dell'energia elettrica da parte del Gse (Gestore dei servizi energetici).
- Ubicazione presso clienti finali già dotati di punti di prelievo attivi.
- Ubicazione non su edifici soggetti a vincolo paesaggistico.

Il crescente numero di impianti fotovoltaici italiani è reale anche grazie a una sorta di liberalizzazione sulle installazioni, infatti, con il precedente decreto legge n. 17/2022, pubblicato in Gazzetta Ufficiale il 1 marzo 2022, e nello specifico con l'articolo 9, viene interamente sostituita la previgente versione del comma 5 art. 7-bis D.Lgs. 28/2011. Di fatto l'obiettivo è quello di semplificare ulteriormente l'installazione dei pannelli solari fotovoltaici collocati su costruzioni e edifici esistenti.

Le novità introdotte sono:

- L'eliminazione di un limite quantitativo in termini di potenza massima o di superficie.
- L'esclusione di acquisizione di permessi o autorizzazioni quali vincoli idrogeologici o permessi di enti parco.
- L'inclusione fra gli interventi di manutenzione ordinaria e quindi nell'attività edilizia libera.

Le normative sopra riportate sono valide solamente per installazioni su edifici o strutture preesistenti e non sono quindi applicabili a impianti fotovoltaici su terra. Il motivo di queste eccezioni è da ricercarsi nella continua contrazione della SAU (superficie agricola utilizzabile) e della SAT (superficie agricola totale).

In successione ai decreti legge emanati e quindi alle leggi vere e proprie vanno valutati i criteri di allacciamento alle linee di trasmissione e distribuzione: per linee ad altissima e ad alta tensione ci si riferisce ai criteri di Terna s.p.a. mentre per allacciamenti di bassa e media tensione si fa riferimento ai criteri di uno dei circa 140 distributori italiani. Tra i maggiori compaiono: e-distribuzione (ex Enel Distribuzione), Acea Distribuzione, A2A Reti Elettriche.

Dopodiché è necessario prestare attenzione agli iter procedurali della normativa vigente. Questi sono 5: l'Autorizzazione Unica (AU), la Procedura Abilitativa Semplificata (PAS), la Comunicazione al Comune, la Dichiarazione di Inizio Lavori Asseverata e l'Attività in edilizia libera.

FORNITORE / TECNOLOGIA	MODALITA' OPERATIVE / DI INSTALLAZIONE	POTENZA(kW)	PROCEDURA PREVISTA
Fotovoltaico	Impianti aderenti o integrati nei tetti degli edifici. Gli impianti devono avere la stessa inclinazione e lo stesso orientamento della falda ed i loro componenti non devono modificare la sagoma degli edifici stessi. Inoltre, la superficie dell'impianto non deve essere superiore a quella del tetto sul quale viene realizzato e l'impianto non deve ricadere nel campo di applicazione del Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio (D.Lgs. 42/04 e s.m.i.)	Qualsiasi	COMUNICAZIONE
	Impianti compatibili con il regime di Scambio sul Posto (SSP) non situati nei centri storici (zona A del P.R.G. comunale) realizzati su superfici esistenti o loro pertinenze	**	COMUNICAZIONE
	Impianti con moduli sugli edifici con superficie complessiva non superiore a quella del tetto non ricadenti nei casi precedenti	Qualsiasi	PAS
	Impianti al di sotto della soglia ex tab. A D.Lgs. 387/03 non ricadenti nei casi precedenti	0 - 20	PAS

Figura 2.3: Quadro generale per l'applicazione della Comunicazione al Comune e della PAS.

In aggiunta è opportuno anche fare riferimento alle norme CEI (Comitato Elettrotecnico Italiano) in materia, perché di fatto gli enti governativi si affidano alle norme CEI e alla valutazione della loro conformità per garantire che i sistemi e i prodotti siano sicuri e funzionino come previsto. Per quanto riguarda il fotovoltaico i comitati tecnici principali di riferimento sono il CT82, “Sistemi di conversione fotovoltaica dell’energia solare”, che ha lo scopo di preparare norme riguardanti la costruzione e la sicurezza di sistemi e componenti per la produzione di energia elettrica da moduli fotovoltaici, e il CEI CT316 che si occupa di “Connessione alle reti elettriche di distribuzione in alta, media e bassa tensione”. (fonte: federazione ANIE, Confindustria).

Le principali norme CEI applicate al fotovoltaico sono:

- CEI EN 61215: Moduli fotovoltaici in silicio cristallino per applicazioni terrestri. Qualifica del progetto e omologazione del tipo.
- CEI EN 61646: Moduli fotovoltaici a film sottile per usi terrestri. Qualificazione del progetto e approvazione di tipo.
- CEI EN 61730-1: Qualificazione per la sicurezza dei moduli fotovoltaici. Prescrizioni per la sicurezza.
- CEI EN 61730-2: Qualificazione per la sicurezza dei moduli fotovoltaici. Prescrizioni per le prove.
- CEI EN 62108: Moduli e sistemi fotovoltaici a concentrazione. Qualifica del progetto e approvazione di tipo.

- CEI 0-16: “Regola tecnica di riferimento per la connessione di utenti attivi e passivi alle reti AT e MT delle imprese distributrici di energia elettrica”.
- CEI 0-21: “Regola tecnica di riferimento per la connessione di utenti attivi e passivi alle reti BT delle imprese distributrici di energia elettrica”.

## INCENTIVI

Gli incentivi relativi al fotovoltaico in Italia sono diversi e applicabili a seconda delle varie situazioni.

Per quanto riguarda i privati gli incentivi nei quali è possibile rientrare sono essenzialmente:

- Superbonus 110%  
Il Superbonus 110%, introdotto nel 2020, è un’agevolazione che garantisce una detrazione fiscale del 110% in caso di interventi per riqualificare un immobile dal punto di vista energetico. Questo incentivo si compone di due fasce, quella per le abitazioni unifamiliari che scadrà il 31 dicembre 2022 e quella per edifici composti da più unità che resterà valida per tutto il 2023.
- Bonus ristrutturazione del 50%  
Tale agevolazione da possibilità di usufruire di una detrazione fiscale del 50% sul totale dei lavori. Questo incentivo per impianti fotovoltaici è disponibile fino al 31 dicembre 2024 ed è suddiviso in quote annuali per 10 anni, per un tetto massimo di spesa di € 96.000.
- IVA agevolata al 10%  
Questa agevolazione consente a tutte le opere che portano a un risparmio energetico di passare dall’imposta sul valore aggiunto del 22% al 10% per le abitazioni già esistenti. Invece, per le nuove case, l’IVA è al 4%.
- Scambio Sul Posto  
Questo è un servizio che consente di vendere al GSE l’energia non utilizzata che viene pagata tramite acconto o conguaglio semestrale o annuale.

Per le aziende che intendono installare impianti fotovoltaici, invece, gli incentivi attuali sono:

- Credito d’imposta  
Questo incentivo per impianti fotovoltaici valido fino al 31 dicembre 2022, oppure al 30 giugno 2023 a fronte del versamento del 20% della spesa comporta il credito

al 6% per l'adozione di impianti fotovoltaici. Per potervi accedere, però, la spesa non deve superare i 2 milioni di euro.

- Reverse charge

Con reverse charge si intende il regime di inversione contabile ovvero un meccanismo per cui è possibile richiedere l'esenzione dal pagamento immediato dell'IVA su pannelli fotovoltaici su edifici e a terra. Sarà infatti il fornitore a farsi carico dell'IVA.

- Nuova Sabatini

Tramite questa agevolazione viene concesso un credito per l'installazione di pannelli fotovoltaici. Per rientrare in questo incentivo la spesa deve rientrare tra i 20.000 e i 4 milioni di euro.

