

**LA GESTIONE DEL RIFIUTO
FOTOVOLTAICO NON
INCENTIVATO IN ITALIA: UN
NUOVO MODELLO DI
FINANZIAMENTO.**

Dossier

ref.

SOMMARIO

Premessa	5
L'evoluzione delle installazioni di pannelli fotovoltaici	6
Tra il 2022-2024 un nuovo picco di installazioni	6
Nuova capacità installata: impianti, potenza e taglia media	6
I programmi di incentivazione delle installazioni fotovoltaiche: Conto Energia, Superbonus 100%, FER1 e FER2	8
La potenza installata, incentivata e non	9
L'Italia a confronto con i quattro grandi paesi europei nell'immesso al consumo.....	11
La distribuzione della potenza installata in Italia: il panorama regionale.....	12
Generazione e gestione del rifiuto fotovoltaico	13
L'intercettazione dei rifiuti fotovoltaici nei principali paesi UE.....	13
La dismissione dei pannelli fotovoltaici in Italia, Francia, Germania e Spagna	16
Il recupero del rifiuto fotovoltaico in Italia, Germania, Francia e Spagna	17
La filiera del fotovoltaico al centro degli investimenti RAEE del PNRR.....	20
Scenari evolutivi della potenza installata per la produzione di energia fotovoltaica in Italia	21
La Responsabilità del Produttore nella gestione del rifiuto fotovoltaico non incentivato	22
Il modello di gestione e di finanziamento.....	23
La garanzia finanziaria nel Disciplinare Tecnico GSE del 2012	26
2050: immesso al consumo, pannelli a fine vita e costi di gestione.....	27
La capienza dei contributi versati nei <i>trust</i> -consorzi	31
La vita utile dei pannelli fotovoltaici: uno sguardo alla letteratura.....	33
Scenari di evoluzione delle variabili che determinano l'equilibrio economico-finanziario dei <i>trust</i> -consorzi nella gestione a fine vita dei pannelli fotovoltaici.....	35
Il modello "generazionale" nella gestione del rifiuto fotovoltaico non incentivato	36
I punti della proposta.....	36

Contributo ambientale: l'evoluzione futura	40
L'implementazione operativa del modello generazionale e la transizione dal modello delle garanzie	42
Conclusioni.....	44
Allegato 1. Proiezioni della capacità fotovoltaica in esercizio 2025-2050	46
Allegato 2. Metodologia per il calcolo dell'impresso al consumo 2010-2050	48
Il calcolo della quantità di pannelli non incentivati entrati in esercizio per nuove installazioni (2010-2050).....	48
Metodologia per il calcolo della quantità di pannelli non incentivati entrati in esercizio per revamping/repowering (2010-2021 e 2025-2050).....	49
Allegato 3. La stima dei pannelli fotovoltaici non incentivati a fine vita (2010-2050).....	50
Allegato 4. L'equilibrio finanziario <i>trust</i>-consorzi nel lungo periodo (2016-2050)	52

Il presente lavoro è stato realizzato da: *Donato Berardi, Giulia Gadani e Nicolò Valle.*

Data di pubblicazione: novembre 2025.

Abstract

La Legge di Delegazione Europea per il recepimento della Direttiva (UE) 2024/884 approvata lo scorso giugno offre una opportunità per riflettere sul finanziamento della gestione dei RAEE fotovoltaici. Il modello attuale per i pannelli non incentivati si basa sull'accantonamento di un contributo a garanzia nei trust. La concorrenza tra consorzi EPR ha condotto ad un equilibrio di mercato al ribasso, tanto che le evidenze raccolte sembrano prefigurare il rischio di incapienza delle somme accantonate nei trust rispetto ai costi correnti di logistica e trattamento. La proposta analizza un modello di finanziamento alternativo, basato sulla logica generazionale, nella quale i produttori che immettono pannelli sul mercato in un determinato anno sostengono i costi dei rifiuti che si generano in quello stesso anno.

The 2024 European Delegation Act, aimed at the transposition of Directive (EU) 2024/884 and approved last June, represents an opportunity to reflect on the current financing system for photovoltaic WEEE. The existing model for panels not covered by the Conto Energia incentive scheme —based on the accumulation of environmental contributions and the segregation of related guarantees in trust funds— has led to a downward market equilibrium. Evidence collected to date suggests a potential risk that the segregated funds may be insufficient to cover the current logistics and treatment costs. This proposal explores the features of an alternative financing model based on a generational approach, in which producers placing panels on the market in a given year bear the costs of the waste generated in that same year. This approach aligns with the system already applied to other types of WEEE and appears to offer greater guarantees in terms of simplicity, transparency, full end-of-life cost coverage, and, ultimately, environmental protection.

Premessa

Negli ultimi anni in Italia si è registrata una forte accelerazione nelle installazioni di pannelli fotovoltaici, sostenute dagli obiettivi del PNIEC di aumento della capacità fotovoltaica installata¹ e dal *revamping* e *repowering* degli impianti esistenti. È dunque cresciuto anche il volume di moduli che giungono a fine vita e che devono essere gestiti come rifiuti da apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE). Una tendenza che è destinata ad accentuarsi nei prossimi anni, quando il ciclo di vita dei pannelli incentivati dal Conto Energia giungerà a termine, e che si scontra con una disponibilità limitata di linee dedicate negli impianti di trattamento.

Al contempo, il quadro normativo che disciplina la raccolta e il trattamento dei RAEE è stato oggetto di numerosi interventi che hanno reso la **disciplina di settore frammentata e complessa**². La recente Legge di Delegazione Europea (ripresa nella Legge 13 giugno 2025, n. 91³) chiede al Governo italiano di **riordinare la disciplina nazionale relativa alla gestione dei pannelli fotovoltaici a fine vita e di adeguare il sistema di finanziamento alla normativa europea**. Parallelamente, a livello europeo, è partito il dibattito circa la revisione della Direttiva RAEE⁴, che sarà contenuta del Circular Economy Act previsto per il 2026⁵. Tra i possibili provvedimenti, il desiderio di superare l'attuale classificazione che colloca i pannelli fotovoltaici nel raggruppamento R4⁶, insieme a piccoli elettrodomestici, dispositivi di illuminazione, telefoni cellulari e computer, istituendo un raggruppamento dedicato (R6) che ne permetta una contabilizzazione e una gestione più efficiente.

Il nostro Paese è **sotto procedura di infrazione** per il mancato raggiungimento degli obiettivi europei di raccolta dei RAEE⁷. Le cause principali sono da ricondurre, oltre alla già citata complessità normativa, alla carenza di una rete di intercettazione efficiente⁸, che sia in grado di raggiungere capillarmente tutto il territorio nazionale. A ciò si aggiunge un tasso elevato di attività non tracciate⁹, **che finiscono per alimentare pratiche di esportazione illecita e/o smaltimento abusivo**¹⁰. Un fenomeno che assume particolare gravità nel caso dei pannelli fotovoltaici, che contengono materiali potenzialmente pericolosi come il piombo¹¹, con rischi per l'ambiente e la salute.

L'obsolescenza del parco impiantistico, installato in larga parte a partire dal 2005, **e le prospettive di crescita dei volumi di pannelli fotovoltaici che dovranno essere installati per raggiungere gli obiettivi PNIEC rendono urgente un aggiornamento delle policy operative e finanziarie**. A ciò si aggiunge la crescente diffusione di pratiche di *revamping* e *repowering* di natura finanziaria, che

¹ <https://www.gse.it/servizi-per-te/fotovoltaico/conto-energia/interventi-sugli-impianti>; [Rinnovabili, con il repowering di pannelli e pale 20 gigawatt in più in Italia - Il Sole 24 ORE](#).

² I principali riferimenti normativi sono il [D.Lgs. 49/2014](#) e [D.Lgs. 118/2020](#).

³ [Legge 13 giugno 2025, n. 91](#).

⁴ [New evaluation looks at how to improve WEEE Directive - European Commission](#).

⁵ [Circular Economy - Environment - European Commission](#).

⁶ [EUR-Lex - 52023AP0392 - IT - EUR-Lex](#)

⁷ [July infringement package: key decisions](#).

⁸ Commissione Europea (2014). [Study on collection rates of Waste Electrical and Electronic Equipment \(WEEE\)](#).

⁹ Ivi.

¹⁰ [Scandalo Pannelli Solari: Rivendita Illegale Svelata; Traffico illecito di pannelli fotovoltaici, maxi inchiesta: trenta indagati](#).

¹¹ ENEA (2020). [Il pannello fotovoltaico, una miniera di risorse se il fine vita è virtuoso](#). *Energia, ambiente e innovazione*, 2, 152–156.

anticipano la dismissione dei pannelli rispetto alla loro vita tecnica standard, ponendo ulteriori sfide in termini di sostenibilità economica ed ambientale del sistema.

In questo contesto, il presente *Position Paper* approfondisce il caso dei **rifiuti da pannelli fotovoltaici non incentivati dal Conto Energia** – costituendo, sulla base delle nostre conoscenze, **il primo contributo della letteratura dedicato espressamente alle modalità di gestione del fine vita di questo particolare flusso di RAEE, coperto da uno schema di responsabilità estesa del produttore (Extended Producer Responsibility – EPR).**

Il *Position Paper* si propone, in primo luogo, di analizzare il quadro storico e prospettico relativo all'immissione al consumo e alla generazione dei pannelli a fine vita, attraverso l'elaborazione di scenari di fine vita dei pannelli basati su metodologie statistiche consolidate. In seconda battuta, verrà presentata un'analisi critica dell'attuale sistema di gestione, evidenziandone i limiti intrinseci per la sostenibilità finanziaria. A chiusura, il finanziamento del fine vita dei pannelli verrà confrontato con il modello utilizzato per tutte le altre AEE ("generazionale"), analizzandone benefici e potenzialità, quale possibile alternativa al modello basato sui *trust*. Infine, il *Position Paper* si concluderà con una proiezione dell'evoluzione del contributo ambientale in un contesto di finanziamento generazionale.

L'evoluzione delle installazioni di pannelli fotovoltaici

Tra il 2022-2024 un nuovo picco di installazioni

Nuova capacità installata: impianti, potenza e taglia media

Il **numero**, la **potenza installata** e la **taglia media** degli impianti fotovoltaici di nuova installazione hanno registrato una **forte crescita** nei periodi **2009-2011** e **2022-2024**¹².

Nel primo dei due periodi, le installazioni sono state spinte dal programma di incentivazione statale del **Conto Energia**¹³ (abbreviato qui di seguito come C.E.), **che garantiva per 20 anni il riconoscimento di una tariffa incentivata per ogni kWh prodotto da impianti fotovoltaici.**

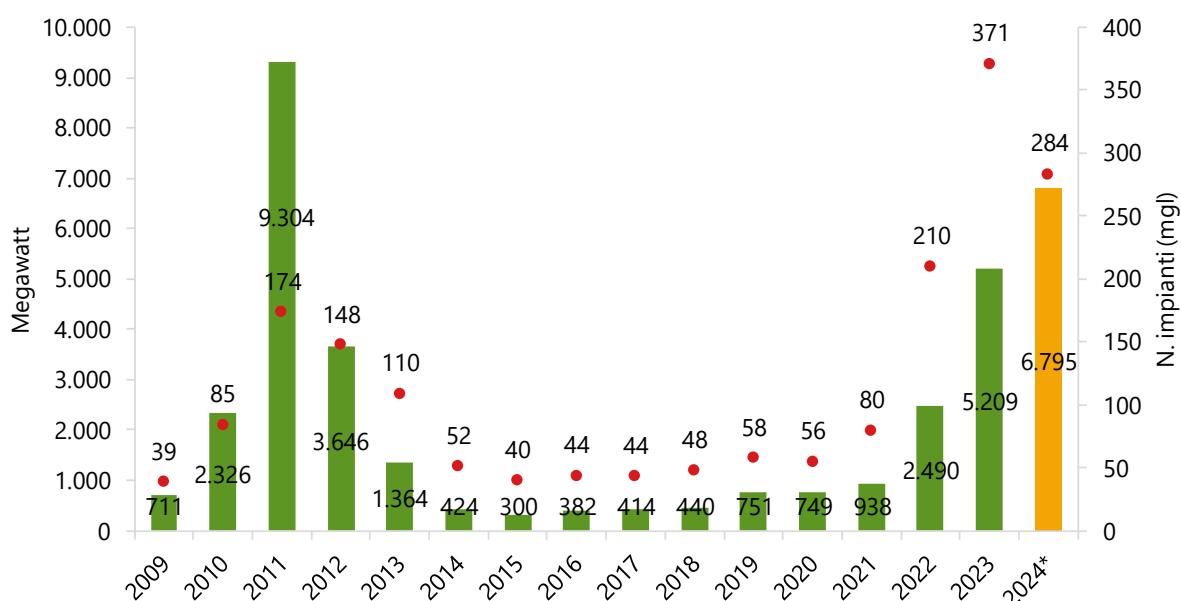
Nel 2009, i nuovi impianti connessi alla rete erano 39.266, per una potenza complessiva installata di 711 MW. Nel 2011 questi numeri sono saliti rispettivamente a 174.219 impianti e 9.304 MW: in un biennio il numero di impianti è triplicato e la potenza installata è cresciuta di un ordine di grandezza, con una taglia media degli impianti passata da 18 a 53 kW/impianto.

¹² I dati sul numero di MW di potenza e numero di impianti entrati in esercizio degli impianti e della potenza fotovoltaica per gli anni 2009-2023 sono stati calcolati a partire dai report statistici pubblicati annualmente dal Gestore dei Servizi Energetici (GSE), scaricabili dal [sito web del GSE](#) (*Solare Fotovoltaico - Rapporto Statistico 2009, 2010, 2011, ..., 2023*). I dati sull'entrata in esercizio degli impianti e della potenza fotovoltaica per il 2024 sono stati calcolati a partire dal report Terna "[Monthly Report on the Electricity System December 2024](#)", sommando alla potenza complessiva a fine anno del 2023 indicata dal GSE quella entrata in esercizio del 2024 secondo il suddetto report Terna. Nei casi in cui nei report GSE (è il caso negli anni 2009-2013), non fosse disponibile il dato annuale di entrata in esercizio (relativo al numero di impianti e alla potenza), questo è stato ricavato per differenza tra il valore in esercizio registrato a fine anno e quello dell'anno precedente. La taglia media (2009-2024) è stata ottenuta dividendo anno per anno la potenza entrata in esercizio per il numero di impianti entrati in esercizio, considerando le sopracitate fonti di dati.

¹³ Per maggiori informazioni su questo schema di finanziamento si veda [Conto Energia](#).

LA POTENZA E IL NUMERO DEI NUOVI IMPIANTI FOTOVOLTAICI INSTALLATI ANNO PER ANNO IN ITALIA

Valori in megawatt e numero d'impianti (mgl), anni 2009-2024



*Dato Terna riportato nel Rapporto Mensile sul Sistema Elettrico (Dicembre 2024).

Fonte: elaborazione grafica REF su dati GSE e Terna

Finito il sostegno degli incentivi statali le installazioni di pannelli hanno registrato un forte dimensionamento: tra il 2014 e il 2018 sono stati installati tra i 300 e 450 MW di nuova capacità fotovoltaica, salita a 750-1000 MW tra il 2020 e il 2021.

Nel periodo **2022-2024**, l'aumento di installazioni di impianti, di potenza entrata in esercizio e di taglia media è stato sostenuto principalmente dal **FER 1** (D.M. 04/07/2019¹⁴), che ha favorito l'allacciamento alla rete elettrica di impianti di tipo professionale, con potenza superiore a 20 kWp, e dal **Superbonus 110%**¹⁵, che ha incentivato il fotovoltaico residenziale. Nel 2021, gli impianti che si sono allacciati alla rete sono stati 80.419, per una potenza complessiva entrata in esercizio di 938 MW. Nel 2024, questi valori sono saliti a 283.914 impianti e 6.795 MW, segnando una crescita del +253% per le installazioni di impianti e del +625% per l'entrata in esercizio di potenza fotovoltaica. Ne consegue che anche la potenza media per impianto è cresciuta, passando da 12 a 24 kW/impianto (+105%).

Infine, il valore massimo di taglia media (53 kW/impianto) e potenza annuale entrata in esercizio (9.304 MW) sono stati raggiunti nel 2011, mentre il numero più elevato di impianti entrati in esercizio è stato toccato nel 2023 (371.442 impianti).

¹⁴ Si veda [INCENTIVI DM 04/07/2019](#) per maggiori informazioni sul programma FER1.

¹⁵ Si rimanda a [Superbonus 110%](#) per un approfondimento.

I programmi di incentivazione delle installazioni fotovoltaiche: Conto Energia, Superbonus 100%, FER1 e FER2

Introdotta nel 2005 e attiva fino al 2013, il programma del Conto Energia è nato dal recepimento della Direttiva comunitaria 2001/77/CE (recepita con il D.lgs. 387/2003). Tra il 2005 e il 2013 si sono susseguite cinque edizioni del programma (I, II, III, IV e V Conto Energia), ciascuna introdotta da appositi decreti che ne regolavano modalità e tariffe incentivative.

Il primo Conto Energia è entrato in vigore con i Decreti Interministeriali del 28/07/2005 e del 06/02/2006, che hanno introdotto un sistema di incentivazione basato sul finanziamento della produzione elettrica in conto esercizio, ovvero con premi legati alla quantità di energia prodotta. In questa prima fase, il meccanismo incentivante prevedeva che la tariffa riconosciuta per ogni chilowattora prodotto aumentasse al crescere della potenza dell'impianto. Questa struttura ha dunque incentivato la realizzazione di impianti di maggiori dimensioni.

Il Superbonus 110% è un'agevolazione introdotta dal **Decreto Rilancio (decreto-legge 19 maggio 2020, n. 34, entrato in vigore il 19/05/2020 e concluso il 31/12/2023)**, che porta al 110% la detrazione fiscale per specifiche spese di **riqualificazione energetica e sicurezza sismica** sostenute dal 1° luglio 2020 al 30 giugno 2022. L'incentivo riguarda specifici interventi sugli edifici, tra cui il miglioramento dell'efficienza energetica, l'esecuzione di lavori antisismici, l'installazione di impianti fotovoltaici e la realizzazione di infrastrutture per la ricarica di veicoli elettrici.

Il Decreto FER1 (D.M. 04/07/2019), entrato in vigore nel 2019, sostiene la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili come fotovoltaico, eolico, idroelettrico e gas di depurazione. Gli incentivi sono concessi attraverso procedure competitive (registri o aste) gestite dal Gestore dei Servizi Energetici (GSE), a seconda della taglia dell'impianto. Il provvedimento punta a incrementare la capacità rinnovabile installata, stimolare investimenti per circa 10 miliardi di € e favorire la transizione energetica. Si inserisce nel percorso tracciato dal Piano Nazionale Integrato Energia e Clima per il raggiungimento degli obiettivi europei al 2030.