- Decreto FER1

il Decreto FER1 è un incentivo per impianti fotovoltaici indiretto, che prevede un compenso per tutte le imprese che decidono di sostituire le coperture dei propri edifici in eternit e in amianto con dei pannelli fotovoltaici. Per rientrare in questo decreto bisogna installare impianti con potenza da 20 kW ai 1 MW.

- Scambio Sul Posto

Valido anche per le imprese.

Esistono però anche specifici incentivi per le aziende agricole. Il più importante al momento è stato pubblicato in Gazzetta nel DM 25 marzo 2022 del Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali contenente agevolazioni in materia di installazione di impianti fotovoltaici da installare su edifici agricoli provenienti dall'Investimento PNRR "Parco Agrisolare" compreso nella Componente "Economia circolare e agricoltura sostenibile", Missione "Rivoluzione verde e transizione ecologica" del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza. (MiPAAF, comunicato stampa 23-08-2022). Come stabilito dal PNRR questo decreto gode di 1,5 miliardi di euro per la realizzazione di impianti fotovoltaici su edifici a uso produttivo nei settori agricolo, zootecnico e agroindustriale. In generale, però, la spesa massima ammissibile è pari a 750.000 € per singolo progetto nel limite massimo di 1.000.000 € per singolo soggetto beneficiario. Nello specifico viene finanziato l'acquisto e la posa in opera di pannelli fotovoltaici con potenza di picco non inferiore a 6 kWp e non superiore a 500 kWp.

## 2.3 Tipologie di installazioni e di pannelli

Ad oggi le tecnologie utilizzate per trasformare l'energia solare in energia elettrica sono molteplici o per lo meno sulla base della stessa tecnologia esistono diverse sfumature di impianti.

Il funzionamento dei moduli fotovoltaici è infatti, di base, uguale per tutti quelli sul mercato. Questa tecnologia sfrutta l'effetto fotovoltaico che è basato sulle proprietà di alcuni materiali semiconduttori, come il silicio (Si), l'arsenurio di gallio (GaAs) e il solfato di rame (Cu<sub>2</sub>S), in grado di convertire l'energia della radiazione solare in energia elettrica. Tale processo avviene per interezza all'interno di un'unità di base chiamata cella fotovoltaica. I moduli finiti sono quindi l'insieme di più celle unite e collegate in serie tra di loro. In una cella fotovoltaica, i fotoni della luce solare incidente spezzano i legami degli elettroni del semiconduttore, consentendo così agli elettroni di muoversi liberamente nel semiconduttore. Le posizioni lasciate libere dagli elettroni agiscono come cariche positive e prendono il nome di "lacune". Le celle fotovoltaiche consistono generalmente in due regioni sottili, una sopra all'altra, ognuna dotata di impurità aggiunte appositamente chiamate droganti. Il risultato è che una regione (n) ha un eccesso di elettroni negativi, mentre l'altra regione (p) ha un eccesso di lacune positive. Questa struttura a due regioni, che prende il nome di giunzione p-n, produce un campo elettrico. Quando i fotoni creano elettroni liberi e lacune in prossimità della giunzione p-n, il campo elettrico li fa muovere in direzioni opposte. Tali elettroni si muovono verso il lato n e le lacune si muovono verso il lato p. Viene quindi a generarsi una tensione fra le regioni p e n, con il lato p positivo e il lato n negativo. Questa tensione o forza elettro-motrice può quindi essere prelevata e utilizzata collegandosi ai due poli. (Università di Bologna, 2006).

Nel campo del fotovoltaico sono varie le tipologie di installazioni e di pannelli utilizzati.

### INSTALLAZIONI

Per quanto riguarda le tipologie di installazioni, quindi nello specifico i luoghi dove vengono fissati gli impianti, le varianti più comuni sono quattro:

- Su tetti: questa è la soluzione di più utilizzata in quanto consente di apportare migliorie in termini energetici senza intaccare le superfici calpestabili, sottraendo suolo utile.



- Su serre: largamente impiegato in agricoltura perché l'energia elettrica prodotta può essere prontamente utilizzata per alimentare sistemi di ventilazione, riscaldamento, illuminazione e di idroponica all'interno delle serre stesse.
- A terra: questa è la tipologia di installazioni che raggruppa i parchi solari più produttivi e più estesi.
- Su strutture rialzate da terra (agrivoltaico).



Figura 2.4: A sinistra un impianto fotovoltaico su tetto; a destra delle serre fotovoltaiche viste dall'alto.

Gli impianti inoltre possono essere installati secondo diverse modalità:

- Grid Connected: l'impianto è connesso alla rete elettrica nazionale.
- Stand Alone: l'impianto non è connesso alla rete elettrica nazionale e l'energia prodotta dal campo fotovoltaico viene immagazzinata in batterie di accumulo;
- Storage: è un impianto "ibrido" che coniuga in un impianto le altre due tipologie installative. È un innovativo sistema in cui l'energia prodotta dal campo fotovoltaico viene prima immagazzinata nelle batterie d'accumulo e, raggiunta la capienza, riversa l'energia residua sulla rete elettrica nazionale.

Gli impianti Grid Connected sono gli impianti più frequenti. Essi si caratterizzano dal collegamento alla rete elettrica nazionale. Proprio per il fatto di essere connessi in rete tutta l'energia prodotta e non utilizzata direttamente sul posto viene immessa nel circuito nazionale. Di notte o comunque in quei momenti nei quali i moduli non riescono a fornire l'energia richiesta, viene utilizzata l'energia entrante dalla rete mediata da un comune gestore di linea.

I sistemi Stand Alone o isolati sono pensati per luoghi o ambienti lontani da cittadine o insediamenti, infatti questi impianti sono completamente isolati dalla rete elettrica. Per garantire la presenza di energia sia con la luce solare sia durante la notte o durante periodi di brutto tempo, nei quali i moduli non possono esprimere tutta la loro efficienza,

vengono utilizzati degli accumulatori composti da batterie. Solitamente vengono utilizzate batterie secondo sistemi 24 V o 48 V che sono trasformati in 220 V tramite uno o più inverter ma sono in uso anche batterie ad alte tensioni (400 V). Fino a qualche anno fa erano comunemente usati e commercializzati sistemi di accumulo formati da batterie al piombo acido con elettrolita liquido o le più durature e performanti batterie al piombo acido – gel. Il grosso limite di questa tecnologia è che possono essere scaricate solo fino al 50 – 60%. Devono infatti mantenere almeno metà della loro capacità di accumulo nominale e, inoltre, sono molto ingombranti e hanno una breve vita in termini di cicli di ricarica (poco oltre i mille cicli). La tendenza che si è affermata sul mercato negli ultimi cinque anni è invece quella di utilizzare batterie agli ioni di litio, che, oltre a occupare meno spazio, risultano essere molto più durature (circa 2500 – 3000 cicli). Inoltre, con questa tecnologia le batterie possono essere scaricate quasi del tutto oltrepassando anche il 90%. Unico svantaggio della tecnologia ioni di litio è il prezzo; di fatto costa quasi il doppio degli accumulatori al piombo.

Meno costose di quest'ultime esistono batterie al nichel – cadmio che tuttavia, benché posseggano simili caratteristiche agli ioni di litio in termini di vita e possano essere scaricate del tutto, hanno un alto tasso di auto scarica. Perdono cioè carica anche se non utilizzate molto velocemente.



Figura 2.5: Qui sopra due sistemi di accumulo recenti. A sinistra LG Chem con tecnologia ad alta tensione con una capacità che va dai 7 kWh ai 10 kWh. A destra Powerwall 2 di Tesla che vanta una capacità di ben 13,5 kWh.

## PANNELLI

Sono molteplici anche le varianti di pannelli o moduli installabili. Queste varianti si differenziano in particolare per la costruzione e la diversa messa in serie delle celle fotovoltaiche. Le tipologie sono:

- Pannelli monocristallini
- Pannelli policristallini
- Pannelli in film sottile
- Pannelli in silicio amorfo

I pannelli monocristallini sono moduli costruiti con celle formate da silicio ricavato direttamente in natura e appositamente tagliato. Questo tipo di pannelli raggiunge nei modelli più recenti efficienze di circa il 23% - 24%. I pannelli policristallini invece sono creati usando scarti della lavorazione dei monocristallini, per questo hanno un costo leggermente inferiore ma possiedono comunque efficienze sull'ordine del 20%. Degno di nota è che il riutilizzo delle celle multicristalline può ridurre l'energia di produzione di altre celle oltre il 50%. Pannelli in film sottile sono costruiti unendo diversi strati molto sottili di silicio. Il loro costo è relativamente basso ma anche l'efficienza si abbassa assestandosi intorno al 19%. I moduli in silicio amorfo non hanno prezzi molto elevati ma sono scarsamente diffusi sul mercato e necessitano di grandi estensioni data la loro bassa efficienza che può variare dal 15% al 20%.

Sebbene la maggior parte dei pannelli commerciali abbia efficienze dal 15% al 20%, i ricercatori hanno sviluppato celle fotovoltaiche con efficienze prossime al 50%. È il caso di celle fotovoltaiche Multi Junction Gallium arsenide (GaAs). Questi moduli fotovoltaici in fase di sviluppo presentano efficienze che si aggirano sul 47%. (Centro per i Sistemi Sostenibili, Università del Michigan. 2021.)

Altre tecnologie innovative sono perovskiti, moduli fotovoltaici bifacciali e tecnologia FV a concentrazione (CPV). Le celle solari in perovskite hanno un'elevata efficienza di conversione, che va oltre il 25%, e un basso costo di produzione. I moduli bifacciali, invece, sono in grado di raccogliere la luce su entrambi i lati delle celle fotovoltaiche.

Interessanti sono i pannelli a concentrazione che utilizzano specchi per concentrare l'energia solare su celle fotovoltaiche. Questa tecnologia permette di arrivare a efficienze che oltrepassano anche il 30%. (RSE, 2016).

I pannelli possono inoltre essere classificati secondo un'altra caratteristica.

Esistono infatti pannelli fissi e pannelli a inseguimento. La sostanziale differenza sta nel fatto che i moduli a inseguimento riescono a seguire il sole durante il suo spostamento

nell'arco della giornata e quindi riescono a mantenere sempre la loro superficie rivolta al sole con un angolo di incisione che permette la miglior efficienza. Tale movimento è possibile perché questi moduli sono montati su supporti mobili, azionati da un motore controllato da una centralina avente sensori per la luce solare. I pannelli fissi, viceversa, restano fermi e quindi la loro efficienza varia di molto a seconda dell'ora del giorno nella quale viene misurata. Attraverso l'uso di questi inseguitori è possibile raggiungere un aumento di produzione elettrica del 35%-40% in più rispetto ai normali pannelli fissi.

Esistono diversi tipi di pannelli a inseguimento. Si distinguono sistemi monoassiali e sistemi biassiali. I sistemi monoassiali comprendono:

- Inseguitori di inclinazione: ruotano intorno all'angolo di inclinazione e inseguono l'altezza del sole nel cielo.
- Inseguitori di rollio: inseguono il sole durante il suo percorso nel cielo spostandosi sull'asse Nord-Sud.
- Inseguitori di azimut: ruotano intorno ad un asse verticale perpendicolare al terreno, l'azimut appunto.
- Inseguitori ad asse polare: inseguono le radiazioni solari, ruotando intorno ad un asse parallelo all'asse di rotazione terrestre.

I sistemi biassiali invece sono:

- Inseguitori di Azimut-elevazione: il loro funzionamento intercetta le radiazioni, consentendo ai pannelli di orientarsi in maniera perfettamente perpendicolare rispetto ai raggi del sole durante tutta la giornata.
- Inseguitori tilt-rollio.

## Capitolo 3

# DESCRIZIONE DEL LAVORO DI TESI

### 3.1 Descrizione dell'analisi e dei dati utilizzati

In questo lavoro di tesi, sono stati raccolti ed elaborati dei dati riferiti a impianti fotovoltaici presenti sul territorio nazionale italiano.

La raccolta dati è stata condotta utilizzando un servizio online chiamato "Atlaimpanti" fornito dal GSE (Gestore Servizi Energetici). "Atlaimpanti" è un sistema informativo geografico che dal 2017 raccoglie i principali dati e le caratteristiche degli impianti di produzione di energia elettrica e termica alimentati da fonti rinnovabili presenti in Italia. Il database comprende anche gli impianti attualmente incentivati dal GSE, o che ne hanno fatto richiesta. Grazie a diversi "tools" è possibile discernere il totale degli impianti presenti secondo fonte di alimentazione, tecnologia e regime commerciale. Inoltre, è possibile ricavare da ogni singolo impianto i dati di maggior interesse come l'ubicazione e la potenza nominale.

Utilizzando "Atlaimpanti" quindi sono stati estratti 100 impianti fotovoltaici di potenza nominale uguale o superiore a 20 kW e i relativi dati in modo puramente casuale, prendendone dunque da tutto il territorio nazionale.

Una volta raccolta la lista di impianti, è stato utilizzato Google Earth Pro, un interessante programma di Google che tramite immagini aggiornate consente di visionare la superficie terrestre in quasi totale interezza e da più altezze e prospettive. Con questo programma sono quindi stati individuati gli impianti scelti tramite l'ubicazione fornita da "Atlaimpanti". Una volta trovato l'impianto di interesse, sono state effettuate diverse azioni per poter così attribuire ulteriori caratteristiche all'impianto analizzato.

Come prima azione sono state individuate e riportate le coordinate precise secondo latitudine e longitudine del sito di ubicazione. Anche queste fornite da Google Earth Pro. Inoltre, sempre con Google Earth Pro sono visualizzabili le immagini del luogo dell'impianto a ritroso negli anni. Grazie a questo strumento è stato quindi possibile capire cosa ci fosse nel luogo dove a oggi sorge l'impianto fotovoltaico: se terreno nudo, se

campi o edifici, e quali sono stati i cambiamenti riportati in quell'area: nuove strade, nuovi edifici o serre.

Successivamente, sempre utilizzando uno specifico strumento di Google Earth Pro, sono stati calcolati i  $m^2$  che occupa la superficie dell'impianto includendo anche la superficie occupata da eventuali nuove infrastrutture quali edifici, serre o strade sorte in funzione dell'impianto analizzato.