Il Decreto FER2¹⁶ del 19 giugno 2024, che sostituisce il Decreto FER1 e resterà in vigore fino al 2028, incentiva impianti rinnovabili innovativi o con alti costi di generazione. Il FER2 include tecnologie come biogas, biomasse, solare termodinamico, geotermico, eolico off-shore, fotovoltaico *floating* e fonti marine. Sono ammessi nuovi impianti e, per i geotermici innovativi, anche rifacimenti. L'obiettivo è promuovere energia sostenibile a basso impatto ambientale. Il Decreto FER2 prevede incentivi per il fotovoltaico attraverso due modalità: tariffa omnicomprensiva (TO) o incentivo (I). Gli impianti ≤300 kW possono scegliere tra TO o I, mentre quelli >300 kW (o >200 kW dal 2026) accedono solo all'incentivo. La TO comprende il ritiro dell'energia da parte del GSE e il pagamento fisso per kWh immesso in rete. L'incentivo, invece, integra il prezzo di mercato riconoscendo solo la differenza con la tariffa spettante. Per il fotovoltaico floating e offshore sono previsti contingenti rispettivamente di 50 MW e 200 MW nel periodo 2024-2028.

¹⁶ <https://www.gse.it/servizi-per-te/fonti-rinnovabili/fer2>.

La potenza installata, incentivata e non

La **potenza incentivata in esercizio** (misurata in megawatt o nel numero di pannelli fotovoltaici¹⁷) ha registrato una **crescita costante** tra il 2009 e il 2013: si è passati da 1.116 MW nel 2009 (equivalenti a circa 4,5 milioni di pannelli fotovoltaici) a 17.390 MW nel 2013 (pari a circa 69,6 milioni di pannelli).

Dal 2014 al 2021, l'ammontare della **potenza incentivata in esercizio a fine anno** si è mantenuta **stabile**, attestandosi a 17.597 MW (circa 70,4 milioni di pannelli) alla fine del 2021, ultimo anno per cui sono disponibili dati ufficiali relativi alla potenza incentivata dal Conto Energia¹⁸. Questa stabilizzazione è riconducibile al fatto che il Quinto Conto Energia, pur essendo terminato il 6 luglio 2013, garantisce tariffe incentivanti per un periodo di 20 anni dalla data di entrata in esercizio degli impianti. Di conseguenza, anche dopo la chiusura del programma, gli impianti già ammessi continuano a beneficiare degli incentivi¹⁹.

La **potenza non incentivata dal Conto Energia** ha invece registrato un **aumento costante** dal 2009 al 2021, in seguito alla cessazione del programma di finanziamento nazionale. Se a fine **2009** si contavano **148 MW** in esercizio **senza** aderire al suddetto schema di incentivazione (pari a poco più di **mezzo milione di pannelli fotovoltaici**), a fine **2021** tale valore è salito a **4.997 MW**, corrispondenti a una stima di quasi **20 milioni di pannelli**.

¹⁷ Al fine di fornire una stima del numero dei pannelli incentivati e non incentivati in esercizio a fine anno, la potenza (MW) incentivata e non incentivata dal Conto Energia in esercizio alla fine di ogni anno è stata divisa per la potenza nominale media di un pannello (250W) fornita dal dossier RSE (2020) "[La gestione dei pannelli fotovoltaici a fine vita](#)". Il valore di 250 W, tipico specialmente del periodo precedente al 2020, è stato selezionato data l'impossibilità di conoscere la potenza incentivata effettivamente entrata ed uscita in esercizio anno per anno. La stima del numero di pannelli fotovoltaici tramite il rapporto tra potenza complessiva installata e potenza nominale del singolo pannello è prassi comune sia in letteratura (es. Domínguez, A., & Geyer, R. (2019). [Photovoltaic waste assessment of major photovoltaic installations in the United States of America](#), *Renewable Energy*, 133, 1188-1200), sia in rapporti ufficiali delle autorità ([Allegato DD 45 Istruzioni Operative RAEE marzo 2025.pdf](#), p.22).

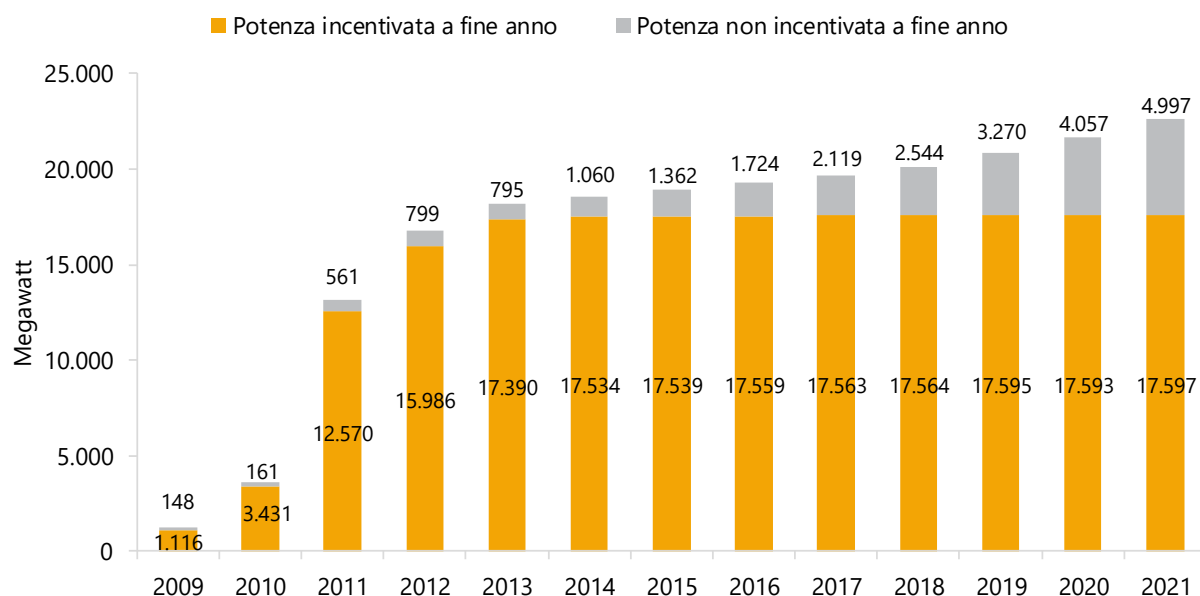
¹⁸ Le informazioni relative alla potenza incentivata dal Conto Energia installata a fine anno nel periodo 2009-2021 sono state ricavate dal [Rapporto delle Attività 2021 del GSE](#).

Il valore della potenza non incentivata installata alla fine di ogni anno è stato calcolato per differenza, sottraendo alla potenza fotovoltaica complessivamente in esercizio a fine anno (fonte: [GSE - rapporto statistico 2023 solare fotovoltaico](#)) la corrispondente potenza incentivata a fine anno [Rapporto delle Attività 2021 del GSE](#).

¹⁹ Inoltre, alcuni impianti sono entrati in esercizio successivamente al 2013, pur rientrando nel regime del Conto Energia. Ciò è stato possibile perché è stato consentito l'accesso agli incentivi anche a impianti che a fronte di ritardi di tipo burocratico o nell'allacciamento avevano comunque rispettato i termini previsti per la richiesta di ammissione.

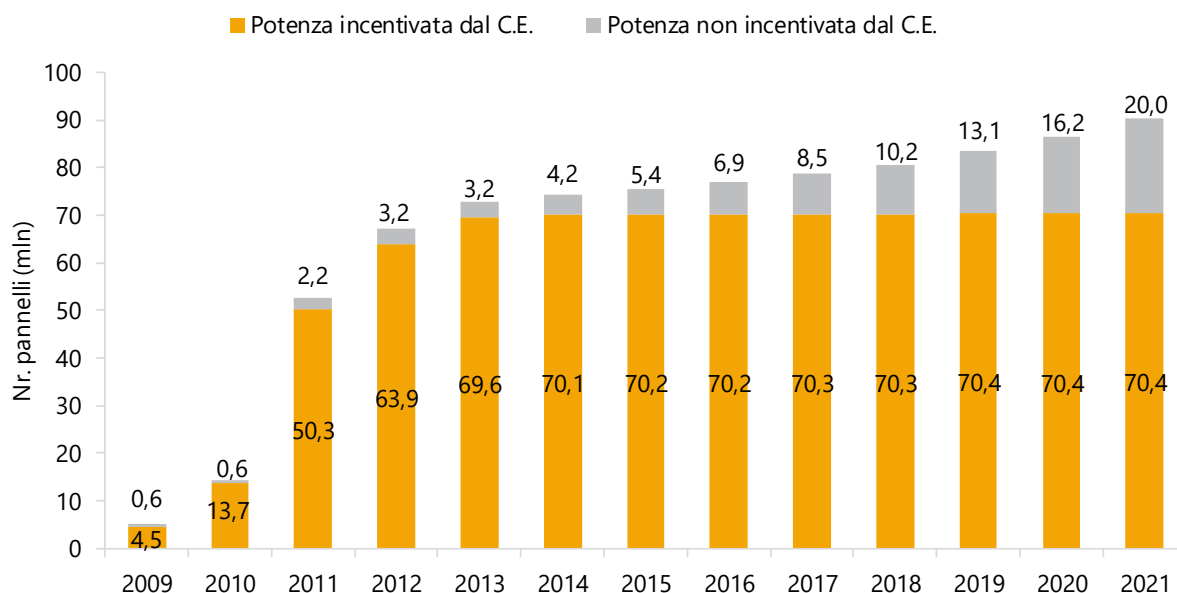
LA POTENZA INSTALLATA INCENTIVATA E NON INCENTIVATA DAL CONTO ENERGIA ALLA FINE DI OGNI ANNO IN ITALIA

Valori in megawatt, anni 2009-2021



Fonte: elaborazione grafica REF su dati GSE

IL NUMERO DI PANNELLI INSTALLATI INCENTIVATI E NON INCENTIVATI DAL CONTO ENERGIA ALLA FINE DI OGNI ANNO IN ITALIA



Fonte: elaborazione grafica REF su dati GSE

Sulla base degli andamenti descritti **la quota della potenza incentivata dal Conto Energia** rispetto alla **potenza totale fotovoltaica installata** (inclusiva sia della quota incentivata²⁰ che di quella non incentivata) **è scesa dal 95,7% del 2011 al 77,9% nel 2021**.

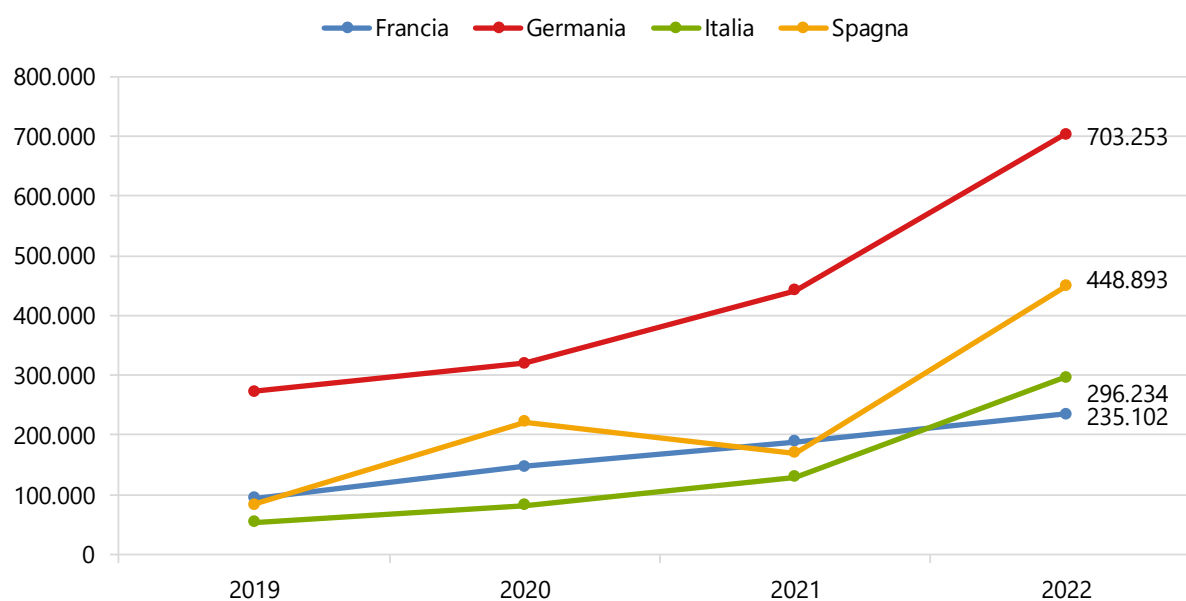
L'Italia a confronto con i quattro grandi paesi europei nell'immesso al consumo

Italia, Francia, Germania e Spagna rappresentano i maggiori paesi responsabili dell'immissione al consumo di pannelli fotovoltaici in Europa, nel periodo 2019-2022, sulla base dei dati EUROSTAT²¹.

In termini **assoluti** (valori in tonnellate), questi quattro paesi rappresentano complessivamente circa il 58% del mercato europeo dei pannelli immessi al consumo nel periodo considerato. Tutti i paesi mostrano un andamento dell'immesso al consumo in forte crescita, con la Germania costantemente in testa alla graduatoria. **L'Italia, tra il 2019 e il 2022, ha registrato un aumento del 451% in termini di tonnellate immesse al consumo, segnalando una vera e propria ripresa in anni recenti.** Nel 2022, la Germania ha raggiunto le 703mila tonnellate, seguita dalla Spagna con 449mila tonnellate, dall'Italia con 296mila tonnellate e infine dalla Francia con 235mila tonnellate.

QUANTITÀ DI PANNELLI FOTOVOLTAICI IMMESSI AL CONSUMO NEI PRINCIPALI PAESI UE

Valori in tonnellate, anni 2019-2022



Fonte: elaborazioni REF su dati EUROSTAT

Per ciò che concerne l'**immesso al consumo in termini pro capite**, la Spagna si posiziona come leader nel 2020 e 2022, alternandosi con la Germania nei diversi anni, mentre l'Italia, pur

²⁰ Nota: nel presente *Position Paper* i termini "incentivato" e "non incentivato" si riferiscono esclusivamente alla partecipazione o meno al programma di finanziamento del Conto Energia. Non vanno quindi confusi con altre forme di sostegno o meccanismi di incentivazione al fotovoltaico, quali lo Scambio sul posto, gli schemi FER, i certificati verdi o altre misure incentivanti.

²¹ Fonte: [EUROSTAT](#). Sebbene i dati [EUROSTAT](#) sull'immesso al consumo presentino valori non allineati rispetto a quelli forniti dalle [statistiche del GSE](#) per l'Italia, il loro utilizzo ha consentito, all'interno di questo *Position Paper*, di effettuare una comparazione tra i principali quattro paesi europei basata su una fonte omogenea e ufficiale a livello comunitario. Tuttavia, si segnala che i dati di EUROSTAT, forniti dalle singole autorità statistiche nazionali potrebbero differire nelle metodologie e sistemi di contabilizzazione fra i vari paesi.

posizionandosi nel periodo 2019-2021 come l'ultima tra i quattro grandi Paesi UE, ha superato la Francia nel 2022. Questi risultati confermano che, sebbene si rinvenga un gap tra l'Italia e i principali quattro paesi europei, negli anni recenti **il nostro paese sta registrando un recupero** in esito **alle politiche di incentivazione, come il meccanismo FER 1 e il Superbonus 110%** precedentemente illustrati.

La distribuzione della potenza installata in Italia: il panorama regionale

In Italia, la Lombardia è la regione con la più alta concentrazione di potenza fotovoltaica installata a fine 2023 (13,4% del totale nazionale), seguita da Puglia (10,9%), Veneto (10,4%), Emilia-Romagna (10%) e Piemonte (8,5%). **Tra le prime cinque regioni italiane per potenza installata, quattro sono localizzate nel Nord Italia.** Questo dato, insieme a una lettura complessiva delle performance regionali, suggerisce che lo sviluppo del fotovoltaico è stato trainato in larga misura dalle **aree economicamente più forti del Paese**, piuttosto che da quelle caratterizzate da un **maggiore irraggiamento solare**, come il Mezzogiorno.

LA POTENZA INSTALLATA DEGLI IMPIANTI FOTOVOLTAICI A FINE 2023 NELLE REGIONI ITALIANE

Valori in megawatt, al 31.12.2023



Fonte: elaborazioni REF su dati GSE

La figura seguente, tuttavia, restituisce una prospettiva diversa. **Considerando la potenza installata rapportata al PIL regionale** (espressa in MW per miliardo di €), **emergono chiaramente le regioni del Sud Italia, seguite da quelle del Centro, come quelle con le performance migliori.** Questo indicatore, che normalizza la performance di installazione fotovoltaica rispetto alla dimensione

economica espressa dal territorio regionale, evidenzia una maggiore intensità di installazioni fotovoltaiche proprio nelle aree del Mezzogiorno, con la Puglia in testa (36,2 MW/mld di € di PIL), seguita da Basilicata (34,2 MW/mld di € di PIL) e Sardegna (32,8 MW/mld di € di PIL), che peraltro sono anche caratterizzate da un numero di ore di irraggiamento superiore.

LA POTENZA INSTALLATA DEGLI IMPIANTI FOTOVOLTAICI PER MILIARDO DI EURO DI PIL REGIONALE A FINE 2023 NELLE REGIONI ITALIANE

Valori in megawatt per mld di euro di PIL, al 31.12.2023



Fonte: elaborazioni REF su dati GSE ed ISTAT

Generazione e gestione del rifiuto fotovoltaico

Il presente capitolo del *Position Paper* ha lo scopo di presentare i **principali trend** nella **raccolta** e successiva **gestione** (recupero e trattamento) dei pannelli fotovoltaici a fine vita in Italia, effettuando un confronto tra il nostro paese e le altre tre principali nazioni europee (Germania, Francia e Spagna). Viene inoltre fornito un quadro sui **finanziamenti del PNRR orientati alla filiera RAEE**, dal quale emerge il peso specifico della filiera fotovoltaica.

L'intercettazione dei rifiuti fotovoltaici nei principali paesi UE²²

Le figure sottostanti **mostrano**, in termini assoluti (tonnellate) e relativi (chilogrammi pro capite di pannelli)²³, **l'andamento dell'intercettazione di pannelli fotovoltaici per tutti i quattro maggiori paesi europei: Francia, Germania, Italia e Spagna**.

²² I dati presentati in questa sezione sono di fonte Eurostat. Giova sottolineare che dalle verifiche fatte con gli operatori del settore le quantificazioni proposte appaiono sottostimate. A fronte della possibile sottostima, le considerazioni proposte nel seguito del lavoro acquisiscono oltre modo un carattere di maggiore impellenza.