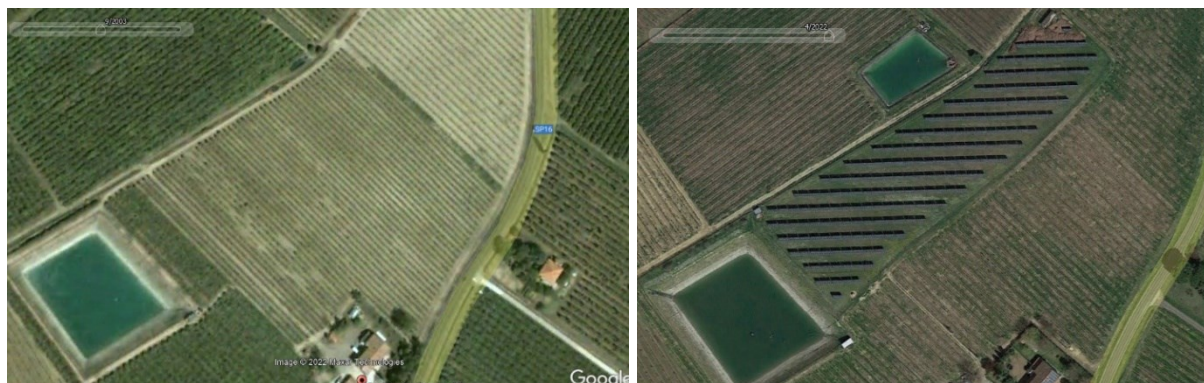


Figura 3.1: l'immagine di destra raffigura un impianto fotovoltaico di 499,38 kW nominali su terreno in Via Modigliana, 46, Faenza, RA. L'immagine di sinistra, invece, rappresenta lo stesso appezzamento di terra fotografato da satellite nel 2003. È evidente come prima che sorgesse l'impianto il terreno fosse adibito a uso agricolo.

Dopodiché sono stati classificati gli impianti in base alla posizione sulla quale sorgono, ovvero valutando se i moduli fotovoltaici sono stati montati a terra oppure su tetti o coperture di edifici.

Ove possibile e quindi per soli 20 impianti su 100 è stato ricercato anche l'investimento con il quale lo stato o la regione hanno sovvenzionato l'installazione dell'impianto analizzato.

Con questa base di dati sono stati successivamente effettuati degli studi, che verranno sviluppati nel seguente paragrafo, volti a capire le correlazioni statistiche tra i dati stessi e le tendenze nazionali sugli impianti fotovoltaici.

Le principali unità di misura utilizzate sono:

- Chilowatt (kW): utilizzata per la misura di potenza nominale, chiamata anche potenza di picco, e successivamente per la relativa Potenza Effettiva dell'impianto.
- Metro Quadrato ( $m^2$ ), utilizzata per la misura della superficie occupata da ciascun impianto.

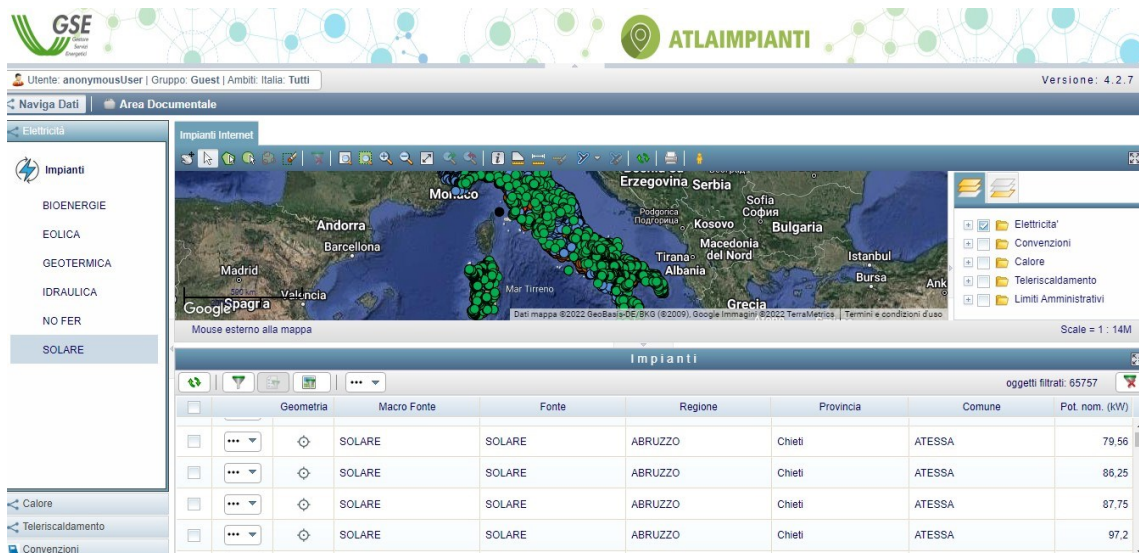


Figura 3.2: Schermata di “Atlaimpianti” con diversi impianti fotovoltaici visibili sia in mappa sia in lista.

### 3.2 Analisi dei risultati

Per procedere con l’analisi di questi dati, va ricordato quanto segue:

In statistica, nell’analizzare dati e nel fare previsioni sugli andamenti è spesso utilizzata la regressione lineare. Quando si costruisce un modello di regressione lineare, spesso è importante capire quanto è forte la sua capacità predittiva. Cioè quanto le variabili indipendenti riescono a predire bene i valori della variabile dipendente. Per stabilirlo si utilizzano una serie di misure, denominate “indici della bontà di adattamento”. Queste misure valutano quanta differenza c’è tra i valori osservati nel campione e i valori che il modello ha stimato. Piccole differenze tra i valori attesi e quelli osservati indicano che il modello si adatta bene ai dati. Al contrario, grandi differenze tra i valori attesi e quelli osservati indicano che il modello non spiega bene la variabilità presente nei dati.

Due degli indici maggiormente utilizzati sono il coefficiente o indice di determinazione ( $R^2$ ) e il coefficiente di Pearson ( $r$ ). Il coefficiente di Pearson è una misura usata nell’analisi della correlazione per quantificare la forza della relazione lineare tra due variabili.

Il coefficiente di Pearson  $r$  è un valore privo di unità di misura e compreso tra -1 e 1.

Più  $r$  si avvicina a zero, più la correlazione lineare è debole. Più  $r$  si avvicina a 1, più la correlazione lineare è forte e quindi esiste una grande dipendenza diretta fra variabili, il che è indice di un modello che descrive correttamente questa dipendenza.

Un valore  $r$  positivo è indice di una correlazione positiva, in cui i valori delle due variabili tendono ad aumentare in parallelo.

Un valore  $r$  negativo è indice di una correlazione negativa, in cui il valore di una variabile tende ad aumentare quando l'altra diminuisce.

### Solare fotovoltaico e investimenti della regione

Su 20 impianti dei 100 totali analizzati è stato possibile identificare l'investimento con il quale la regione ha sovvenzionato la nuova installazione fotovoltaica.

Sono stati quindi confrontati reciprocamente i vari investimenti della regione con la superficie occupata in metri quadrati e con la potenza nominale o di picco generata dall'impianto.

Queste analisi hanno riportato delle particolarità:

per quanto riguarda gli investimenti in funzione della superficie degli impianti si è notato come gli investimenti della regione siano in media di 17,15 euro per ogni  $m^2$  anche se per i piccoli impianti si nota come la pendenza della retta che descrive l'andamento sarebbe più alta e quindi l'investimento medio per i piccoli impianti sarebbe più alto.

Inoltre, il modello descrive molto bene l'andamento degli investimenti perché il coefficiente di determinazione  $R^2$  è uguale a 0,82. Questo significa che il coefficiente di Pearson  $r$  è di 0,91 e quindi, essendo  $r$  molto prossimo a 1, il modello descrive correttamente la dipendenza fra le due variabili.

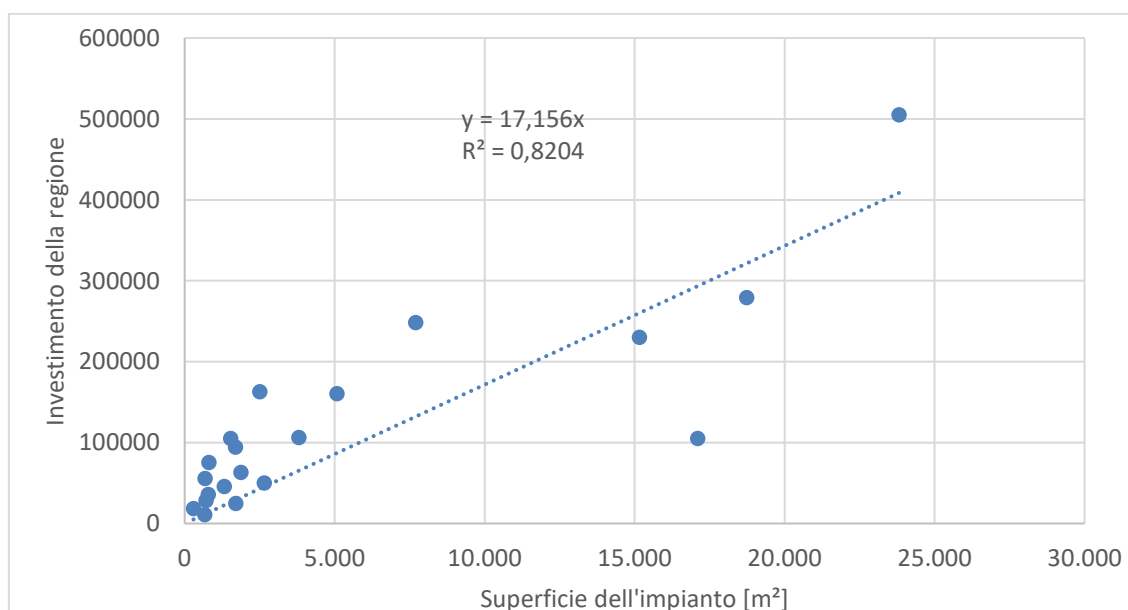


Figura 3.3: Grafico che relaziona la superficie dell'impianto, nell'asse x, all'investimento della regione, nell'asse y.



Per quanto riguarda, invece, gli investimenti della regione in funzione della potenza nominale degli impianti si è evidenziato come per ogni kW installato, in media, siano stati spesi dalle varie regioni italiane 299 euro.

Anche in questo caso il modello descrive bene l'andamento generale, infatti il coefficiente di determinazione  $R^2$  qui è di 0,79 e quindi il coefficiente di Pearson risulta essere di 0,89, valore dunque molto prossimo a 1.

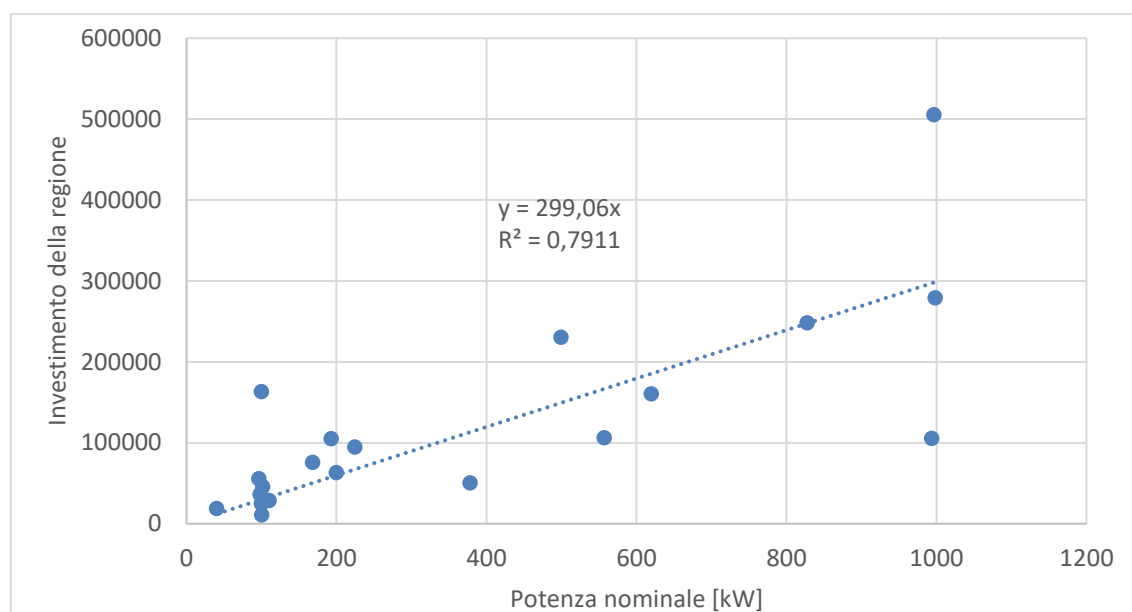


Figura 3.4: Grafico che relaziona la potenza nominale o di picco in kW degli impianti agli investimenti della regione.

### **Solare fotovoltaico: superficie e potenza**

Sulla base dei 100 impianti totali è stata poi studiata la potenza degli impianti in funzione della superficie coperta.

Si è notato come, lavorando con un modello lineare, la superficie media italiana per kW nominale installato sia di 14,3 m<sup>2</sup>. Questo valore è pertinente in quanto la superficie occupata dagli impianti fotovoltaici realizzati a terra, è considerata pari a circa 25 m<sup>2</sup>/kW. A differenza degli impianti su edifici per i quali tale occupazione è pari a 8-10 m<sup>2</sup>/kW, infatti, i pannelli dei parchi fotovoltaici sono posti sul terreno in file distanziate fra loro in modo da non ombreggiarsi reciprocamente. (A. Frascarelli, S. Ciliberti, 2011).

Il valore di 14,3 m<sup>2</sup> si trova quindi tra i due precedenti in quanto nei 100 impianti studiati ve ne sono sia a terra che su edifici.

Anche in questo caso si è evidenziato un  $R^2$  molto alto pari a 0,84 che determina un coefficiente di Pearson  $r$  pari a 0,92. Pure in questa relazione quindi si nota una dipendenza molto buona tra le variabili.

Distinguendo, invece, le installazioni a terra da quelle su tetto si nota come le due medie relative ai  $m^2$  per ogni kW nominale prodotto si differenzino. Per gli impianti su tetto la media scende a  $12,4 m^2/kW$ , mentre per il fotovoltaico sul terreno sale a  $16,9 m^2/kW$ .

Questi valori trovano un riscontro positivo anche con gli stessi di un precedente lavoro di tesi del 2017 nel quale era stato identificato come per ogni  $1000 m^2$  di superficie si sviluppasse in media  $46,4 kW$  su impianti a terra e  $115 kW$  in impianti su tetto. (E. Zigiotta, UniPD, 2017).

Infatti, il rapporto di  $1000 m^2$  e  $46,4 kW$  risulta essere  $21,55 m^2/kW$ , mentre il rapporto di  $1000 m^2$  e  $115 kW$  dà come risultato  $8,7 m^2/kW$ .

La differenza di resa in termini di kW per  $m^2$  è giustificata in quanto gli impianti fotovoltaici su tetto o su coperture sono pensati e costruiti per ottimizzare lo spazio date le restrizioni del caso. Mentre gli impianti su terreno, in genere, risultano essere meno efficienti sull'utilizzo del suolo, avendo al loro interno anche ampi spazi vuoti e cioè senza pannelli dediti alla manutenzione dei moduli, all'utilizzo come strade o all'impedire fenomeni di ombreggiamento che ne ridurrebbero la produzione.