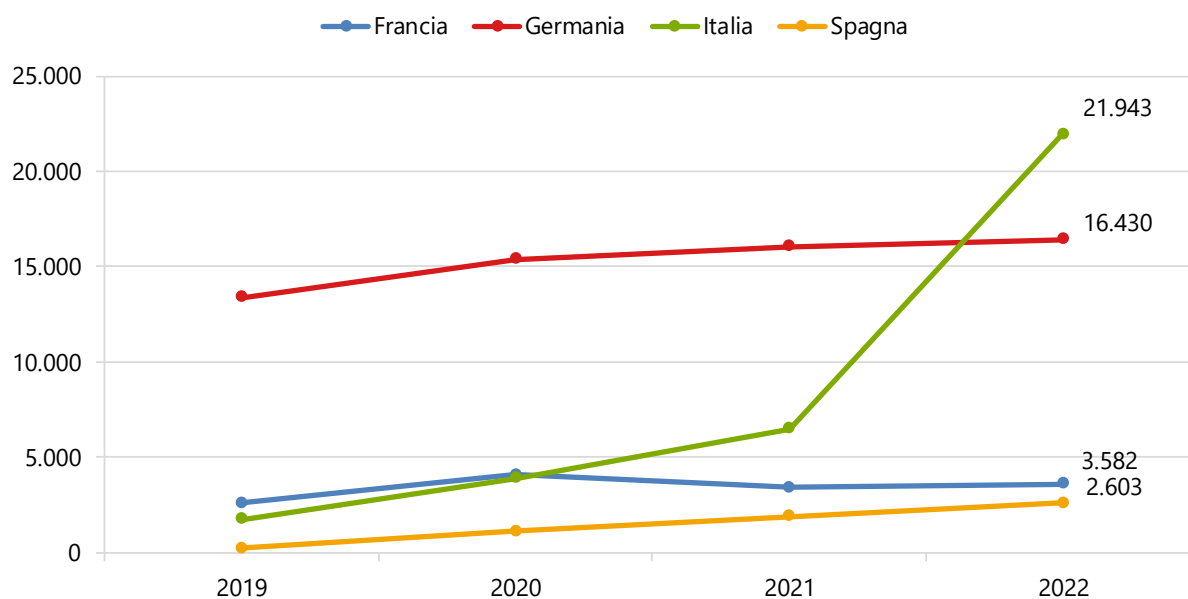
²³ Fonte: [EUROSTAT](https://ec.europa.eu/eurostat/).

La Germania, tra i grandi Paesi, si conferma quello storicamente più virtuoso quanto a volumi raccolti. Tuttavia, nel 2022, l'Italia supera la Germania sia in termini di assoluti sia in rapporto agli abitanti residenti. **Il balzo in avanti dell'Italia può essere letto come l'esito dell'entrata in esercizio di nuovi impianti fotovoltaici e della sostituzione di impianti esistenti**, incentivati dai meccanismi di finanziamento previsti dal FER1 e dal Superbonus 110%, che hanno spinto a maggiori volumi di intercettazione in termini assoluti.

Nell'ambito dei **canali di raccolta del rifiuto fotovoltaico nei principali paesi europei si osservano modelli di raccolta particolarmente eterogenei**. In Francia, la raccolta risulta essere interamente delegata al canale della gestione dei rifiuti urbani, con il 100% dei rifiuti fotovoltaici intercettati da questa fonte. Al contrario, in Germania e in **Italia, la raccolta urbana, operata nelle isole ecologiche, rappresenta una quota minoritaria o marginale rispetto a quella da altra fonte (di tipo professionale)**: in Germania si attesta al 22%, mentre in Italia appena al 3%. La Spagna si colloca anch'essa agli antipodi rispetto al caso francese: l'intera raccolta di rifiuti fotovoltaici avviene al di fuori del perimetro del servizio urbano di gestione dei rifiuti.

QUANTITÀ DI PANNELLI FOTOVOLTAICI RACCOLTI NEI PRINCIPALI PAESI UE

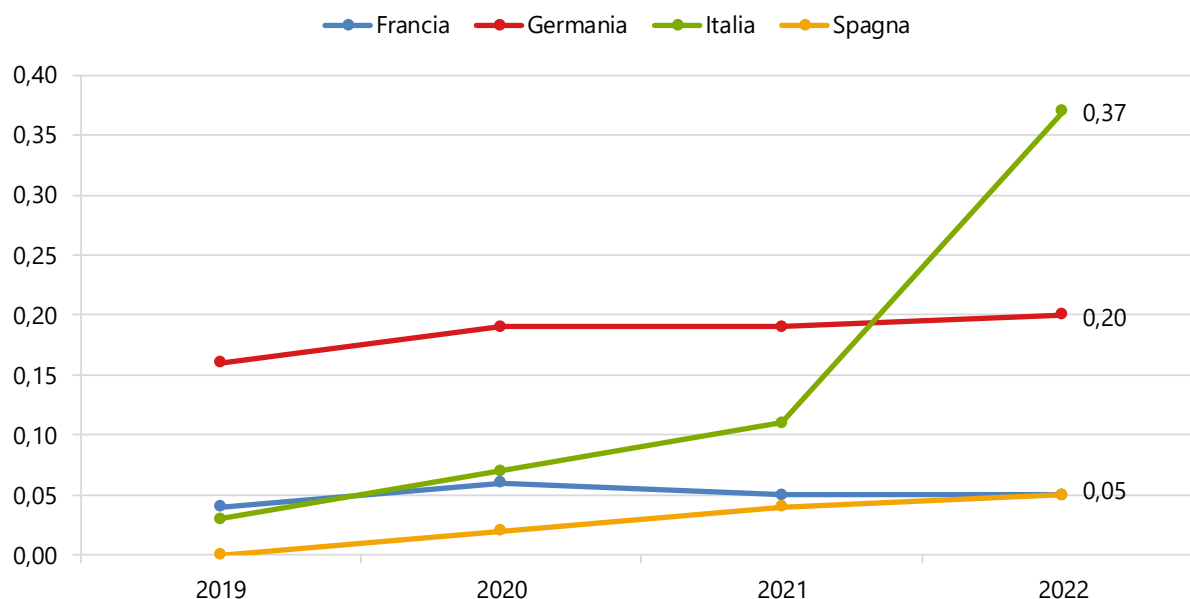
Valori in tonnellate, anni 2019-2022



Fonte: elaborazioni REF su dati EUROSTAT

QUANTITÀ DI PANNELLI FOTOVOLTAICI RACCOLTI NEI PRINCIPALI PAESI UE

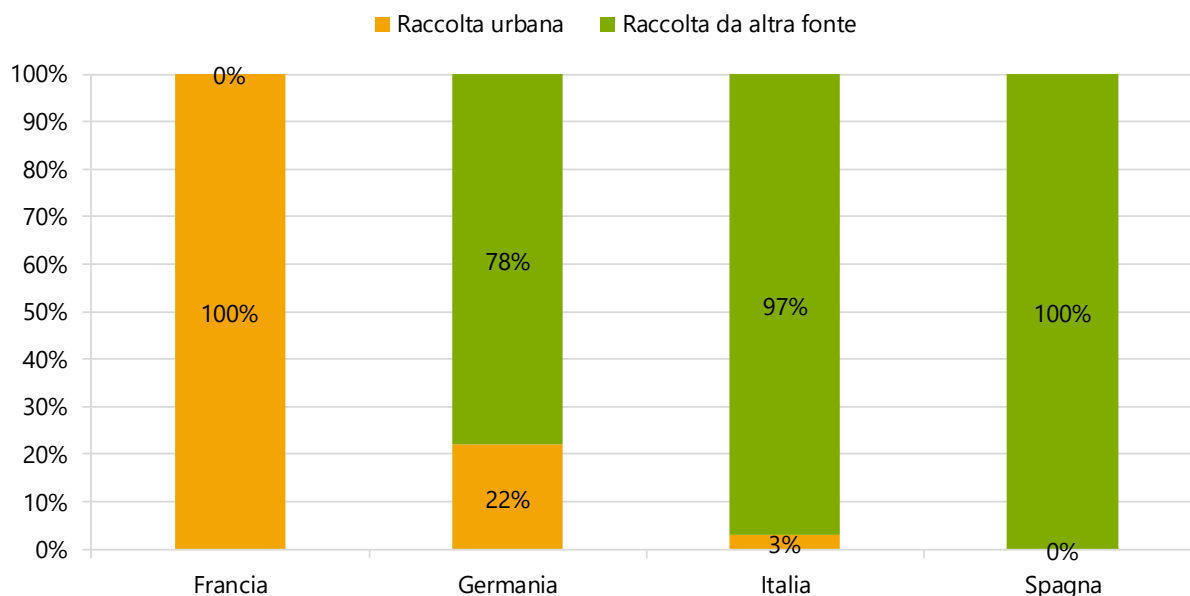
Valori in chilogrammi pro capite, anni 2019-2022



Fonte: elaborazioni REF su dati EUROSTAT

DISTRIBUZIONE PERCENTUALE DELLE FONTI DI RACCOLTA DEI RIFIUTI FOTOVOLTAICI NEI PRINCIPALI PAESI UE

Valori in percentuale, anno 2022



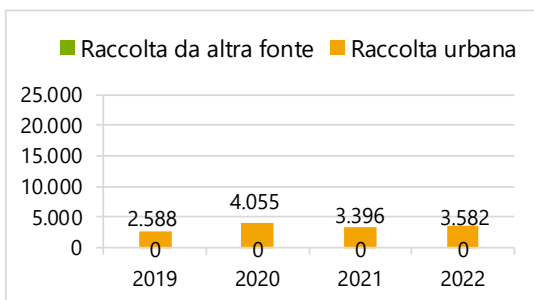
Fonte: elaborazioni REF su dati EUROSTAT

Un dato interessante riguarda l'evoluzione italiana: tra il 2019 e il 2022, si è registrato un aumento di 3 punti percentuali della raccolta urbana sul totale, a segnalare che il conferimento in isola ecologica da parte dei cittadini sta gradualmente aumentando. Nel 2022, in Italia nelle isole ecologiche sono stati raccolte 628 tonnellate di rifiuti da pannelli fotovoltaici, a fronte delle 3.600 tonnellate circa intercettate in Francia e Germania.

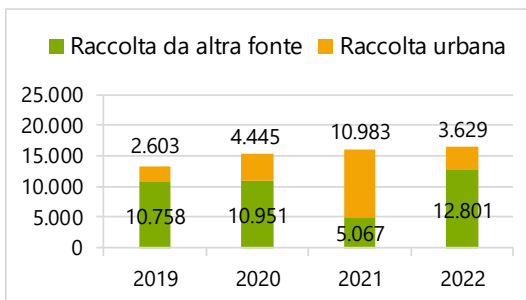
LE QUANTITÀ DI RIFIUTI FOTOVOLTAICI RACCOLTE DA FONTE URBANA E DA ALTRA FONTE NEI PRINCIPALI PAESI UE

Valori in tonnellate, anni 2019-2022

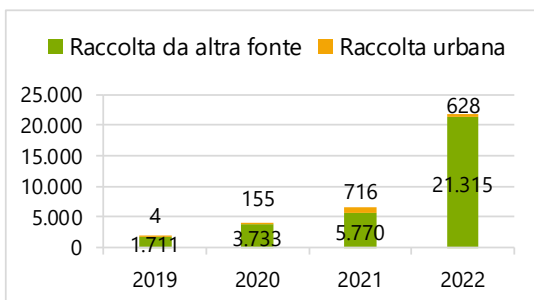
A. Francia



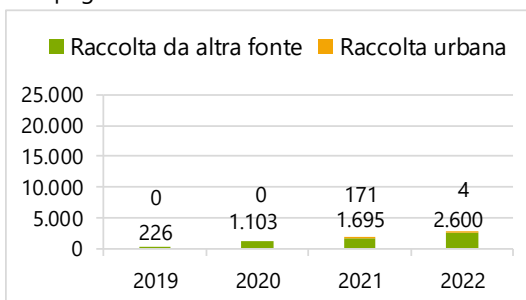
B. Germania



C. Italia



D. Spagna



Fonte: elaborazioni REF su dati EUROSTAT

La dismissione dei pannelli fotovoltaici in Italia, Francia, Germania e Spagna

In Italia, un impianto è considerato domestico se ha una potenza pari o inferiore a 10 kW²⁴. Nel caso di pannelli installati su edifici residenziali, è sempre l'utente domestico a doversi fare carico delle operazioni preliminari di dismissione, organizzando la rimozione fisica dei moduli dal tetto, avvalendosi, nella quasi totalità dei casi, del supporto di installatori specializzati. Di conseguenza, il conferimento diretto da parte dei cittadini presso le isole ecologiche è piuttosto limitato. Per questo motivo, anche se originati da impianti domestici, **i rifiuti fotovoltaici da pannelli domestici vengono spesso gestiti in analogia con quelli professionali, disinstallati, conferiti e smaltiti secondo i canali tipici di questi ultimi.**

In Francia, la soglia per la classificazione domestica (100kW²⁵) è significativamente più alta di quella per l'Italia. Gli utenti con meno di 40 pannelli devono provvedere alla consegna diretta presso uno dei 230 punti di raccolta autorizzati, oppure portarli presso un distributore che accetti questo tipo di rifiuti. In alternativa, è possibile affidarne il ritiro all'installatore nel caso si proceda alla installazione di nuovi pannelli. Per gli utenti con più di 40 pannelli, è invece prevista la possibilità di richiedere una raccolta presso il sito, gestita da operatori specializzati, senza obbligo di trasporto da parte del proprietario²⁶.

In Germania, i privati possono smaltire gratuitamente i pannelli presso i centri di raccolta municipali, dove i pannelli vengono classificati per tipologia anziché per produttore. Nel caso degli impianti

²⁴ [Decreto Legislativo 49/2014](#).

²⁵ [Installation de panneaux solaires : vous avez droit à des aides ! | Ministère de l'Économie des Finances et de la Souveraineté industrielle et numérique](#)

²⁶ [Je veux savoir que faire de mes panneaux photovoltaïques | Ministères Aménagement du territoire Transition écologique](#).

professionali, i produttori devono farsi carico della raccolta, del trattamento e del finanziamento del fine vita dei pannelli fotovoltaici²⁷.

In Spagna, il ritiro gratuito è garantito dall'installatore o dal distributore in occasione della sostituzione dei pannelli. In alternativa, i pannelli possono essere conferiti presso centri di raccolta affiliati a sistemi collettivi, che mettono a disposizione mappe per individuare le strutture più prossime sul territorio²⁸.

Il recupero del rifiuto fotovoltaico in Italia, Germania, Francia e Spagna

Nel grafico sottostante, che guarda al dato in valore assoluto (tonnellate), emerge con chiarezza che **l'avvio a riciclo rappresenta la modalità di recupero pressoché esclusiva in tutti i paesi analizzati, mentre la preparazione al riutilizzo rimane trascurabile**²⁹. La preparazione al riutilizzo dei pannelli fotovoltaici è ancora poco diffusa per ragioni economiche: il basso costo dei pannelli nuovi, in costante diminuzione dall'avvio del primo Conto Energia³⁰, anche per via delle importazioni dai paesi asiatici, rende poco competitivo il riutilizzo rispetto all'acquisto. Inoltre, la preparazione per il riutilizzo dei pannelli fotovoltaici è disincentivata anche dalle responsabilità operative e di gestione del fine vita che ricadono sul soggetto che reimmette il prodotto sul mercato in seguito alla preparazione per il riutilizzo.

Analizzando le tendenze di recupero nei quattro paesi, si osserva la crescita costante della Germania nei quantitativi di rifiuti fotovoltaici avviati a riciclo, passati da 11.953 tonnellate nel 2019 a 15.195 tonnellate nel 2022. **Nel 2022, l'Italia ha superato la Germania, raggiungendo una quantità superiore alle 19mila tonnellate avviate a riciclo.** L'Italia si è distinta inoltre per una crescita particolarmente significativa dell'avvio a riciclo durante il periodo analizzato, in concomitanza con l'aumento dei rifiuti intercettati. Sul fronte della preparazione al riutilizzo invece, anche l'Italia non brilla per volumi gestiti: nel 2022 sono solo 68 le tonnellate di RAEE fotovoltaici preparati per il riutilizzo.³¹

L'aumento dei volumi avviati a riciclo è in parte attribuibile all'aggiornamento degli obiettivi normativi dell'UE: a partire dal 2019 l'Unione Europea ha infatti innalzato l'obiettivo di avvio riciclo per i pannelli fotovoltaici immessi sul mercato, dal 45% all'85%³².

In Italia, il recupero dei pannelli è attualmente gestito da un numero contenuto di impianti: una decina di impianti operativi dedicati, localizzati prevalentemente nelle regioni del centro-nord.

³³ **Di converso,** in Germania e Francia, sono già attivi impianti dedicati su scala industriale. La capacità di recupero italiana, ad ogni modo, è in aumento, grazie ai nuovi investimenti infrastrutturali supportati dal PNRR (cfr. Riquadro).

²⁷ [gesetz elektrog3 final fassung ab 20221231.pdf. End-of-Life Management von Solaranlagen und PV-Modulen: Kreislaufwirtschaft stärkt das Zukunftspotenzial der Photovoltaik.](#)

²⁸ <https://ecolec.es/greenblog/con-tinta-verde/donde-reciclar-paneles-solares/>.

²⁹ Fonte: [EUROSTAT](#).

³⁰ <https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2025/10/NSR-of-PV-Power-Applications-in-Italy-2024.pdf>.

³¹ Fonte: [EUROSTAT](#).