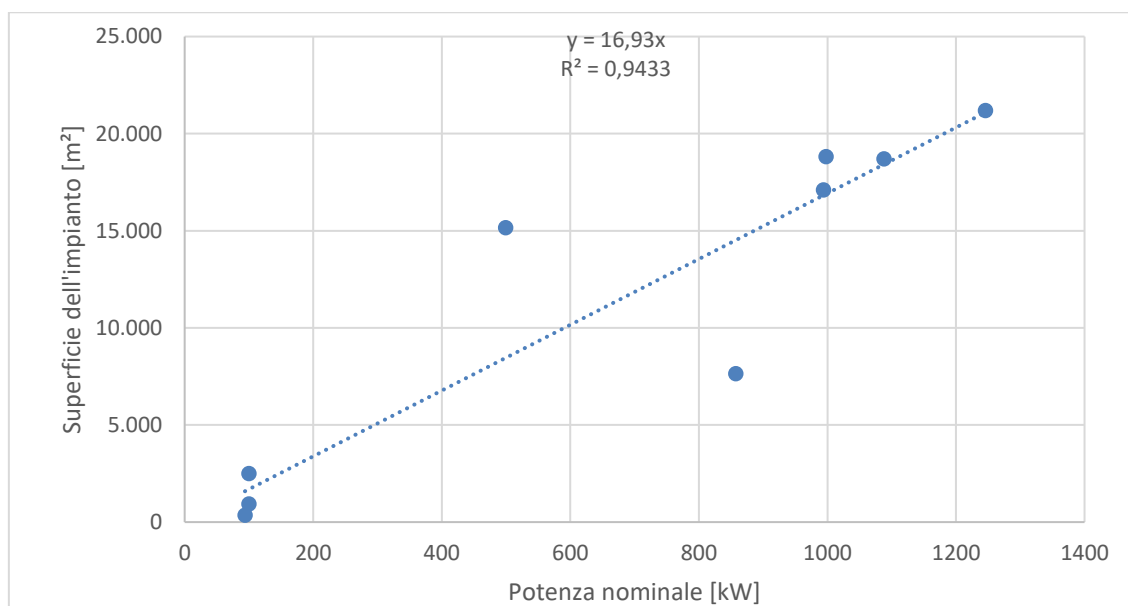


Figura 3.5: Grafico che relaziona la potenza nominale in kW dei soli impianti su terreno alla superficie occupata dagli impianti stessi.

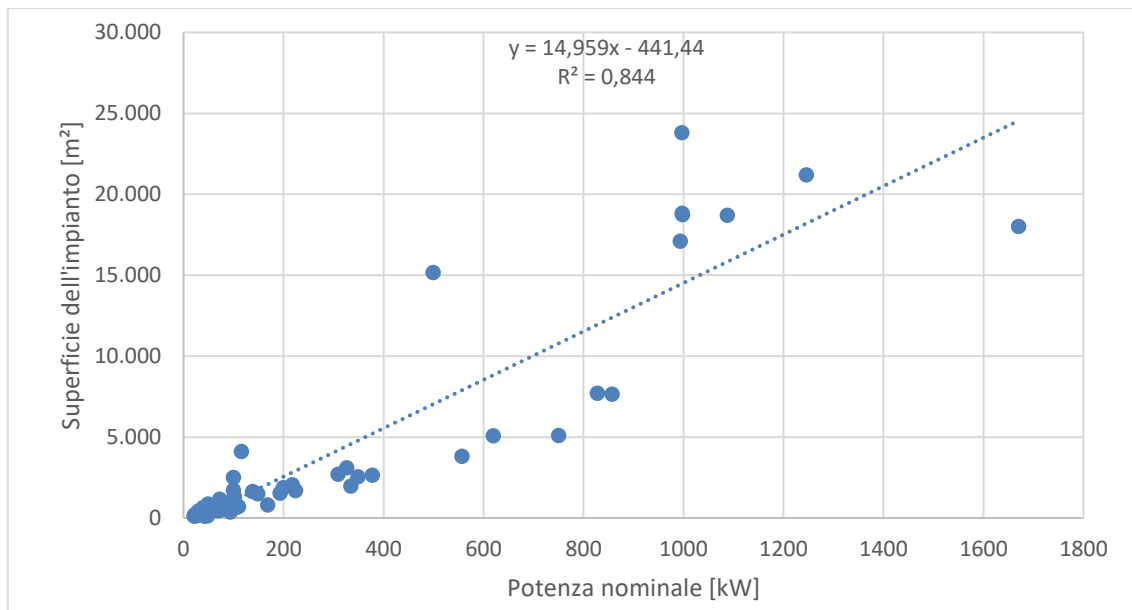


Figura 3.6: Grafico che relaziona la potenza nominale o di picco in kW degli impianti alla superficie occupata dagli impianti stessi. Da notare l'intercetta di -441,44 presente in questo modello.

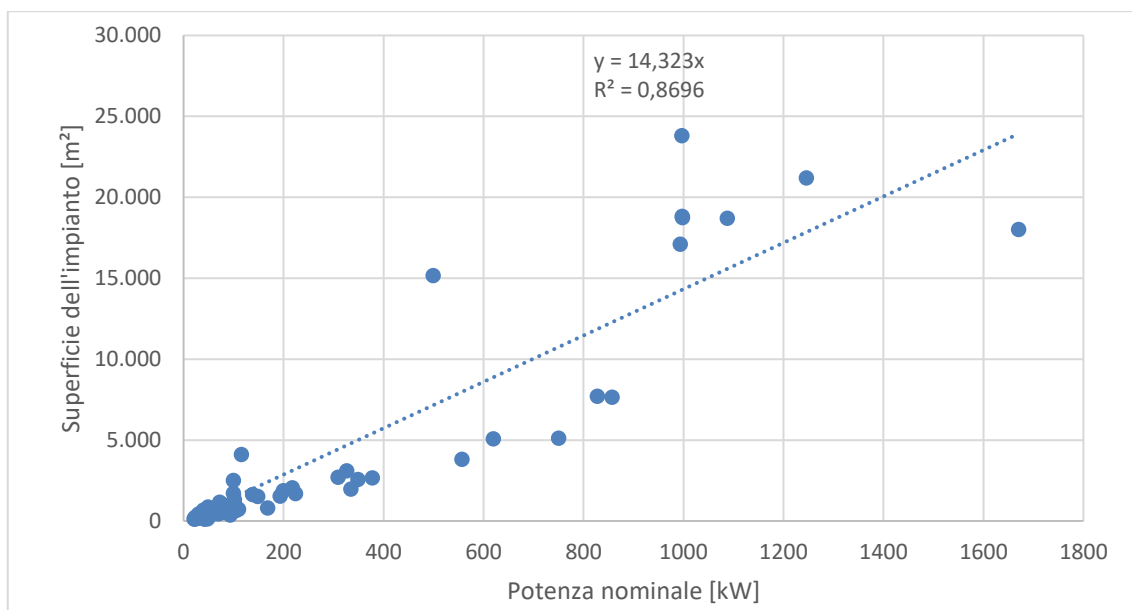


Figura 3.7: Grafico che relaziona la potenza nominale o di picco in kW degli impianti alla superficie occupata dagli impianti stessi. In questo modello l'intercetta è stata volontariamente resa pari a zero per semplificare la lettura dei dati.

### Luoghi di installazione

In questo lavoro di tesi si è analizzato anche il luogo sul quale i nuovi impianti sono stati installati ed è emersa una netta maggioranza degli impianti installati su tetti degli edifici.

Nello specifico gli impianti installati sui tetti e quindi la riqualificazione degli edifici stessi che hanno subito questa migrazione dominano il panorama nazionale con ben l'87% degli impianti fotovoltaici totali. Il fotovoltaico su terreno invece rappresenta circa il 10% del totale anche se è da tenere presente che di norma questi impianti siano, in termini di kW nominali prodotti, molto più grandi delle installazioni sui tetti o sulle coperture di edifici. Solo nel 3% dei casi i nuovi impianti sono stati realizzati su nuovi edifici o serre costruiti quindi contemporaneamente con la posa dell'impianto fotovoltaico.