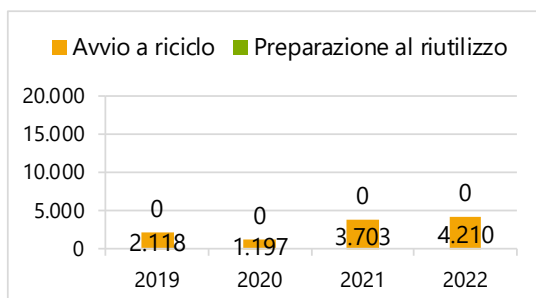
³² [Direttiva 2012/19/UE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 4 luglio 2012, sui rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche \(RAEE\) Testo rilevante ai fini del SEE.](#)

³³ [ENEA, la sfida del riciclo dei pannelli solari si vince con la ricerca.](#)

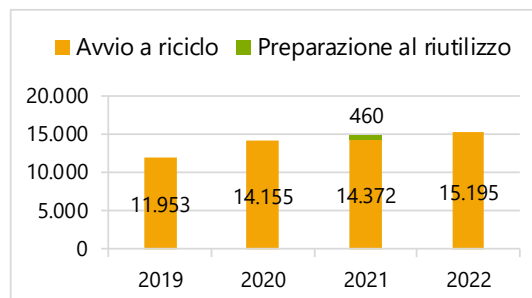
IL RECUPERO DEI PANNELLI FOTOVOLTAICI NEI PRINCIPALI PAESI UE

Valori in tonnellate, anni 2019-2022

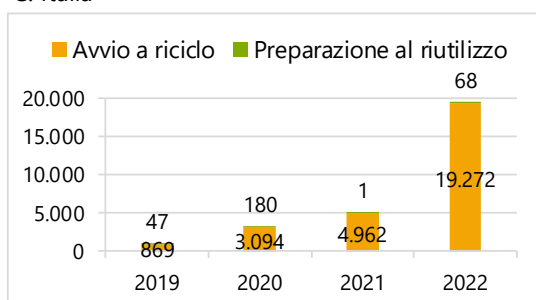
A. Francia



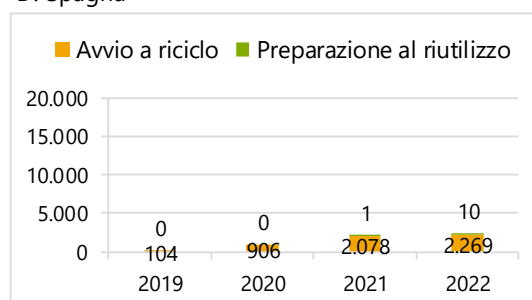
B. Germania



C. Italia



D. Spagna



Fonte: elaborazioni REF su dati EUROSTAT

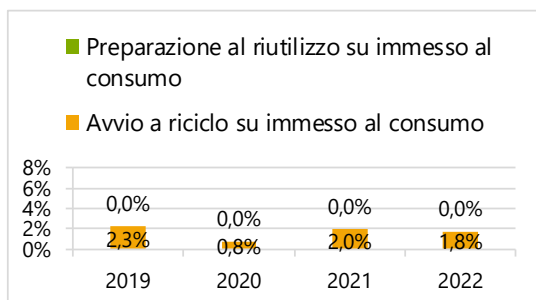
Per quanto riguarda il recupero dei pannelli fotovoltaici analizzato in rapporto all'immesso al consumo nazionale nel periodo 2019-2022, **l'Italia mostra un trend crescente nell'avvio a riciclo rispetto all'immesso al consumo**. Si passa infatti da un valore dell'1,6% nel 2019 a un 6,5% nel 2022, mentre la Germania, al contrario, presenta una tendenza opposta: la quota di avvio a riciclo in rapporto all'immesso al consumo era del 4,4% nel 2019 e nel 2020, ma è progressivamente calata fino a raggiungere il 2,2% nel 2022.

È interessante evidenziare che in Italia, nel corso del periodo analizzato, si è ulteriormente accentuata la rilevanza dell'avvio a riciclo rispetto alla preparazione al riutilizzo: nel 2019, l'avvio a riciclo rappresentava il 94,9% del totale delle forme di recupero (avvio a riciclo + preparazione al riutilizzo), e ha raggiunto il 99,6% nel 2022.

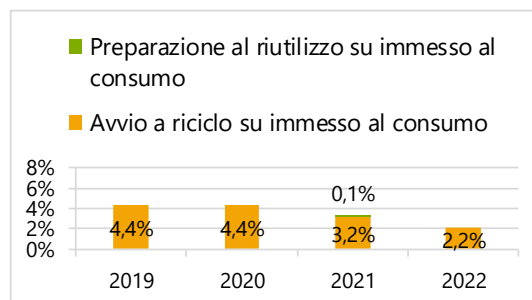
IL RECUPERO DEI PANNELLI FOTOVOLTAICI SULL'IMMESSO AL CONSUMO NEI PRINCIPALI PAESI UE

Valori in percentuale, anni 2019-2022

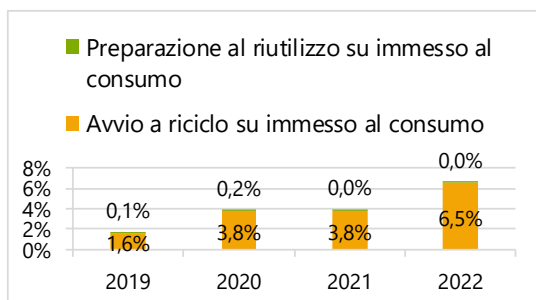
A. Francia



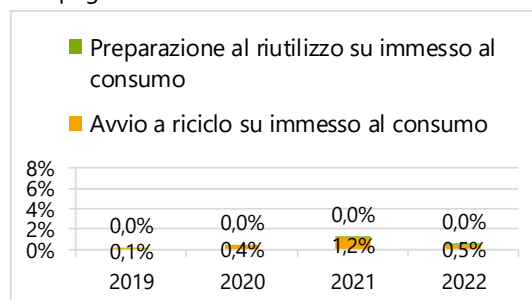
B. Germania



C. Italia



D. Spagna



Fonte: elaborazioni REF su dati EUROSTAT

Il grafico seguente propone un **confronto** tra i quattro paesi europei in merito alla **destinazione di primo trattamento** dei rifiuti fotovoltaici a fine vita³⁴, dove per trattamento si intendono le operazioni di **recupero** o **smaltimento**, inclusa la preparazione preliminare a tali operazioni³⁵.

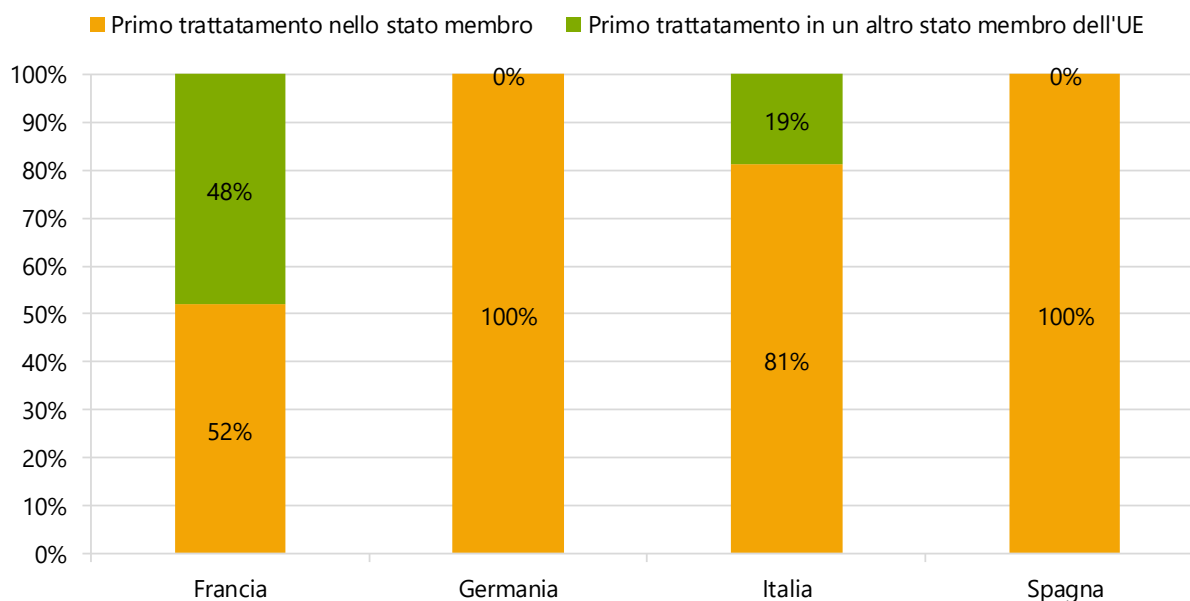
La scelta del luogo in cui avviare i pannelli a fine vita per il primo trattamento (ovvero presso impianti di "primo destino", nazionali o situati all'interno di un altro Stato membro dell'UE) varia sensibilmente tra i paesi analizzati. La Francia tratta solo parzialmente i propri rifiuti a livello nazionale, con il 52% avviato ad impianti di primo trattamento situati sul proprio territorio. Al contrario, **Spagna, Germania e Italia effettuano in via quasi totalitaria il primo trattamento all'interno dei confini nazionali**, con valori pari rispettivamente al 100% per Spagna e Germania, e all'81% per l'Italia. Tuttavia, l'Italia ha registrato nel tempo una riduzione in termini di gestione nazionale dei rifiuti fotovoltaici sul totale trattato: fra il 2019 e il 2022 la **quota di rifiuti trattati in impianti situati in un altro Stato membro dell'UE sul totale è aumentata di 19 punti percentuali, a discapito del trattamento interno**, a segnalare la mancanza di capacità impiantistica di trattamento a fronte dell'aumento dei volumi raccolti. Al contrario, la Francia ha mostrato una tendenza opposta, con una diminuzione di 44 punti percentuali della quota di rifiuti avviati in un altro stato membro UE per un primo trattamento nel medesimo periodo.

³⁴ Fonte: [EUROSTAT](#).

³⁵ [Information on data - Waste - Eurostat](#).

DISTRIBUZIONE PERCENTUALE DELLE DESTINAZIONI DI PRIMO TRATTAMENTO DEI RIFIUTI NEI PRINCIPALI PAESI UE

Valori in percentuale, anno 2022



Fonte: elaborazioni REF su dati EUROSTAT

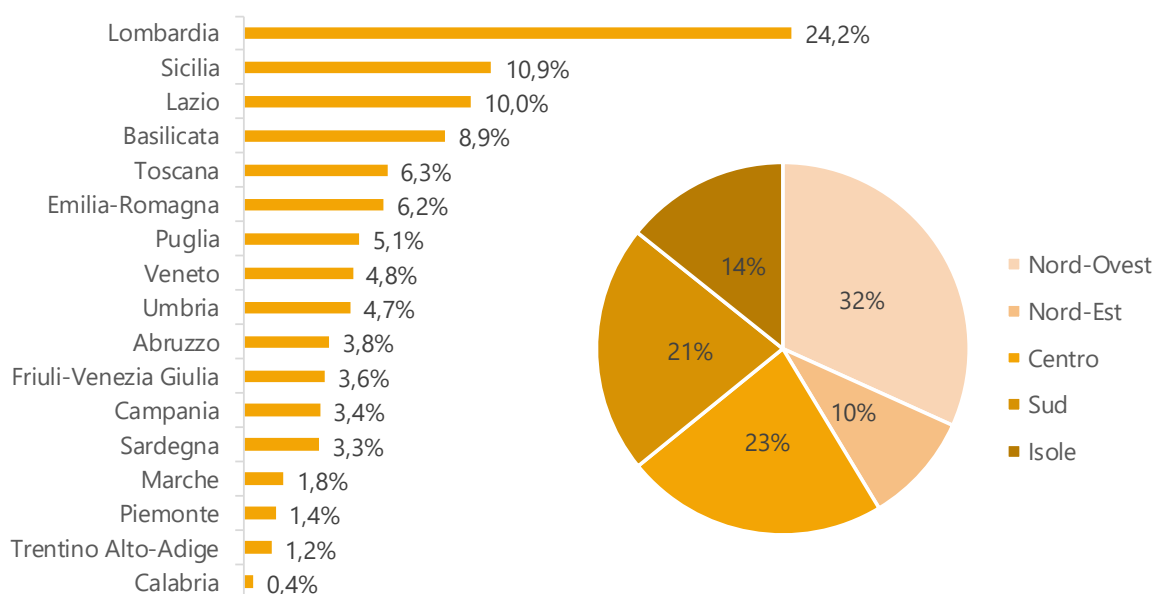
La filiera del fotovoltaico al centro degli investimenti RAEE del PNRR

Gli **investimenti del PNRR destinati alla gestione dei RAEE** (Rifiuti da Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche) **ammontano a 121 milioni di euro**, di cui quasi un quarto è assegnato alla Lombardia, mentre il 59% va alle regioni del Centro-Sud. Si evidenzia che più di un quinto (21,1%) degli investimenti PNRR nel settore RAEE riguarda l'industria del riciclo, recupero e smaltimento dei pannelli fotovoltaici.

I principali beneficiari dei finanziamenti per il riciclo dei RAEE sono Lombardia (24,2%), Sicilia (10,9%), Lazio (10%), Basilicata (8,9%), Toscana (6,3%) ed Emilia-Romagna (6,2%). Questo **scenario conferma un rafforzamento della filiera del riciclo e della gestione dei RAEE, anche fotovoltaici, al Nord, dunque, nelle stesse regioni in cui sono già presenti impianti di trattamento di pannelli fotovoltaici**. Ad ogni modo, **le risorse destinate anche a Sicilia, Lazio, Basilicata e Toscana, sembrano suggerire un rafforzamento della filiera anche nei territori al Centro-Sud**, favorendo uno sviluppo più equilibrato e capillare degli impianti sul territorio nazionale.

LO STANZIAMENTO DEI FONDI DEL PNRR PER I RAEE PER REGIONE E MACROAREA

Milioni di euro % dei fondi sul totale delle risorse della Linea di investimento "A"



Fonte: elaborazioni REF su dati MASE, piano di Investimento 1.2

Scenari evolutivi della potenza installata per la produzione di energia fotovoltaica in Italia

L'obiettivo del presente capitolo è indagare e delineare una possibile traiettoria evolutiva della nuova capacità installata per la generazione di energia fotovoltaica in Italia. Viene qui di seguito presentato uno scenario elaborato da REF di nuova capacità fotovoltaica attesa entrare in esercizio tra il 2025 e il 2050³⁶, basato sull'analisi di elementi quali le politiche energetiche e climatiche attuali (PNIEC), l'evoluzione della domanda elettrica, le ipotesi di sviluppo tecnologico e dei costi, e le dinamiche di offerta. Per approfondimenti sulle assunzioni alla base dello scenario si rimanda all'Allegato 1.

La figura illustrata di seguito mostra la proiezione della potenza in esercizio anno per anno dal 2025 al 2050 in Italia.

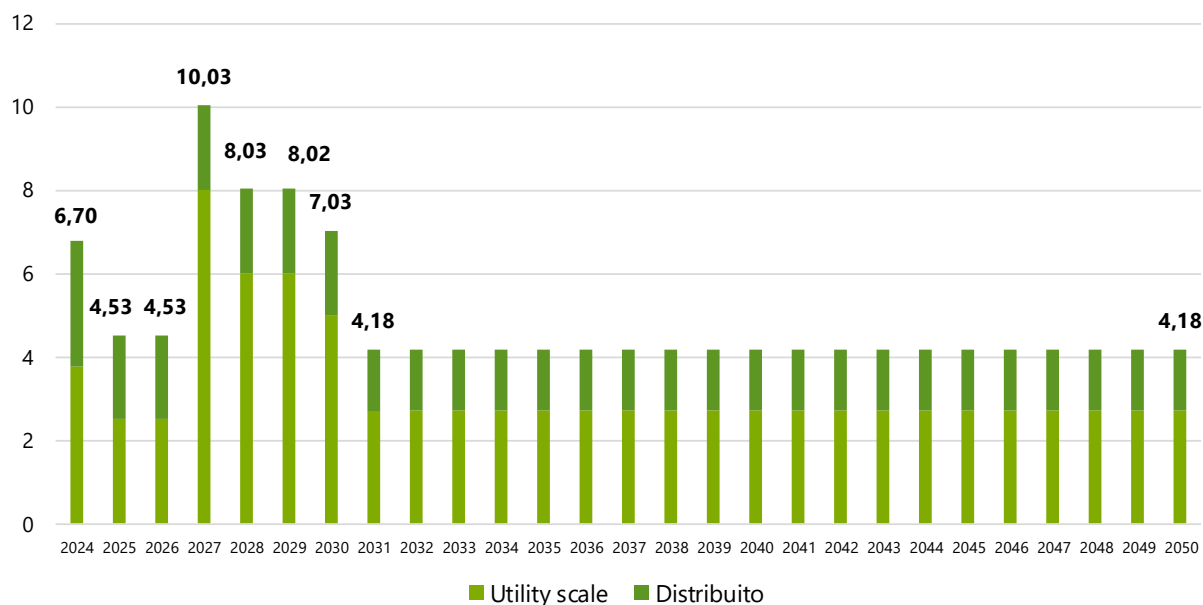
Secondo le stime, tra il 2025 e il 2026 si registrerà un rallentamento temporaneo delle nuove installazioni di impianti fotovoltaici, seguito da una netta ripresa nel quadriennio successivo. Il picco di nuova capacità installata verrà raggiunto nel 2027, con 10,03 GW, per poi diminuire progressivamente fino a 4,18 GW nel 2031. A partire da quell'anno e fino al 2050, la nuova capacità

³⁶ La capacità futura che entrerà in esercizio anno per anno è stata calcolata come la differenza tra la capacità installata a fine anno e quella dell'anno precedente, per ciascun anno dal 2025 al 2050. Questo calcolo è stato effettuato a partire da uno scenario di riferimento (Scenario REF) relativo alla capacità installata a fine anno nel periodo 2024-2050. Per maggiori informazioni sulla metodologia utilizzata per la realizzazione della capacità installata a fine anno dal 2024 al 2025 si veda il box metodologico "Le proiezioni di capacità fotovoltaica installata in Italia – le assunzioni (2025-2050) dello Scenario REF" di questa sezione.

annuale entrerà in esercizio a un ritmo costante di 4,18 GW, in coerenza con l'obiettivo di coprire il 40% della domanda elettrica nazionale attraverso il fotovoltaico.

LA POTENZA INSTALLATA ANNO PER ANNO DEI MODULI FOTOVOLTAICI IN ITALIA

Valori in megawatt, anni 2009-2024



Fonte: elaborazioni REF

La Responsabilità del Produttore nella gestione del rifiuto fotovoltaico non incentivato

Il D.lgs. 49/2014³⁷, che recepisce la Direttiva Europea RAEE (2012/19/UE³⁸), disciplina la gestione dei rifiuti da apparecchiature elettriche ed elettroniche, includendo i pannelli fotovoltaici. In particolare, introduce due distinzioni fondamentali: tra pannelli di origine domestica (installati in impianti di potenza fino a 10 kW) e professionale (oltre i 10 kW), e tra pannelli incentivati e non incentivati dai Conti Energia. Come verrà illustrato in seguito, la distinzione tra **domestico e professionale** è determinante per **individuare il soggetto responsabile** della corretta raccolta e trattamento del pannello una volta divenuto rifiuto.

Nel presente capitolo si pone il focus sull'attuale modello di responsabilità estesa del produttore applicato alla gestione dei rifiuti derivanti dai pannelli fotovoltaici non incentivati (c.d. "delle garanzie") e sulle limitazioni che esso presenta. Questa categoria presenta il quadro normativo più complesso, in quanto, a differenza dei pannelli incentivati in C.E., non è vigilata da un ente pubblico (il GSE) e non è sorretta da un importo del contributo EPR stabilito per legge, come è per il caso dei pannelli incentivati.

³⁷ [D.Lgs. 49/2014.](#)

³⁸ [Direttiva 2012/19/UE.](#)

Giova ricordare che con la conclusione dei programmi di incentivazione legati ai Conti Energia, **la quota di pannelli non incentivati che giungono a fine vita sul totale intercettato è in costante crescita: una tendenza destinata a rafforzarsi nei prossimi anni.**

Il modello di gestione e di finanziamento

Se per il caso dei **pannelli incentivati in CE è il proprietario** dell'impianto incentivato (il Soggetto Responsabile) ad essere tenuto al finanziamento e alla corretta gestione dei moduli a fine vita, la gestione del fine vita dei **pannelli non incentivati è demandata ai produttori**. Produttori e importatori sono infatti tenuti per legge a organizzare e finanziare la raccolta, il trattamento e la gestione a fine vita per questa categoria di prodotti.

Attualmente coesistono due modelli di finanziamento dei pannelli fotovoltaici a fine vita per i pannelli di tipo domestico, a seconda della loro data di immissione sul mercato: per i pannelli domestici immessi prima del 12 aprile 2014 vige un sistema "generazionale", mentre per i pannelli domestici e per i pannelli professionali immessi sul mercato dal 02 febbraio 2016 è in vigore il sistema delle garanzie finanziarie, con un contributo per ciascun pannello depositato in un *trust*, e destinato a finanziare la gestione dei pannelli al momento della loro dismissione.

Per i pannelli immessi sul mercato **prima del 12 aprile 2014**, la normativa prevede delle modalità di finanziamento della gestione del fine vita differenti tra pannelli domestici e professionali. Nel caso domestico, i pannelli possono essere conferiti gratuitamente presso i centri di raccolta e i costi del trattamento a fine vita sono ripartiti tra i produttori attivi anno per anno³⁹ (c.d. "sistema generazionale"). Nel caso dei pannelli professionali, invece, il produttore copre i costi solo in caso di sostituzione 1-contro-1 con un'apparecchiatura equivalente; negli altri casi, i costi sono a carico del detentore⁴⁰.

Per i pannelli immessi **dopo il 2 febbraio 2016**, il produttore deve versare un **contributo economico** in un sistema collettivo o individuale, associato al singolo pannello tramite il numero di matricola, ovvero il *numero seriale* riportato fisicamente sul pannello, per garantire i fondi necessari al trattamento a fine vita del pannello stesso⁴¹. Una modifica normativa più recente⁴² ha inoltre disposto che i sistemi collettivi e individuali depositano il **contributo ambientale** in un fondo *trust* secondo le specifiche tecniche stabilite dal GSE nel disciplinare tecnico⁴³.

Ad ogni modo, l'articolo 24-bis comma 1 del D.Lgs. 49/2014⁴⁴, stabilisce che il finanziamento della gestione dei RAEE fotovoltaici **spetta sempre al produttore, indipendentemente dalla data di immissione e dalla tipologia d'uso.**

In sintesi, coesistono una variabilità di geometrie e percorsi che non agevola la gestione, peraltro accompagnata da dubbi interpretativi. In questo contesto, non è chiara l'interpretazione circa il regime

³⁹ Art. 23 comma 1 del [D.Lgs. 49/2014](#).

⁴⁰ Art. 24 comma 1 del [D.Lgs. 49/2014](#).

⁴¹ Art. 40 del [D.Lgs. 49/2014](#).

⁴² Art. 24-bis del D.Lgs. 49/2014, introdotto con il [D.Lgs. 118/2020](#) ed entrato in vigore il 27 settembre 2020.

⁴³ [Disciplinare tecnico GSE](#).

⁴⁴ Modifica introdotta dal [D.Lgs. 118/2020](#).

a cui dovrebbero essere assoggettati i pannelli immessi sul mercato nel periodo intercorso tra l'entrata in vigore del Decreto (12 aprile 2014) e quella dell'entrata in vigore della modifica che ha introdotto la disposizione specifica (2 febbraio 2016).

IL MODELLO DI GESTIONE DEL RIFIUTO FOTOVOLTAICO NON INCENTIVATO DAL C.E.

Pannelli immessi prima del 12/04/2014		Pannelli immessi dopo il 02/02/2016
Domestici	Professionali	Domestici e professionali
Sistema di finanziamento generazionale: il detentore del pannello può conferire gratuitamente i moduli di cui intende disfarsi presso un centro di raccolta collettivo e i costi della gestione del fine vita di tali moduli sono a carico dei produttori presenti sul mercato anno per anno (Art. 23 comma 1 del D.Lgs. 49/2014).		I sistemi individuali e collettivi adottano una garanzia finanziaria simile a quella prevista per i pannelli incentivati: a ogni modulo è associato un contributo ambientale, stabilito dal consorzio del produttore, per coprire i costi di gestione a fine vita (Art. 40, D.Lgs. 49/2014). Per i pannelli immessi sul mercato dopo il 27 settembre 2020, tale contributo deve coprire integralmente i costi di smaltimento ed essere versato in un trust con caratteristiche conformi a quelle richieste dal GSE nel disciplinare tecnico. (Art. 24-bis - introdotto tramite il D. Lgs 3 settembre 2020, n. 118, entrato in vigore il 27 settembre 2020)
Il finanziamento della gestione del RAEE fotovoltaico è a carico dei produttori indipendentemente dalla data di immissione sul mercato e dall'origine domestica o professionale di tali pannelli, fatti salvi gli strumenti di garanzia finanziaria attivati dai produttori per la gestione del fine vita dei pannelli fotovoltaici incentivati posti in essere prima della entrata in vigore del D.Lgs. 49/2014 (Art. 24-bis comma 1 del D.Lgs. 49/2014).		

Fonte: elaborazioni REF

Il sistema per i **pannelli non incentivati** è caratterizzato da un **modello concorrenziale**, in cui i produttori **aderiscono liberamente a uno dei consorzi riconosciuti** (sono 14 quelli aderenti al Centro di Coordinamento RAEE – CdC RAEE⁴⁵). Ciascun consorzio **fissa autonomamente il valore del contributo ambientale**, che può variare significativamente da consorzio a consorzio e che viene vincolato in un fondo *trust* per un periodo molto lungo, pari alla vita utile media dei pannelli (20–25 anni)⁴⁶.

L'indicazione di richiedere ai produttori almeno **1€/pannello, pur rappresentando un riferimento, non è vincolante e risulta, in ogni caso, notevolmente inferiore rispetto ai valori previsti per i pannelli incentivati, per i quali la normativa stabilisce contributi obbligatori di 10 o 20€/pannello**⁴⁷. Questa discrepanza solleva dubbi sulla sostenibilità economica del sistema attualmente in vigore per i pannelli non incentivati, e in particolare sulla reale capacità di coprire i

⁴⁵ [Sistemi Collettivi - CdC RAEE | Centro di Coordinamento RAEE](#)

⁴⁶ Il disciplinare tecnico del GSE del 2012 raccomanda un valore del contributo non inferiore a 1€/pannello [Disciplinare tecnico GSE](#).

⁴⁷ Nel caso in cui il produttore scelga di affidare la gestione del fine vita dei propri pannelli fotovoltaici incentivati a un consorzio riconosciuto, la garanzia finanziaria da versare è pari a 10 €/pannello, come previsto dal Decreto Legislativo 118/2020, che ha modificato il D.Lgs. 49/2014. In alternativa, qualora il produttore non opti per un consorzio, la garanzia è trattenuta direttamente dal GSE ed è pari a 20 €/pannello, come stabilito dagli articoli 24-bis e 40 del D.Lgs. 49/2014.

costi di gestione a fine vita, alla luce dell'onere amministrativo e dei costi associati alla identificazione delle garanzie, al trasporto e allo smaltimento o recupero dei pannelli fotovoltaici.

Infatti, laddove gli importi segregati nei trust non dovessero risultare capienti rispetto ai costi, i maggiori oneri dovrebbero essere coperti nuovamente dai produttori: laddove i produttori non fossero più presenti sul mercato i costi graverebbero sulla collettività.

La mancanza di una copertura economica potrebbe peraltro incentivare comportamenti opportunistici, come l'esportazione dei pannelli fotovoltaici dismessi verso paesi privi di infrastrutture di trattamento, e/o il loro abbandono e smaltimento improprio, dunque impatti ambientali significativi. Peraltro, una gestione non conforme si porrebbe in contrasto con gli indirizzi comunitari che chiedono di sostenere il recupero di materia (vetro, alluminio, silicio, argento), compromettendo lo sviluppo di una filiera circolare nazionale⁴⁸.

Un'ulteriore caratteristica del sistema vigente riguarda la **distinzione del tutto arbitraria tra pannelli domestici e professionali**. Infatti, dal momento che la natura domestica o professionale non è una caratteristica intrinseca del pannello, ma dipende dall'impianto in cui verrà installato, all'atto dell'immissione sul mercato è impossibile sapere se quel pannello sarà domestico o professionale.

Per questo motivo, per convenzione, la percentuale di pannelli fotovoltaici ad uso domestico sul totale dei pannelli immessi sul mercato è posta pari alla percentuale di energia annualmente prodotta dagli impianti fotovoltaici domestici sul totale (il cosiddetto coefficiente Terna). Tuttavia, questa proporzione "teorica" non sembra riflettere adeguatamente la reale incidenza dei pannelli domestici sul totale.

Peraltro, **la raccolta dei pannelli di tipo domestico avviene quasi esclusivamente tramite il canale degli operatori professionali, rendendo la gestione dei RAEE domestici pressoché assimilata a quella dei RAEE professionali**. A livello economico, l'assimilazione operativa tra queste due categorie ha conseguenze rilevanti. I produttori si trovano infatti a sostenere un **doppio onere economico perché** al versamento della garanzia finanziaria per il trattamento futuro dei pannelli si somma anche il finanziamento dei RAEE domestici del raggruppamento R4 sulla base dell'impresso al consumo (in peso). Ciò nonostante, questi ultimi rappresentino solo una porzione trascurabile dei RAEE del raggruppamento R4 effettivamente raccolti e gestiti⁴⁹.

Nel sistema attualmente in vigore, la tracciabilità dei pannelli fotovoltaici a fine vita si basa sull'identificazione univoca di ciascun modulo tramite il **numero di matricola**. Tale codice consente di risalire al produttore originario e, di conseguenza, al consorzio responsabile per la gestione del modulo, permettendo l'**accesso alle risorse accantonate nei trust** in fase di immissione sul mercato. Nel momento in cui un pannello viene raccolto e avviato a trattamento, il consorzio incaricato procede alla lettura della matricola, che rappresenta il passaggio chiave per lo **svincolo del contributo EPR** (Extended Producer Responsibility) corrispondente. Tuttavia, l'effettiva lettura del seriale può risultare

⁴⁸ ENEA (2020). [Il pannello fotovoltaico, una miniera di risorse se il fine vita è virtuoso](#). *Energia, ambiente e innovazione*, 2, 152–156.

⁴⁹ All'interno di questo raggruppamento, i pannelli fotovoltaici rientrano formalmente nel Raggruppamento R4 – sezione A, appositamente previsto dalla normativa per distinguerli dagli altri rifiuti di piccole apparecchiature elettroniche.

complessa in presenza di moduli che, dopo anni di esposizione, presentano codici danneggiati, illeggibili o non riconducibili in modo certo al produttore. In questi casi, pur procedendo al trattamento del rifiuto, non è possibile collegare il pannello a un Consorzio, e quindi le risorse restano accantonate nel *trust*. Anche nei casi in cui la matricola sia leggibile, le operazioni di individuazione, verifica e associazione richiedono **tempi e risorse operative** che incidono sulla sostenibilità economica del sistema, soprattutto in relazione al valore medio del contributo ambientale versato per modulo.

Infine, la raccolta dei pannelli a fine vita e il mercato del trattamento, per quanto riguarda i pannelli domestici conferiti presso le isole ecologiche e appartenenti al raggruppamento R4, è organizzata dal CdC RAEE, l'organo di coordinamento e vigilanza della filiera RAEE, il quale assegna i lotti di raccolta ai consorzi in base a criteri che considerano la quota di mercato e criteri geografici⁵⁰, applicando sanzioni nel caso di inadempienze nel ritiro⁵¹.

La garanzia finanziaria nel Disciplinare Tecnico GSE del 2012

Sulla base delle indicazioni fornite dal GSE nel Disciplinare Tecnico del 2012⁵², il Sistema Collettivo/Consorzio è tenuto a dimostrare di aver attivato uno strumento negoziale che sia:

- espressamente ed esclusivamente vincolato alla gestione del fine vita dei pannelli fotovoltaici;
- alimentato con un contributo unitario per ciascun pannello garantito, pari ad almeno due terzi del costo totale unitario sostenuto dal Sistema/Consorzio nell'anno solare precedente per la gestione dei rifiuti, comprensivo di tutti i costi operativi (raccolta, trasporto, stoccaggio, trattamento, ecc.) e costi generali sostenuti per la gestione dei rifiuti da pannelli fotovoltaici dal Sistema/Consorzio;

In assenza di dati sui costi di gestione riferiti all'anno precedente, il contributo non potrà essere inferiore a $1,00 \text{ €} * \text{Peso pannello (kg)} / 20 \text{ kg}$.

Inoltre, il fondo così costituito deve essere:

- gestito da un soggetto esterno al Sistema/Consorzio, in modo da essere separato e indisponibile da parte di quest'ultimo;
- non pignorabile né soggetto a procedure concorsuali;
- accessibile esclusivamente per la gestione dei pannelli per cui i contributi sono stati accantonati;
- rendicontabile su richiesta del GSE, anche in merito all'ammontare dei pannelli gestiti e alle somme accantonate;
- sottoposto al controllo di un Garante indipendente, appartenente alla Magistratura o a forze dell'ordine con comprovata esperienza nella gestione di fondi patrimoniali o finanziari.

⁵⁰ Volti a distribuire uniformemente le diverse aree di cui si compone il territorio.

⁵¹ [Regolamento sanzioni CdC RAEE](#)

⁵² Ivi.

2050: immesso al consumo, pannelli a fine vita e costi di gestione

La figura allegata illustra le due variabili chiave che guidano l'evoluzione futura dei RAEE fotovoltaici: l'evoluzione dell'immesso al consumo passata e prospettica e la stima dei pannelli fotovoltaici che giungono a fine vita. La figura mostra sia **le stime storiche** (per il periodo 2016⁵³-2024) sia le **stime prospettiche** (2025-2050) riguardanti il **numero di pannelli non incentivati dal Conto Energia immessi sul mercato anno per anno nel nostro paese**. Per una panoramica sulla metodologia utilizzata per calcolare l'immesso al consumo non incentivato entrato in esercizio fino al 2050, si veda l'Allegato 2 in appendice.

La quota di pannelli immessi al consumo per effetto di **revamping/repowering**⁵⁴, **rispetto alla complessiva entrata in esercizio, cresce progressivamente nel corso degli anni, in linea con gli obiettivi indicati nel PNIEC**, che indicano nella generazione da fonte solare uno degli ingredienti della transizione energetica⁵⁵: un indirizzo che si traduce in una progressiva crescita della quota di pannelli non incentivati sul totale. La quota di pannelli non incentivati immessi per *revamping/repowering* è, più precisamente, stimata intorno al 28% nel periodo 2025-2050.

Nel 2050 si stima che possano essere **allacciati alla rete oltre 20 milioni di pannelli fotovoltaici**, un valore comparabile solo con i picchi per gli anni tra il **2027 e il 2029**: si tratta di quantità **quasi doppie** rispetto a quelle registrate nel 2024.

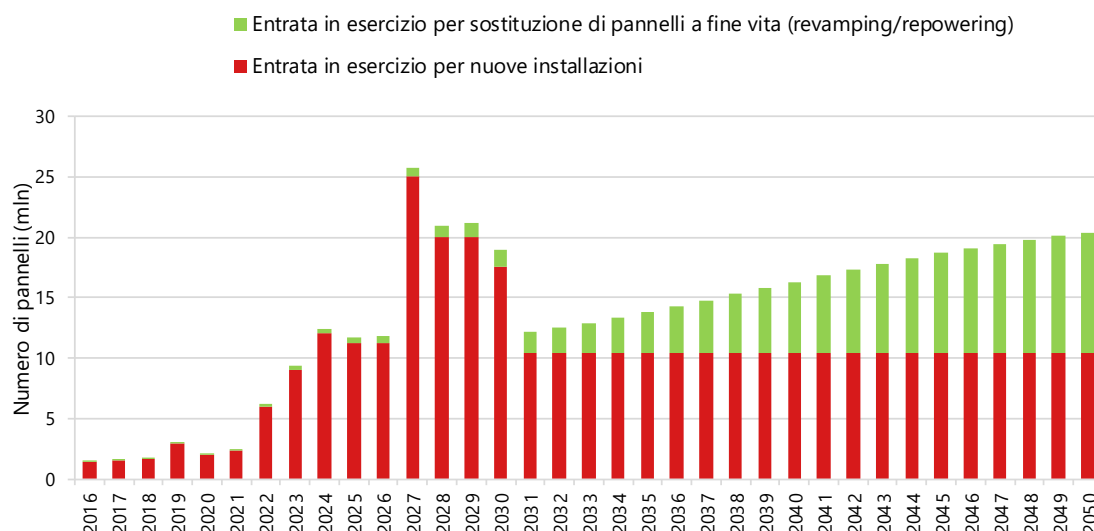
⁵³ Tutte le figure mostrate qui di seguito hanno come anno iniziale il 2016, anno in cui è stato previsto l'obbligo di versamento del contributo di Extended Producer Responsibility (EPR) ai consorzi per la gestione dei pannelli non incentivati immessi sul mercato.

⁵⁴ Il *revamping* consiste nella sostituzione o aggiornamento di componenti come inverter, pannelli e cablaggi, con l'obiettivo di ripristinare – e in molti casi migliorare – la resa dell'impianto grazie all'impiego di tecnologie più moderne ed efficienti. Il *repowering*, invece, punta a un potenziamento vero e proprio, aumentando la capacità produttiva dell'impianto tramite l'installazione di pannelli più performanti, l'aggiunta di sistemi di accumulo e l'aggiornamento dei sistemi di controllo.

⁵⁵ <https://www.gse.it/servizi-per-te/fotovoltaico/conto-energia/interventi-sugli-impianti>; [Rinnovabili, con il repowering di pannelli e pale 20 gigawatt in più in Italia - Il Sole 24 ORE](#).