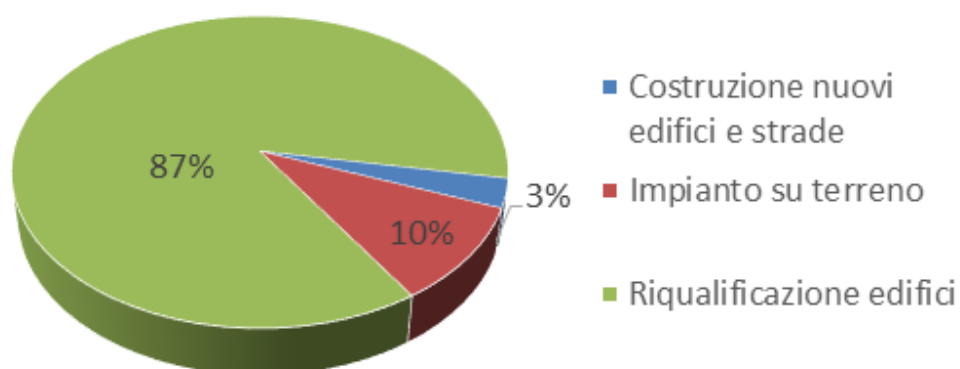


Figura 3.8: Grafico che identifica i luoghi di costruzione dei nuovi impianti fotovoltaici sotto forma di percentuale.

### **Strutture o superfici aggiunte**

Dall'indagine statistica condotta è emerso come in certi casi i nuovi impianti siano stati dotati di nuove superfici complementari a essi come nuove strade o nuovi edifici di piccole dimensioni. Questo si è verificato solo in 8 casi su 100, quindi solo l'8% del totale.

È interessante sottolineare che di questi impianti che hanno subito la costruzione di strade o costruzioni affini la totalità di installazioni sia di grandi dimensioni e su terreno.

Le superfici complementari aggiunte invece sono in tutti i casi di piccole dimensioni in relazione all'impianto.

### **Utilizzo delle superfici prima della costruzione degli impianti**

Un ulteriore ragionamento è stato condotto sull'utilizzo delle superfici, in merito alle installazioni su terreno, prima che sorgessero gli impianti fotovoltaici.

Si è notato come in un solo caso su 13, prima che venisse costruito l'impianto fotovoltaico, sulla superficie sorgesse un edificio. Mentre nei restanti 12 casi le superfici erano adibite a uso agricolo o erano di nudo terreno non lavorato.

# Capitolo 4

## CONCLUSIONI

È ormai certo che la nostra società è fortemente energivora e dipendente dall'energia in genere.

La politica interna italiana negli ultimi decenni ha puntato o ha "preferito" basarsi sulle forniture da parte di altri stati di combustibili fossili ed energia. Questa inclinazione verso "il comprare da altri" a discapito dell'autoproduzione ha provocato un progressivo processo di crescita della dipendenza energetica italiana da altri stati o nazioni. Tanto che al 2022 il 77% del fabbisogno energetico italiano è coperto dalle importazioni mentre solo il 23% è di produzione interna. (C. Montanini, La Repubblica, 15 marzo 2022)

Inoltre, gli avvenimenti di politica globale degli ultimi venti anni, dalle questioni sugli accordi italiani con il nord Africa, in particolare con la Libia, di approvvigionamento di combustibili fossili fino alle più recenti tensioni nell'est Europa tra Ucraina e Russia, hanno portato a un graduale aumento dei prezzi dei combustibili fossili. Secondo L'ISTAT (Istituto nazionale di statistica) a settembre 2022 l'energia elettrica ha avuto un aumento dal +135,9% al +136,7% a partire dal 2015.

È quindi auspicabile una politica interna che punti al rafforzamento della produzione di energia "made in Italy".

Per questo, tenendo conto inoltre delle problematiche relative alle emissioni di anidride carbonica e altri gas serra, le fonti di energia rinnovabile rappresentano una buona soluzione percorribile. Ruolo centrale tra queste fonti rinnovabili è coperto dal fotovoltaico.

In questo lavoro di tesi sono stati analizzati vari impianti fotovoltaici prendendone in esame, in modo casuale, un centinaio.

I vari impianti sono stati reperiti dalla banca dati del GSE (gestore servizi energetici) utilizzando un sistema informativo geografico chiamato Atlaimpanti.

Atlaimpanti permette infatti di individuare le varie installazioni che generano energia situate sul territorio nazionale tramite liste alfabetiche o tramite mappa satellitare.

Una volta scelto l'impianto si è quindi passati alla raccolta dati che ha previsto di trarre da ogni installazione la sua potenza nominale, l'ubicazione e in soli 20 casi le sovvenzioni ricevute per la realizzazione dell'opera stessa.

Successivamente, tramite l'utilizzo di Google Earth Pro, sono state identificate le coordinate geografiche dell'impianto in questione, ne è stata misurata l'area occupata e ne è stata verificata la tipologia oltre a cosa sorgeva in quell'area prima della sua creazione.

Tra i risultati più significativi va sottolineato che la quasi totalità degli impianti fotovoltaici italiani è situata su tetti o coperture, circa l'87%. Questo comporta anche un minimo impatto paesaggistico e soprattutto una ridotta utilizzazione della SAU (superficie agricola utilizzata) per quanto riguarda l'agricoltura.

Va specificato che l'occupazione dal fotovoltaico delle superfici agricole utilizzate non crea grande preoccupazione in quanto si stima che questa sia di circa l'1% (E. Zigiotta). Tuttavia, bisogna tener conto dell'evoluzione del fenomeno nel tempo. Infatti, solo dal 2009 al 2010, la potenza installata su impianti a terra è aumentata del 146%. (A. Frascarelli, S. Ciliberti).

Altro risultato da sottolineare è il valore medio di 14,3 m<sup>2</sup> di superficie occupata per ogni kW installato. Ancora più rilevanti di questo valore sono le quantità medie di efficienza m<sup>2</sup>/kW di impianti su tetti e impianti su terreno.

Nello specifico si nota come la superficie utilizzata per produrre 1 kW di energia elettrica su terreno sia di circa 16,9 m<sup>2</sup>. Questo dato trova importanza perché relazionandolo allo stesso, di 21,55 m<sup>2</sup>/kW, trovato cinque anni fa in un simile lavoro di tesi di E. Zigiotta, si nota che il valore è diminuito di 4,65 m<sup>2</sup>/kW ovvero del 21,6%.

Tale diminuzione dell'area necessaria a produrre un kW è indice di una crescita dell'efficienza dei moduli fotovoltaici ed è imputabile, a mio avviso, a un crescente sviluppo tecnologico.

A confronto con 20 anni fa, infatti, i moduli fotovoltaici producono energia con efficienze maggiori di circa il 10% - 15%. (V. Benda, L. Černá).

L'obiettivo di questo lavoro di tesi è stato "dare uno sguardo" alla situazione energetica italiana in ambito di energie rinnovabili e nello specifico sulla produzione fotovoltaica, confrontandola con la situazione di qualche anno fa;

cosciente che nel prossimo futuro la nostra società dovrà cambiare radicalmente l'atteggiamento che utilizza nel ricavare l'energia necessaria al proprio sostentamento. Di pari passo anche i settori produttivi, in particolar modo il settore primario, dovranno modificare le loro fonti energetiche in modo ancor più sostanziale. Italia ed Europa si stanno muovendo bene in questo senso ma ancora non basta ed è per questo che nei prossimi anni si assisterà, credo, a un grande aumento dei sistemi per generare energie "pulite", compreso il fotovoltaico.