LE QUANTITÀ DI PANNELLI FOTOVOLTAICI NON INCENTIVATI DAL CONTO ENERGIA IMMESSI SUL MERCATO ANNO PER ANNO IN ITALIA

Valori in numero (mln) di pannelli, anni 2016-2050



* Si considera un tasso di revamping pari al 5% della potenza incentivata installata a fine anno per gli anni 2023 e 2024

* Si considera qui una stima del numero di pannelli non incentivati dal Conto Energia ottenuta sottraendo il numero di pannelli immessi al consumo incentivati dal Conto Energia al numero totale di pannelli immessi al consumo

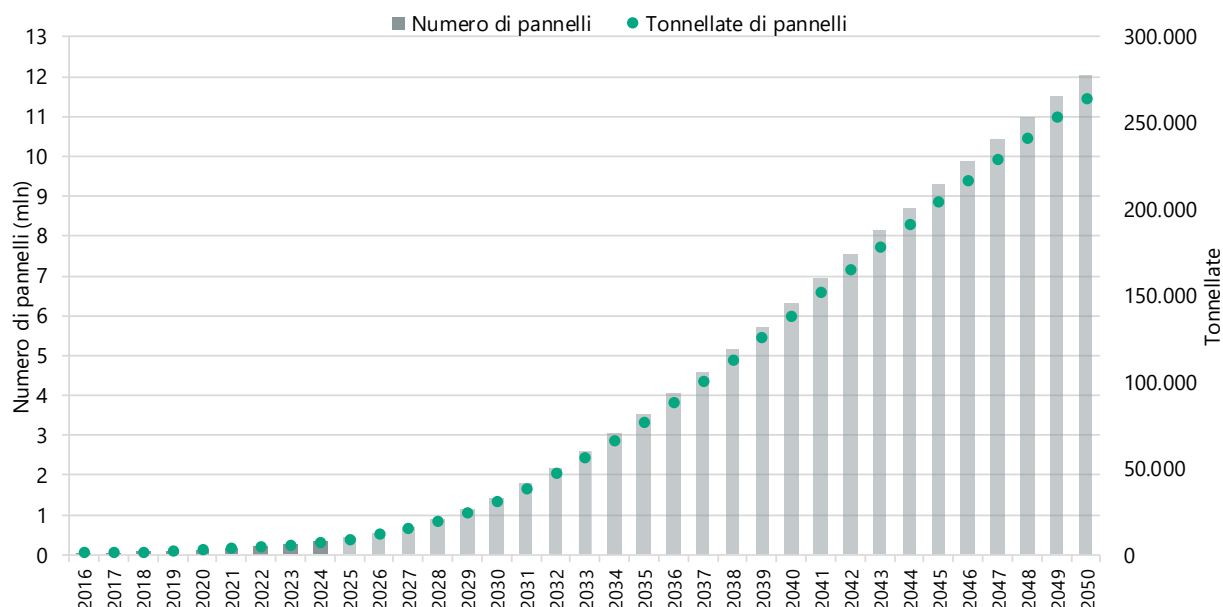
Fonte: elaborazioni REF

Dallo scenario descritto **emerge un quadro di crescita estremamente rilevante in termini di volumi dismessi e da gestire tra il 2025 e il 2050**. Per una panoramica sulla metodologia utilizzata per calcolare le quantità di pannelli fotovoltaici non incentivati giunti a fine vita fino al 2050, si veda l'Allegato 3 in appendice.

Tra il 2025 e il 2050, infatti, si assisterà a un **incremento di quasi trenta volte** nel numero di pannelli fotovoltaici destinati alla dismissione ogni anno, con importanti implicazioni per i detentori degli impianti, i consorzi e, più in generale, per l'intera collettività. Si passerà dai circa **427mila pannelli dismessi nel 2025** a oltre **12 milioni nel 2050**, con un conseguente aumento anche in termini di massa: da **9mila a 264mila tonnellate annue di RAEE fotovoltaici** da raccogliere e gestire correttamente per anno.

LE QUANTITÀ DI PANNELLI FOTOVOLTAICI NON INCENTIVATI DAL CONTO ENERGIA A FINE VITA TRA IL 2016 E IL 2050 IN ITALIA

Valori in numero (mln) e tonnellate di pannelli



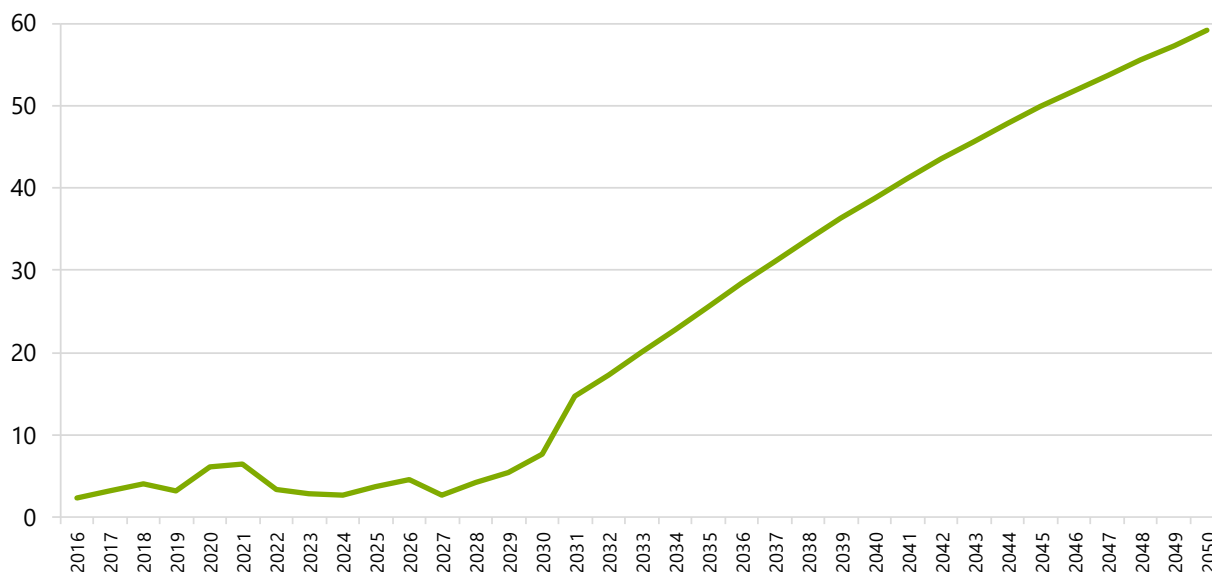
Fonte: elaborazioni REF

La figura seguente mostra l'**evoluzione storica e prospettica (2016-2050)** del **rapporto tra il numero di pannelli fotovoltaici non incentivati giunti a fine vita** e quelli **immessi al consumo** nello stesso anno.

Nel periodo storico (2016-2024), questo rapporto si mantiene su valori molto contenuti, con **un pannello dismesso ogni 27 pannelli installati**. Tuttavia, **a partire dal 2027**, il rapporto cresce in maniera costante: nel periodo 2025-2050 il rapporto medio si riduce a **1:3**. In aggiunta, nell'ultimo anno di analisi, per ogni pannello a fine vita da sostituire vi saranno 1,7 nuovi pannelli installati. Si tratta di un cambiamento strutturale che riflette non solo l'invecchiamento progressivo del parco installato, ma anche **l'impatto crescente delle attività di revamping e repowering, che accelerano il turnover tecnologico**.

IL RAPPORTO TRA FINE VITA E IMMESSO AL CONSUMO

Anni 2016-2050



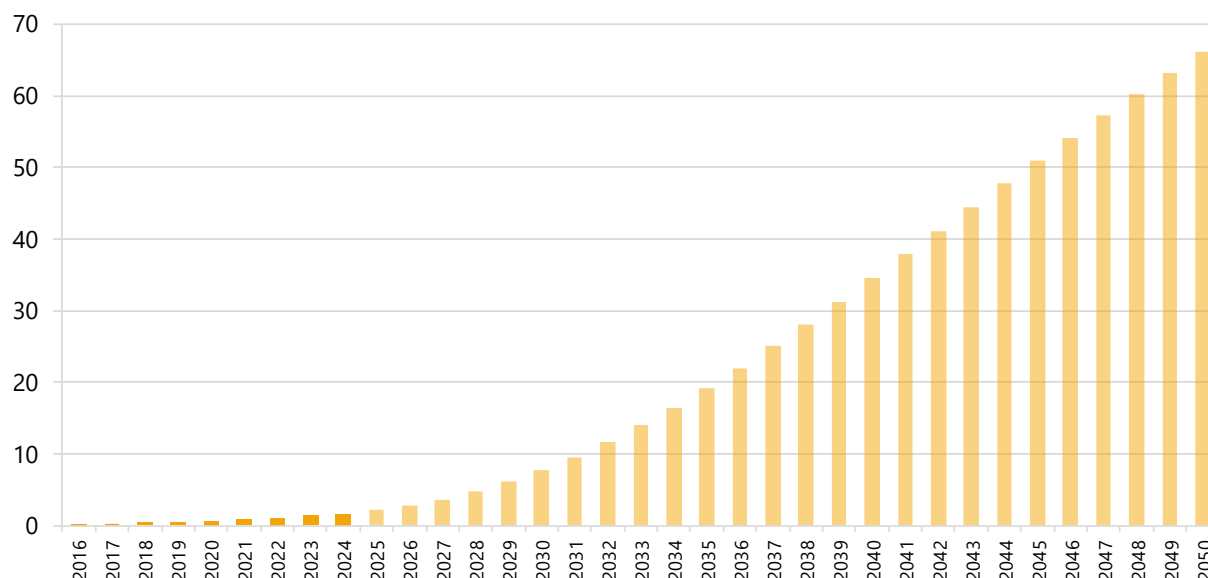
Fonte: elaborazioni REF

Infine, è stata stimata l'**evoluzione passata e futura dei costi totali annuali di gestione** (logistica e trattamento) dei pannelli fotovoltaici a fine vita. Considerando un costo unitario di gestione costante pari a 250 €/ton (circa 5,5€/pannello a prezzi 2025)⁵⁶, si stima che tra il 2025 e il 2050 sarà necessario sostenere complessivamente circa **762 milioni di euro** (a prezzi 2025) per la gestione dei pannelli dismessi. Nel 2025 il costo annuale totale previsto è di 2 milioni di euro, che salirà a 19 milioni nel 2035 e a 66 milioni nel 2050. **Si tratta quindi di una crescita esponenziale che potrebbe rappresentare un onere non trascurabile per i conti pubblici.**

⁵⁶ La stima del costo di gestione è stata effettuata a seguito di una consultazione con alcuni operatori attivi nella filiera del trattamento dei pannelli fotovoltaici ed è cautelativa, dal momento che il [borsino rifiuti](#) registra attualmente un prezzo di smaltimento pari a 320 €/ton.

IL COSTO DI GESTIONE DEI PANNELLI FOTOVOLTAICI NON INCENTIVATI INTERCETTATI TRA IL 2016 E IL 2050 IN ITALIA

Valori in euro (mln)



*Si assume un costo di gestione costante ai valori del 2025 e pari a 250 €/t.

Fonte: elaborazioni REF

La capienza dei contributi versati nei *trust*-consorzi

Nel presente paragrafo si intende fornire una **rappresentazione della capienza dei contributi versati nei *trust*-consorzi e**, conseguentemente, **dell'equilibrio finanziario degli stessi nell'ambito della gestione dei pannelli fotovoltaici giunti a fine vita con riferimento all'attuale modello delle garanzie finanziarie, tra il 2016** (anno a partire dal quale è previsto che il versamento del contributo ai consorzi) **e il 2050**. Per informazioni sulle assunzioni effettuate nella creazione degli scenari di equilibrio finanziario dei *trust*-consorzi, si rimanda all'Allegato 4 in appendice.

L'analisi parte da un'ipotesi di contributo EPR versato nei *trust* pari a 1€/pannello, ossia il valore minimo fissato dal GSE nel Disciplinare Tecnico e coerente con la fascia bassa dei valori correnti di mercato⁵⁷. La selezione di tale valore risulta coerente con molti degli attuali valori di mercato⁵⁸ relativi alla quota della garanzia finanziaria da versare nei *trust*⁵⁹.

Il contributo EPR viene versato dai produttori e accantonato nei *trust* dai sistemi collettivi al momento dell'immissione sul mercato dei pannelli fotovoltaici (oppure in forma **dilazionata, ad es.**, nei primi anni di vita del pannello). Le somme rimangono vincolate fino a quando i moduli non giungono a fine

⁵⁷ [Disciplinare tecnico GSE](#).

⁵⁸ [Cobat Raee: Contributi dedicati ai Produttori e Importatori di pannelli fotovoltaici](#); <https://pvcycle.it/en/eco-contributi>.

⁵⁹ In aggiunta, in linea teorica, in un regime concorrenziale quale quello della gestione dei pannelli non incentivati a fine vita, questo rappresenterebbe il livello verso cui dovrebbe tendere il mercato attuale qualora il prezzo di mercato, prima della pubblicazione delle linee guida del GSE, fosse stato pari o inferiore a 1€/pannello e non si fossero verificate, nel tempo, variazioni nei fattori di domanda e offerta relativi alla gestione del fine vita.

vita, momento in cui vengono svincolate e utilizzate per coprire i costi di raccolta, trasporto e trattamento. Al momento della dismissione, il numero di matricola del pannello consente di risalire al produttore originario e, di conseguenza, al consorzio competente; sarà quest'ultimo a gestire il rifiuto, attingendo alle risorse del proprio *trust*. Non è prevista la restituzione del contributo EPR al produttore, dal momento che la responsabilità finanziaria ed operativa del pannello a fine vita è stata trasferita dal produttore al consorzio.

Sulla base di questi presupposti, sono stati modellati quattro scenari di evoluzione dell'avanzo (disavanzo) finanziario dei *trust*-consorzi, combinando differenti assunzioni del costo unitario di gestione e sulla vita utile media degli impianti:

- lo scenario "*baseline*" assume un costo di gestione pari a 5,5€/pannello e una vita utile di 22 anni;
- lo scenario "*alto costo di gestione*" ipotizza un costo più elevato, pari a 8€/pannello, mantenendo una vita utile di 22 anni;
- lo scenario "*basso costo di gestione*" considera un costo di 4€/pannello e una vita utile sempre di 22 anni;
- infine, lo scenario "*vita utile ridotta*" introduce una variazione legata alla durata media degli impianti: pur mantenendo il contributo a 1 euro e il costo di gestione a 5,5€/pannello, assume una vita utile media più breve, pari a 15 anni⁶⁰.

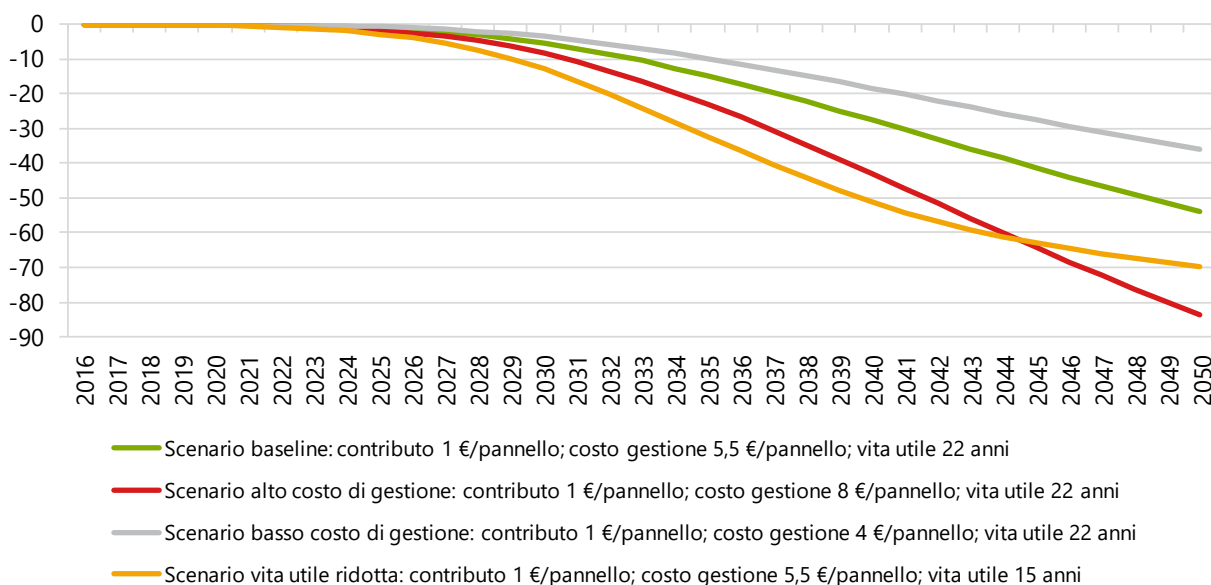
La quantificazione dell'avanzo/disavanzo finanziario si basa sulla differenza tra i costi complessivi di gestione dei pannelli a fine vita e le risorse disponibili nei *trust* al momento della dismissione dei pannelli. L'analisi evidenzia un costante disavanzo nelle attività di gestione del fine vita dei pannelli fotovoltaici: **i costi sostenuti dai consorzi per il trattamento superano sistematicamente le risorse accantonate tramite i contributi ambientali. Ne deriva una incapienza strutturale per ogni pannello che giunge a fine vita**, con un differenziale finanziario che i consorzi non sono in grado di colmare, con la conseguenza che, in assenza di misure correttive, tale squilibrio si tradurrà in un onere per la collettività.

La rappresentazione grafica sottostante evidenzia inoltre come, negli anni precedenti il 2050 (2046-2050), lo scenario caratterizzato da un costo di 8€/pannello e una vita utile di 22 anni (*scenario alto costo di gestione*) risulti il più critico in termini finanziari. Nel complesso, il sistema evidenzia una **fragilità strutturale legata all'incapienza dei contributi ambientali nel garantire una gestione sostenibile ed economicamente equilibrata** del fine vita dei pannelli fotovoltaici.

⁶⁰ Questa stima è il risultato di una media ponderata che tiene conto della composizione attuale della potenza fotovoltaica cumulata installata in Italia, di cui si stima che circa il 70% dei pannelli, di tipo professionale abbia una vita utile residua di 12 anni, mentre il restante 30%, di tipo domestico, di 22 anni. Cfr. [abstract-q2-24-sda_gaudi.pdf](#).

IL DISAVANZO DEI TRUST-CONSORZI SECONDO DIVERSI SCENARI ANNO PER ANNO IN ITALIA

Valori in milioni di €, anni 2016-2050



Si assume che il rendimento finanziario delle risorse segregate sia pari al tasso di inflazione durante tutto il periodo di analisi.

Fonte: elaborazioni REF

La vita utile dei pannelli fotovoltaici: uno sguardo alla letteratura

La letteratura riporta generalmente vite utili dei pannelli fotovoltaici comprese tra i 20 e i 30 anni, ma esiste almeno un caso, quello di Libra *et al.* del 2023, che indica una vita utile più breve, intorno a 10-12 anni.

Il paper di Libra *et al.* del 2023,⁶¹ basato su dati di 85 impianti in Europa centrale, stima una vita utile di circa 10-12 anni, contro i 20-30 anni dichiarati. Dopo i primi 10 anni, infatti, la frequenza di guasti gravi aumenta sensibilmente (delaminazione dell'incapsulante, penetrazione di umidità, corrosione dei contatti e formazione di canali conduttivi verso la struttura di terra), riducendo così la redditività degli impianti.

Ricerca sul Sistema Energetico (RSE) nel suo dossier del 2020⁶² sulla gestione del fine vita dei pannelli fotovoltaici mantiene una posizione intermedia circa la durata della vita utile media dei pannelli fotovoltaici, indicando un valore compreso tra 20 e 25 anni.

La Commissione Europea, basandosi su dati di letteratura, indagini a consumatori ed interviste al settore industriale, indica una vite utile media per il nostro paese pari a 22,18 anni⁶³.

⁶¹ Libra *et al.* (2023). [Reduced real lifetime of PV panels – Economic consequences](#). *Solar Energy*, 259, 229-234.

⁶² RSE – Ricerca sul Sistema Energetico(2020). [La gestione dei pannelli fotovoltaici a fine vita](#).

⁶³ Commissione Europea (2014). [Study on collection rates of Waste Electrical and Electronic Equipment \(WEEE\)](#).