# BIBLIOGRAFIA

## Documenti scientifici

Mazzer M., Moser D. 2021. How solar energy could power Italy without using more land: An ambitious research effort for integrating photovoltaics into infrastructures and buildings can become a driving force of Italy's energy transition.

Nature Italy online 2021 <<https://www.nature.com/articles/d43978-021-00048-z>>

Pan He, Jing Liang, Yueming (Lucy) Qiu, Qingran Li, Bo Xing. Aumento del consumo domestico di elettricità dovuto all'inquinamento atmosferico da particolato. Natura Energia, 2020; DOI: 10.1038/s41560-020-00699-0

< <https://www.sciencedaily.com/releases/2020/09/200924114124.htm>>

Ritchie H., Roser M., Rosado P., 2022. Renewable Energy.

Our world in data 2022. < <https://ourworldindata.org/renewable-energy>>

Dupraz C., Marrou H., Talbot G., Dufour L., Nogier A., Ferard Y. 2011. Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use:

Towards new agrivoltaic schemes.

Max Trommsdorff, Simon Gruber, Tobias Keinath. AGRIVOLTAICS: OPPORTUNITIES FOR AGRICULTURE AND THE ENERGY TRANSITION OCTOBER 2020. A GUIDELINE FOR GERMANY, Freiburg, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, 2020.

Roberto Bartolini, Agrivoltaico, il connubio vincente tra buon cibo ed energia pulita, su Il Nuovo Agricoltore, 8 ottobre 2021.

<<http://www.ilnuovoagricoltore.it/agrivoltaico-il-connubio-vincente-tra-buon-cibo-ed-energia-pulita/>>

Alessio Agrillo, Vincenzo Surace, Paolo Liberatore. 2021. Rapporto statistico sul solare fotovoltaico. GSE.

Albert Einstein, The Nobel Prize in Physics 1921.

Center for Sustainable Systems, University of Michigan. 2021. "Photovoltaic Energy Factsheet." Pub. No. CSS07-08.

G. Bocchiola, A. Minuto, S. Rizzi, D. Ronzio, Realizzazione e caratterizzazione di un sistema di moduli fotovoltaici prototipali, RSE, Rapporto RdS, 15000217, febbraio 2015

Andrea Gattico. 2011. Analisi delle prestazioni di impianti fotovoltaici con inseguitori a singolo asse. Politecnico di Milano.

< [https://www.politesi.polimi.it/bitstream/10589/21035/1/2011\\_07\\_Gattico.pdf](https://www.politesi.polimi.it/bitstream/10589/21035/1/2011_07_Gattico.pdf)>



Caputo A. 2021. Indicatori di efficienza e decarbonizzazione del sistema energetico nazionale e del settore elettrico. ISPRA.

<<https://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/rapporti/indicatori-di-efficienza-e-decarbonizzazione-del-sistema-energetico-nazionale-e-del-settore-elettrico>>

A. Frascarelli, S. Ciliberti. 2011. La diffusione del fotovoltaico in Italia e l'impatto sull'agricoltura. *Agriregionieuropa* anno 7 n°24.

Gse. Il solare fotovoltaico, Dati statistici al 31 dicembre 2009, Gse, Roma.

Gse. 2010. Totale dei risultati del Conto energia, Roma.

E. Zigiotto. 2017. Impianti solari ed eolici e cambiamenti del territorio. UniPd.

C. Montanini. 2022. L'unica via per uscire dalla dipendenza energetica è la transizione ecologica. *La Repubblica*, 15 marzo 2022.

<[https://www.repubblica.it/greenandblue/2022/03/15/news/itali\\_for\\_climate\\_dipendenza\\_energetica\\_transizione\\_ecologica-341507718/](https://www.repubblica.it/greenandblue/2022/03/15/news/itali_for_climate_dipendenza_energetica_transizione_ecologica-341507718/)>

ISTAT. 17 ottobre 2022. Prezzi al consumo.

< [https://www.istat.it/it/files//2022/10/CS\\_Prezzi-al-consumo\\_Def\\_Set22.pdf](https://www.istat.it/it/files//2022/10/CS_Prezzi-al-consumo_Def_Set22.pdf)>

V. Benda, L. Černá. 2020. PV cells and modules – State of the art, limits and trends. *Heliyon*, Volume 6, Issue 12, December 2020.

< <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844020325093>>

B. Bakhiyi, F. Labrèche, J. Zayed. 2014. The photovoltaic industry on the path to a sustainable future — Environmental and occupational health issues. *Environment International*. Volume 73, December 2014, Pages 224-234.

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412014002487>>

A. Massimo, M. Dell'Isola, A. Frattolillo, G. Ficco. 2014. Development of a Geographical Information System (GIS) for the Integration of Solar Energy in the Energy Planning of a Wide Area. Department of Civil and Mechanical Engineering, University of Cassino and Southern Lazio. Italy.

S. Dell'Anna. M. Menconi. 2016. Off-grid Approach to Support the Small Scale Food Producers in Rural Areas. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* Volume 8, 2016, Pages 516-526.

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210784316300614>>

O. A. Marzouk. 2022. Land-Use competitiveness of photovoltaic and concentrated solar power technologies near the Tropic of Cancer. *Solar Energy* Volume 243, 1 September 2022, Pages 103-119.

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X22005369>>

## **Database**

Google Earth Pro, da Google Earth - Google.it

Atlaimpianti, sistema informativo geografico

<[www.atla.gse.it/atlaimpianti/project/Atlaimpianti](http://www.atla.gse.it/atlaimpianti/project/Atlaimpianti).>

Opendata-GSE

<<https://opendata.gse.it/>>

## **Siti web**

<https://www.sciencedirect.com/> (consultato da agosto 2022).

<https://www.gse.it/> (consultato da luglio 2022).

<https://www.istat.it/> (consultato a ottobre 2022).

<https://www.sciencedaily.com> (consultato a ottobre 2022).

[https://atla.gse.it/atlaimpianti/project/Atlaimpianti\\_Internet.html](https://atla.gse.it/atlaimpianti/project/Atlaimpianti_Internet.html)

European sciece hub: [https://joint-research-centre.ec.europa.eu/scientific-activities-z/photovoltaics\\_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/scientific-activities-z/photovoltaics_en) (consultato a ottobre 2022).

Openpolis: <https://www.openpolis.it/il-contributo-energetico-del-sistema-fotovoltaico/>

[https://dgsaie.mise.gov.it/pub/sen/relazioni/relazione\\_annuale\\_situazione\\_energetica\\_nazionale\\_dati\\_2020.pdf](https://dgsaie.mise.gov.it/pub/sen/relazioni/relazione_annuale_situazione_energetica_nazionale_dati_2020.pdf) (consultato a ottobre 2022).

<https://www.mite.gov.it/> (consultato a ottobre 2022).

<https://anierinnovabili.anie.it/gruppi/fotovoltaico/normativa-e-legislazione/norme-cei/#.Y0XdznZBzIU> (consultato a ottobre 2022).

[https://www.politicheagricole.it/bando\\_incentivi\\_parco\\_agrisolare](https://www.politicheagricole.it/bando_incentivi_parco_agrisolare) (consultato a ottobre 2022).

<http://www.scienzagiovane.unibo.it/pannelli/3-effetto-fotovoltaico.html> (consultato a ottobre 2022).

<https://www.rse-web.it/wp-content/uploads/2014/12/CPVHigh.pdf> (consultato a ottobre 2022).

Enciclopedia multimediale "Wikipedia"; (consultato a ottobre 2022).

## RINGRAZIAMENTI

*A mia madre e a mio padre, al loro costante sostegno e ai loro insegnamenti senza i quali oggi non sarei ciò che sono. Senza di voi, tutto questo non sarebbe stato possibile.*