L'autrice Paiano nel suo paper del 2015⁶⁴ considera, invece, una vita utile di 25 anni e stima la quantità rifiuti fotovoltaici generati in due periodi in Italia (2012–2038 e 2039–2050), utili per pianificare il recupero dei materiali.

Il paper di Cerchier *et al.* del 2022⁶⁵ segnala una vita utile dei pannelli fotovoltaici anch'esso pari a 25 anni. Anche il paper di Franzoni del 2024,⁶⁶ nuovamente calato nel contesto italiano, considera una vita utile di 25 anni per i pannelli fotovoltaici. Il lavoro mira a sviluppare un modello predittivo per stimare il volume di pannelli fotovoltaici da dismettere, valutando due scenari di durata operativa (*early loss* e *regular loss*) tramite la funzione di Weibull.

Domínguez e Geyer hanno poi pubblicato un articolo scientifico nel 2019⁶⁷ in cui assumono una vita utile media dei pannelli fotovoltaici di 30 anni e quantificano i rifiuti futuri derivanti da 69,7 GW di impianti negli Stati Uniti al 2015, stimando che tra il 2030 e il 2060 saranno prodotti circa 9,8 milioni di tonnellate di rifiuti fotovoltaici, includendo pannelli, componenti di sistema e inverter.

Il dato di vita utile di 30 anni viene anche ripreso nel report IRENA e IEA-PVPS del 2016,⁶⁸ rapporto altamente citato e ripreso in letteratura, specialmente negli articoli scientifici che fanno uso della funzione di Weibull per stimare la quantità di pannelli a fine vita.

LA VITA UTILE DEI PANNELLI: UNO SGUARDO ALLA LETTERATURA

Valore di vita utile (anni)	Articoli scientifici e report
12	Libra et al. (2023). Reduced real lifetime of PV panels – Economic consequences. <i>Solar Energy</i> , 259, 229-234.
20-25	RSE – Ricerca sui Servizi Energetici (2020). La gestione dei pannelli fotovoltaici a fine vita.
22,18	Commissione Europea (2014). Study on collection rates of Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE).
25	Paiano, A. (2015). Photovoltaic waste assessment in Italy. <i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i> , 41, 99-112.
25	Franzoni, A., Leggerini, C., & Bannò, M. (2024). A Predictive Framework for Photovoltaic Waste Quantities and Recovery Values: Insights and Application to the Italian Context. <i>Environmental and climate technologies</i> , 28(1).
25	Cerchier, P., Dabalà, M., Pezzato, L., Tammaro, M., Zucaro, A., Fiorentino, G., ... & Brunelli, K. (2022). Silicon-PV panels recycling: technologies and perspectives. <i>La Metallurgia Italiana</i> , 16-24.
30	Domínguez, A., & Geyer, R. (2019). Photovoltaic waste assessment of major photovoltaic installations in the United States of America. <i>Renewable Energy</i> , 133, 1188-1200.
30	IRENA and IEA-PVPS (2016). End-of-Life Management: Solar Photovoltaic Panels.

Fonte: elaborazioni REF

⁶⁴ Paiano, A. (2015). [Photovoltaic waste assessment in Italy](#). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 99-112.

⁶⁵ Cerchier, P., Dabalà, M., Pezzato, L., Tammaro, M., Zucaro, A., Fiorentino, G., ... & Brunelli, K. (2022). [Silicon-PV panels recycling: technologies and perspectives](#). *La Metallurgia Italiana*, 16-24.

⁶⁶ Franzoni, A., Leggerini, C., & Bannò, M. (2024). [A Predictive Framework for Photovoltaic Waste Quantities and Recovery Values: Insights and Application to the Italian Context](#). *Environmental and climate technologies*, 28(1).

⁶⁷ Domínguez, A., & Geyer, R. (2019). [Photovoltaic waste assessment of major photovoltaic installations in the United States of America](#). *Renewable Energy*, 133, 1188-1200.

⁶⁸ IRENA and IEA-PVPS (2016). [End-of-Life Management: Solar Photovoltaic Panels](#).

Scenari di evoluzione delle variabili che determinano l'equilibrio economico-finanziario dei trust-consorzi nella gestione a fine vita dei pannelli fotovoltaici

L'andamento futuro delle variabili che determinano l'equilibrio economico-finanziario nella gestione dei pannelli a fine vita è soggetto a diversi fattori di incertezza, che rendono particolarmente complessa l'individuazione di una traiettoria crescente o decrescente nei prossimi anni.

La riduzione della vita utile dei pannelli fotovoltaici è una casistica che potrebbe diventare sempre più frequente in futuro, considerando il crescente interesse del governo nel promuovere interventi di *revamping* e *repowering* per il rinnovo degli impianti esistenti, in parallelo con la spinta degli operatori del settore a incrementare la resa degli impianti⁶⁹ e con l'aumento dei danni causati da agenti atmosferici e cambiamenti climatici⁷⁰.

Anche **i costi di gestione unitari potrebbero essere soggetti ad un aumento in futuro**, a causa di più elevati costi per il riciclo dei pannelli fotovoltaici, dovuti alla crescita dell'immesso al consumo di pannelli in film sottile⁷¹, o di minori ricavi ottenibili dal riciclo di materiali preziosi, come ad esempio la pasta d'argento⁷². Questo rischio sarebbe particolarmente rilevante in assenza di significativi progressi tecnologici nei processi di estrazione del silicio, dove ancora permangono numerose sfide nella capacità di estrazione e riciclo di questo materiale⁷³ o **in caso di una stabilizzazione del contenuto riciclabile per pannello**.

D'altra parte, l'eventualità di una **riduzione dei costi unitari non può essere esclusa**, in esito alla maggiore capacità di valorizzazione dei materiali recuperati dai pannelli, favorita da un mercato secondario più sviluppato per queste risorse. Un altro possibile fattore potrebbe essere rappresentato da dinamiche di economia di scala: al crescere delle quantità conferite a riciclo, il costo unitario del trattamento potrebbe tendere a ridursi. Infine, è possibile che investimenti pubblici, come quelli previsti dal PNRR, possano contribuire alla realizzazione di nuovi impianti di trattamento, generando una maggiore concorrenza e quindi un potenziale effetto calmierante sui prezzi di trattamento. Allo stato attuale gli operatori del trattamento segnalano tuttavia che l'evoluzione tecnologica sta progressivamente portando ad una riduzione del contenuto di materie prime che presentano un potenziale di recupero come l'alluminio, sempre meno presente per singolo pannello, coerente anche con progressivo calo dei prezzi di mercato dei moduli fotovoltaici. Con la conseguenza che il bilancio della gestione del RAEE si sposta progressivamente verso lo smaltimento in luogo del recupero, con un corollario di maggiori costi.

⁷¹ Kuczyńska-Łazewska, A., Klugmann-Radziemska, E., & Witkowska, A. (2021). [Recovery of valuable materials and methods for their management when recycling thin-film CdTe photovoltaic modules](#). *Materials (Basel)*, 14(24), 7836; Gerold, E., & Antrekowitsch, H. (2024). [Advancements and challenges in photovoltaic cell recycling: A comprehensive review](#). *Sustainability*, 16(6), 2542; Bosio, A., Rosa, G., & Romeo, N. (2018). [Past, present and future of the thin film CdTe/CdS solar cells](#). *Solar Energy*, 175, 31–43.

⁷² **ENEA** (2022). [Tecnologie e materiali per il fotovoltaico di nuova generazione](#). *Energia, ambiente e innovazione*, 84, 2-3.

⁷³ Cerchier, P., Dabalà, M., Pezzato, L., Tammaro, M., Zucaro, A., Fiorentino, G., ... & Brunelli, K. (2022). [Silicon-PV panels recycling: technologies and perspectives](#). *La Metallurgia Italiana*, 16-24.

Il modello “generazionale” nella gestione del rifiuto fotovoltaico non incentivato

I punti della proposta

Per affrontare le limitazioni del sistema attualmente in vigore e rendere più sostenibile la gestione del fine vita dei pannelli fotovoltaici, si illustra di seguito il funzionamento del modello di finanziamento attualmente vigente per tutti gli altri RAEE (c.d. “generazionale”) e che potrebbe essere mutuato anche per il caso dei pannelli fotovoltaici, al fine di ovviare alle criticità illustrate.

La proposta si basa su cinque pilastri fondamentali.

1. Estensione del modello di finanziamento generazionale anche ai pannelli fotovoltaici

Attualmente, il sistema RAEE italiano applica un modello di finanziamento generazionale a tutte le categorie di rifiuti elettrici ed elettronici, con l’eccezione dei pannelli fotovoltaici. L’estensione di questo modello anche a tale categoria permetterebbe di attribuire ai produttori la responsabilità economica per la gestione del fine vita in proporzione all’impresso sul mercato anno per anno. **Il principio cardine è che i costi relativi alla raccolta e alla gestione dei RAEE siano sostenuti dai produttori attivi sul mercato nell’anno in cui tali costi si generano**, in base alla quota di mercato detenuta, determinata sul criterio del peso delle apparecchiature immesse sul mercato nazionale nell’anno solare precedente. **Si passerebbe da un sistema in cui ogni produttore è responsabile solo dei propri pannelli immessi sul mercato, a uno in cui tutti i produttori attivi e presenti sul mercato sono “solidalmente” responsabili della copertura dei costi**, in proporzione alla quota di mercato detenuta nell’anno precedente.

Una scelta che certamente aiuterebbe a semplificare notevolmente la disciplina e a definire in modo più chiaro le responsabilità e i contributi economici. Si tratterebbe di **superare l’attuale sistema delle garanzie finanziarie vincolate per decenni**, e che potrebbero rivelarsi insufficienti al momento del fine vita dei pannelli, come precedentemente argomentato. Si passerebbe da un sistema incentrato sulla riduzione dei costi iniziali per produttori e consumatori — che però incentiva una **competizione al ribasso tra consorzi** — a un modello che **valorizza l’equilibrio tra contributo versato e qualità del servizio di gestione del fine vita**, evitando di scaricare i costi futuri sulla collettività. Il passaggio a un modello generazionale, con copertura integrale dei costi di gestione, contribuirebbe, poi, a ridurre il rischio di esportazioni illegali o smaltimenti non conformi, grazie a una disponibilità di risorse certa e continua. **Ciò garantirebbe dunque una gestione meno opportunistica e più sostenibile per l’ambiente**, considerando la presenza nei pannelli di sostanze potenzialmente pericolose come piombo e cadmio⁷⁴.

Infine, **l’adozione di un modello generazionale consentirebbe di liberare risorse oggi immobilizzate nei trust**, permettendone l’impiego per **investimenti pubblici a favore della filiera**

⁷⁴ ENEA (2020). [Il pannello fotovoltaico, una miniera di risorse se il fine vita è virtuoso](#). *Energia, ambiente e innovazione*, 2, 152–156.

fotovoltaica, sia in termini di futura capacità installata – in linea con gli obiettivi del PNIEC – sia per il **potenziamento delle infrastrutture di trattamento e riciclo**.

Tuttavia, anche il modello generazionale presenta alcuni **aspetti di natura finanziaria su cui porre attenzione**.

In primo luogo, nel sistema generazionale il contributo EPR è **esposto a fluttuazioni che possono essere** determinate da diversi fattori:

- **Variazioni nei costi unitari di trattamento**, legate sia alla maggiore o minore valorizzazione economica dei materiali contenuti nei pannelli fotovoltaici, sia alla quantità effettivamente recuperabile per singolo pannello, che all'evoluzione tecnologica del settore, che sembra orientarsi verso pannelli a maggiore efficienza ma con un contenuto minore di materiali nobili (come argento e silicio) e più complessi da separare, con un conseguente aumento dei costi di trattamento;
- **Variazioni nelle quantità di pannelli immessi al consumo**, dovute all'evoluzione tecnologica del settore verso pannelli caratterizzati da una potenza nominale media più elevata, o alla crescita (diminuzione) dell'industria della produzione elettrica da fonte fotovoltaica;
- **Variazioni nelle quantità annuali di rifiuti fotovoltaici da trattare**, trainate da fattori come eventi climatici estremi e ad un maggiore ricorso a pratiche di *repowering o revamping* (anche grazie, ad es., a nuove tecnologie per monitorare la resa) oppure, al contrario, ridotte da un cambio di strategia energetica nazionale, come l'avvio di programmi nucleari.

Giova ricordare come da un punto di vista teorico gli stessi fattori sopra citati dovrebbero influenzare anche l'evoluzione dei corrispettivi di mercato nell'attuale modello delle garanzie. Con la differenza che il notevole divario temporale, di diversi lustri, che intercorre tra la costituzione della garanzia all'atto dell'immissione al consumo e quello in cui la garanzia viene escussa per finanziare la gestione del fine vita, conduce con ogni probabilità il mercato a sottovalutare la probabilità di questi eventi futuri, che non viene adeguatamente riflessa nel corrispettivo ambientale richiesto e segretato nel *trust*.

Trattandosi di un mercato basato sulle aspettative future, è chiaro che scenari meno impattanti o ottimistici sull'evoluzione dei costi futuri possono condurre a scelte di posizionamento opportunistiche in termini di minore contributo richiesto.

2. Costituzione di un raggruppamento specifico (R6) dedicato ai pannelli fotovoltaici

Un ulteriore elemento è **la creazione di un raggruppamento ad-hoc (R6)**, destinato alla gestione dei rifiuti da pannelli fotovoltaici. L'attuale sistema prevede una sezione specifica (sezione A) per i pannelli all'interno del raggruppamento R4, ma **nella pratica questa suddivisione non viene considerata nelle attività** di raccolta e trattamento. Il **sistema proposto, invece, introduce un nuovo raggruppamento autonomo (R6)**, dedicato esclusivamente ai pannelli fotovoltaici, in linea con gli obiettivi europei di revisione della Direttiva RAEE all'interno del Circular Economy Act del

2026⁷⁵. **Questa misura consentirebbe di adottare una *governance* settoriale più efficiente**, capace di valorizzare le specificità tecniche, operative ed economiche proprie di questa tipologia di apparecchiatura.

3. Eliminazione della distinzione tra pannelli domestici e professionali

Attualmente **questa distinzione risulta spesso arbitraria**, in quanto la quota di pannelli domestici sul totale è calcolato in proporzione alla quota di energia domestica sul totale della produzione nazionale, secondo il cosiddetto coefficiente Terna.

L'eliminazione di questa distinzione consentirebbe di:

- **superare l'ambiguità attuale** nella classificazione dei pannelli nella fase di immissione al consumo;
- **eliminare la duplicazione del contributo in capo ai produttori** (contributo EPR + finanziamento del R4 per i pannelli classificati come domestici).

4. Potenziamento della rete di raccolta con distributori e installatori

Si propone di potenziare l'infrastruttura di raccolta attraverso una **rete dedicata composta da distributori e installatori di pannelli fotovoltaici**, con la presenza di "Luoghi di Raggruppamento" (LdR) sia stazionari – **già previsti dall'attuale sistema** – sia temporanei. I LdR temporanei verrebbero attivati in occasione di interventi straordinari, come ad esempio lo smantellamento di un campo fotovoltaico per operazioni di *repowering*. È inoltre auspicata la presenza di un luogo di raggruppamento dedicato R6 nei centri di raccolta comunali (nel sistema attuale delle garanzie non sono presenti), al fine di ampliare la rete di raccolta.

I LdR gestiti da distributori e installatori potrebbero essere assegnati ai consorzi da parte del CdC RAEE, sulla base del *put-on-market* (**POM**) dell'anno precedente e organizzati sulla base di un'assegnazione dinamica (mese per mese, ad esempio).

Questa soluzione garantirebbe una **rete di raccolta equa nella distribuzione degli oneri di raccolta, più capillare e aderente alle reali esigenze operative**, sostenendo la raccolta e la riduzione dei costi di trasporto e amministrativi.

La previsione di premi di efficienza a beneficio degli operatori della raccolta (come installatori, centri comunali e distributori) permetterebbe inoltre di **coprire una parte dei costi di gestione del fine vita** e di **rendere meno onerosa la raccolta**.

5. Superamento del legame tra matricola e garanzia finanziaria

Attualmente, l'accesso alle risorse accantonate nei *trust* è vincolato all'identificazione puntuale della matricola del pannello, condizione che risulta spesso problematica sul piano operativo ed economico. La proposta prevede di superare il modello di responsabilità individuale, in cui il contributo EPR è associato a una singola matricola, e di adottare un approccio di responsabilità collettiva basato sul metodo generazionale. In questo schema, i fondi accantonati continuano a essere utilizzati per la

⁷⁵ [Circular Economy - Environment - European Commission](#).

gestione dei pannelli a fine vita, ma senza più necessità di corrispondenza con il codice seriale specifico.

I PUNTI DI FORZA E DI DEBOLEZZA DEL SISTEMA DELLE GARANZIE

Sistema delle garanzie (attuale)	
Punti di forza	Criticità
1. Contributo ambientale determinato dal libero mercato 2. Costi contenuti per i consumatori/produttori oggi • scenari ottimistici per i costi di gestione o comportamenti opportunistici?	1. Incertezza sulla evoluzione del costo di gestione del fine vita 2. Garanzie sulla capienza e la disponibilità delle risorse a lungo termine • i contributi ambientali segregati nei trust per numerosi anni devono essere disponibili a distanza di 20-25 anni quando si materializzano i costi di gestione del fine vita (contributi attualmente non congrui rispetto ai costi, possibilità effettiva di risalire via seriali, mancanza di una rendicontazione dei fondi, garanzie sulla modalità di gestione delle risorse, rischio di comportamenti opportunistici, incapienza dei trust, etc.) 3. Possibile trasferimento di costi futuri sul bilancio pubblico 4. Doppia contribuzione: contributo EPR per fine vita dei pannelli fotovoltaici + finanziamento del raggruppamento R4 (domestici)

Fonte: elaborazioni REF

RISCHI E OPPORTUNITÀ DEL SISTEMA GENERAZIONALE

Sistema delle generazionale (proposto)	
Opportunità	Rischi
1. Contributo commisurato ai costi di smaltimento dell'anno in corso • neutralizza gli incentivi a comportamenti opportunisti e ancora la contribuzione all'effettivo costo di smaltimento 2. Garanzia di copertura dei costi di smaltimento 3. Sostegno alla raccolta in virtù della garanzia del ritiro • la rete di raccolta sarebbe meno onerosa, grazie a premi di efficienza 4. Maggiore certezza e trasparenza nell'identificazione del soggetto responsabile • i costi di gestione del fine vita sono sostenuti oggi dai produttori attivi in base al POM • i costi di gestione non rischiano di essere a carico della collettività in caso di costo di incapienza, come avviene nel sistema delle garanzie 5. Assenza di un doppio contributo da versare (contributo EPR e finanziamento del raggruppamento R4 per i pannelli domestici) • verrebbe solamente pagato il contributo EPR ai consorzi 6. La competizione tra i consorzi si sposta dal «mero» contributo ambientale al bilanciamento tra contributo e servizio erogato • il valore dei contributi dipenderà anche dai criteri con cui verrà definito un eventuale valore minimo del contributo 7. Riduzione di costi/rischi ambientali derivanti da una copertura finanziaria allineata al costo di gestione del pannello e da una rete di raccolta più efficiente • la definizione di un contributo commisurato ai costi di smaltimento dell'anno in corso garantisce una copertura finanziaria e assicura l'avvio a trattamento dei pannelli; inoltre, l'implementazione di una rete di raccolta più efficiente riduce il rischio di smaltimenti non conformi alle migliori pratiche ambientali. 8. Semplificazione e maggiore trasparenza nella gestione e contabilizzazione del fine vita dei pannelli, grazie ad un raggruppamento R6 dedicato 9. Una rete di punti di raccolta più capillare, grazie alla costituzione di LdR stazionari e temporanei	1. Oscillazioni contributo EPR in caso di: • <u>Variazioni nei costi unitari di trattamento</u>, legate a (i) maggiore o minore valorizzazione economica dei materiali contenuti nei pannelli fotovoltaici, (ii) variazione dell'ammontare di quantità effettivamente recuperabile per singolo pannello, e (iii) evoluzione tecnologica del settore. • <u>Variazioni nelle quantità di pannelli immessi al consumo</u>, dovute a (i) evoluzione tecnologica del settore verso pannelli con potenza nominale media più elevata e (ii) crescita o diminuzione dell'industria della produzione elettrica da fonte fotovoltaica. • <u>Variazioni nelle quantità annuali di rifiuti fotovoltaici da trattare</u>, determinate da (i) eventi climatici estremi, (ii) maggiore/minore ricorso a pratiche di repowering o revamping (anche grazie a nuove tecnologie di monitoraggio delle prestazioni), oppure (iii) da un cambio di strategia energetica nazionale.

Fonte: elaborazioni REF

Contributo ambientale: l'evoluzione futura

Avendo descritto l'evoluzione di tutte le grandezze rilevanti è ora possibile **ricostruire il contributo EPR unitario** "teorico" sotteso alla copertura dei costi di gestione nel fine vita per ciascuno degli scenari analizzati in un regime di finanziamento di tipo **"generazionale"**. Il contributo EPR è ottenuto suddividendo il costo di gestione in ciascun anno per il relativo dato di immesso al consumo.

Le stime considerano un costo di gestione pari a 250€/ton (5,5€/pannello) e una vita utile dei pannelli fotovoltaici pari a 22 anni, facendo riferimento dunque allo scenario "baseline" presentato nella sezione di questo *Position Paper* sull'equilibrio finanziario della gestione del fine vita dei pannelli fotovoltaici.

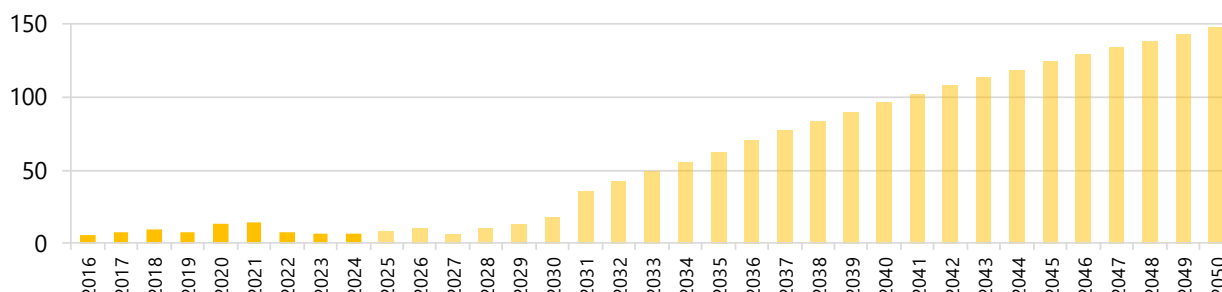
Le stime indicano nel periodo 2025-2030 un contributo EPR medio di circa 0,25€ per ciascun pannello immesso sul mercato, che cresce a 1,08€/pannello nel periodo 2031-2035, e raggiunge i 2,46€/pannello nel periodo 2036-2050. A partire dal 2027 si osserva dunque una crescita progressiva del **contributo**, che **supera i 3€/pannello nel 2050**.

Valori di contributo EPR inferiori a 1€/pannello negli anni precedenti il 2033 sono possibili in ragione di un immesso al consumo elevato in rapporto ai pannelli giunti a fine vita. Con il passare del tempo, un numero sempre maggiore di pannelli giunge a fine vita. **Il rapporto tra nuovi pannelli immessi**

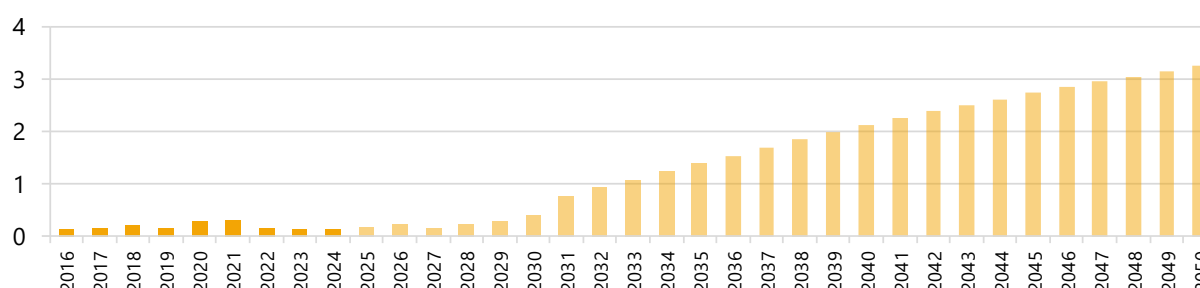
sul mercato e quelli a fine vita tende a ridursi, mentre il contributo EPR cresce, avvicinandosi ai 2,5 euro per pannello, al fine di garantire la copertura dei costi di gestione.

IL VALORE DEL CONTRIBUTO EPR PER I PANNELLI FOTOVOLTAICI NON INCENTIVATI ANNO PER ANNO IN ITALIA

A. Valori in (€/ton), anni 2016-2050



B. Valori in (€/pannello), anni 2016-2050



*Si assume un costo di gestione costante ai valori del 2025 e pari a 250 €/t.

Fonte: elaborazioni REF

IL VALORE MEDIO DEL CONTRIBUTO EPR PER PERIODI

Periodi	€/tonnellata	€/pannello
2025-2030	11,26	0,25
2031-2035	49,23	1,08
2036-2050	111,69	2,46

Fonte: elaborazioni REF

Si voglia infine notare che questo rappresenta uno di **n possibili scenari** – più o meno ottimistici, a seconda dei parametri selezionabili (vita utile media dei pannelli, costi di gestione unitari, *shape* e *scale factor* della funzione di Weibull, ecc.).

Come osservato nel caso del computo del disavanzo dei consorzi-*trust*, anche in questo caso i **principali rischi di un aumento del contributo EPR** sono legati a un possibile incremento dei costi unitari di gestione, dovuto, ad esempio, **a operazioni di riciclo e trattamento più onerose** o all'uscita di operatori dal mercato del riciclo (eventualmente causata da un maggiore sviluppo di tecnologie

alternative, a scapito del fotovoltaico), con conseguente riduzione della concorrenza nel mercato. Un ulteriore rischio potrebbe derivare da una riduzione **della vita utile degli impianti**, qualora il detentore dell'impianto intenda accrescere l'efficienza delle installazioni con interventi di *repowering/revamping*. Infine, si potrebbe assistere a una **riduzione dell'immesso al consumo nel lunghissimo periodo** (es. fra il 2045 e il 2050), qualora vi fosse un cambiamento nel mix energetico italiano a discapito del fotovoltaico o vengano introdotte tecnologie di produzione tali da ridurre il numero di pannelli immessi a parità di potenza installata (kW). In aggiunta, una riduzione dell'immesso al consumo nel breve periodo (es. 2025-2030) aumenterebbe il contributo EPR in quella finestra, per poi ridurlo nel lungo termine per via del minor numero di pannelli da gestire a fine vita. In tutti questi casi si profilerebbe un **potenziale aumento futuro del contributo EPR unitario**.

Al contrario, una diminuzione dei costi unitari di trattamento o un aumento della vita utile dei pannelli **porterebbe a una riduzione del contributo EPR**. Un incremento dell'immesso al consumo nel breve periodo (es. nel 2025-2030) avrebbe l'effetto di diminuire il contributo EPR all'interno di questa finestra temporale ma comporterebbe un aumento del contributo nel lungo periodo, a causa della maggiore quantità di pannelli a fine vita da gestire.

In tutti questi scenari, tuttavia, **il contributo EPR basato sul sistema generazionale assicurerebbe SEMPRE un contributo congruo a copertura dei costi di gestione dei pannelli giunti a fine vita**.

L'implementazione operativa del modello generazionale e la transizione dal modello delle garanzie

Nel contesto di un possibile passaggio verso un modello generazionale, in cui i costi di gestione dei RAEE vengono coperti collettivamente dai produttori attivi in ciascun anno, si potrebbe adottare una scaletta operativa come la seguente

VERSO IL MODELLO GENERAZIONALE: UNA SCALETTA OPERATIVA



1. Adesione annuale ai consorzi: I produttori scelgono il consorzio a cui aderire per l'anno in corso, affidandogli la gestione collettiva delle responsabilità EPR.
2. Dichiarazione dell'impresso al consumo: ogni produttore comunica al Registro AEE la quantità di pannelli fotovoltaici immessi sul mercato nell'anno solare precedente.
3. Calcolo delle quote di mercato: il Centro di Coordinamento RAEE (CdC RAEE) calcola la quota percentuale di impresso al consumo per ciascun produttore, utile per ripartire gli oneri collettivi.
4. Stima dei RAEE a fine vita da gestire: il CdC RAEE stima, attraverso modelli previsionali, quanti pannelli fotovoltaici giungeranno a fine vita nell'anno in corso.
5. Determinazione dei costi complessivi di gestione: vengono stimati i costi complessivi per la raccolta, il trasporto e il trattamento dei pannelli dismessi nel periodo di riferimento.
6. Ripartizione dei punti di prelievo tra i produttori attivi: tramite l'assegnazione dei punti di prelievo, il CdC RAEE attribuisce a ciascun produttore una parte proporzionale dei costi da sostenere. Questo rappresenta il contributo EPR generazionale, che riflette la responsabilità condivisa dei produttori attivi nell'anno.
7. Gestione operativa tramite i consorzi: i consorzi garantiscono il ritiro dei pannelli a fine vita presso i Centri di Raccolta (CdR) comunali e i Luoghi di Raggruppamento (LdR), coordinandosi con i soggetti pubblici e gli operatori autorizzati.

Fonte: elaborazioni REF

Nel periodo iniziale di adozione del sistema generazionale, si propone di finanziare il trattamento dei pannelli fotovoltaici **non incentivati** giunti a fine vita utilizzando le **risorse economiche già accantonate nei trust** dei consorzi. Il finanziamento sarà effettuato **nei limiti della disponibilità individuale di ciascun trust**, fino all'esaurimento dei fondi.

In questa fase transitoria, le quantità di rifiuti da gestire verranno assegnate in maniera proporzionale alle capacità effettive di ciascun consorzio, ovvero in funzione del **valore totale dei contributi presenti nei rispettivi trust** e di un **costo standard unitario di gestione**, espresso in euro per tonnellata (€/ton).

Il processo operativo si articolerà in più passaggi. Innanzitutto, ogni consorzio dovrà comunicare al Centro di Coordinamento RAEE (CdC RAEE) il numero di pannelli coperti da garanzia per ciascun *trust* gestito, il peso complessivo dei pannelli (espresso in tonnellate) e il valore economico totale del *trust*. Sulla base del costo standard, il CdC RAEE calcolerà quindi **quante tonnellate di pannelli fotovoltaici potranno essere effettivamente gestite** da ciascun consorzio. Questo valore sarà ottenuto dividendo il valore economico complessivo del *trust* per il costo unitario di trattamento.

Successivamente, il CdC RAEE determinerà il totale delle tonnellate garantite da tutti i consorzi e attribuirà a ciascun soggetto una quota proporzionale, in base alla propria disponibilità economica. Le richieste di ritiro dei pannelli verranno dunque assegnate in proporzione a tali quote. Le assegnazioni saranno aggiornate regolarmente in funzione delle quantità effettivamente raccolte, fino al completo esaurimento delle risorse economiche originariamente garantite.

Al termine di questa fase transitoria, ovvero una volta concluso il consumo dei fondi contenuti nei *trust*, si passerà al regime pieno del sistema generazionale. Da quel momento, il CdC RAEE assegnerà le richieste di ritiro ai consorzi in base alle **quote di mercato**, calcolate annualmente in funzione dell'**impresso al consumo (POM)** dichiarato da ciascun produttore.

Conclusioni

Il presente *Position Paper* mette in luce come le modifiche normative richieste a livello europeo – in particolare attraverso la Legge di Delegazione Europea del 2024 e la necessità di adeguamento evidenziata dalla procedura d'infrazione avviata contro l'Italia per il mancato rispetto dei *target* minimi di raccolta e riciclo dei Rifiuti da Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche (RAEE) – **impongano una riflessione sulle modalità di gestione del fine vita dei pannelli fotovoltaici e sul relativo sistema di finanziamento.**

Il sistema attuale per i pannelli non incentivati dai Conti Energia, nato con l'obiettivo di mettere in sicurezza la gestione del fine vita, **ha condotto ad un equilibrio di mercato nel quale l'ammontare dei contributi ambientali e delle garanzie richieste sembra essere guidato verso il basso** dal desiderio di essere competitivi nei confronti dei produttori. Il valore dei contributi ambientali - e quindi delle garanzie versate nei *trust* - varia sensibilmente, con contributi ambientali compresi tra gli 1 e i 7-8 €. Alcuni sistemi collettivi ritengono dunque sostenibili garanzie molto contenute, che appaiono non coerenti con i costi correnti, confidando in una riduzione dei costi futuri o comunque nella possibilità di una valorizzazione delle materie prime contenute nei pannelli a fine vita.

Le evidenze raccolte sembrano prefigurare il **rischio di incapienza delle somme segregate, almeno rispetto ai costi correnti di logistica e trattamento**. Il sistema delle garanzie, che nasce sulla base di intenti meritori di mettere in sicurezza i costi del fine vita, espone dunque gli stessi aderenti ai sistemi collettivi al rischio di fare fronte tra molti anni alla copertura di maggiori costi, superiori alle somme accantonate; qualora poi un produttore tra molti anni non fosse più presente sul mercato, sarebbe inevitabile una ricaduta sull'ambiente e la collettività.

La possibilità di "conservare" nel tempo a distanze di 20-25 anni le cauzioni segregate nel *trust* richiede inoltre un rinforzo della trasparenza e una vigilanza pubblica sulle somme effettivamente accantonate, sulle modalità di impiego delle risorse accantonate e sulla destinazione dei relativi rendimenti finanziari, sulle garanzie circa il mantenimento del valore reale delle somme accantonate, oltre che sull'incidenza dei costi di funzionamento del *trust*.

L'analisi presentata mostra come il passaggio a un modello generazionale, già in uso per gli altri RAEE, possa rappresentare una svolta efficace e sostenibile. **Questo approccio garantirebbe una piena copertura dei costi di gestione attraverso un contributo ambientale equo**, proporzionato ai reali costi unitari di trattamento dei pannelli, **e contribuirebbe a incentivare la raccolta.**

L'analisi proposta suggerisce che l'adozione di un modello generazionale avrebbe nell'immediato anche il **vantaggio di una riduzione del contributo ambientale a carico dei produttori**, al di sotto

dei valori delle garanzie versate nei *trust*. Si tratta, dunque, di un incentivo indiretto alla realizzazione di cicli di installazione di nuova capacità, che si annunciano negli anni a venire. **Il contributo ambientale per modulo installato rimane infatti sostenibile anche nell'orizzonte di lungo termine**, stante un equilibrio tra nuovi pannelli immessi sul mercato e pannelli giunti a fine vita sempre superiore a 1:1, ergo consentendo di spalmare i costi di costi di logistica e trattamento per ciascun pannello installato su un numero superiore di nuovo immesso.

Tra gli altri elementi della proposta vi è anche la richiesta di **superare la attuale distinzione tra pannelli domestici e professionali** e di **istituire un raggruppamento dedicato ai pannelli fotovoltaici** (R6) per garantire maggiore trasparenza e rendicontazione sulla effettiva consistenza dei flussi.

I benefici collettivi attesi dalla transizione ad un modello generazionale sarebbero molteplici: una riduzione degli smaltimenti illeciti, **la minimizzazione del rischio che i costi futuri non coperti dal sistema delle garanzie ricadano sul bilancio pubblico**, e dunque sui cittadini, e un riequilibrio delle finanze dei consorzi, in crescente disavanzo a causa dell'aumento dei pannelli che giungono a fine vita. **Una maggiore intercettazione dei pannelli dismessi contribuirebbe anche al rafforzamento della filiera nazionale del riciclo e alla valorizzazione delle materie prime seconde.**

Il sistema impiantistico nazionale si sta già preparando ad accogliere volumi crescenti di pannelli da trattare, grazie agli investimenti del PNRR. **È ora necessario che anche il modello di finanziamento venga adeguato a garantire la sostenibilità ambientale ed economica nel lungo periodo:** con l'avvio, **già oggi**, della dismissione dei primi pannelli fotovoltaici installati a partire dagli anni 2000 **si apre una finestra per intervenire in modo strutturato sul finanziamento del settore.**

Allegato 1. Proiezioni della capacità fotovoltaica in esercizio 2025-2050

La proiezione della capacità fotovoltaica in Italia nel periodo 2025-2050 realizzata da REF è stata dapprima suddivisa, tenendo conto di differenti assunzioni, in due periodi: 2025-2030 e 2031-2050.

Uno scenario di installazioni fotovoltaiche nel periodo 2025-2030 deve necessariamente tenere conto delle dinamiche di mercato già conclusesi nel 2024 e delle evidenze dei dati dei primi mesi del 2025, per poter ipotizzare una curva di installato annuale non lineare ma in linea con l'andamento degli incentivi economici, ossia la possibilità di partecipare alle aste FER-X che avranno luogo in più tornate dal 2025 al 2028.

Nel 2024 la crescita dell'installato ha visto un aumento rispetto al 2023 non indifferente (da 5,2 GW a 6,7 GW). Nel primo trimestre 2025, invece, si è verificato un calo considerevole delle installazioni rispetto al primo trimestre 2024 (-25% circa). Ciò è probabilmente dovuto ad un periodo di pausa degli investimenti in attesa di poter partecipare alle prossime aste del Decreto FER-X, i risultati delle quali verranno comunicati entro la fine del 2025 e prevede un contingente massimo di 8 GW per impianti *utility scale*.

La diminuzione delle installazioni tra il 2025 e il 2026, frutto dell'attesa per la partecipazione alle aste per gli incentivi a due vie, sono compensate dal picco di installazioni nei quattro anni successivi.

Grazie alle aste FER-X, attese dal 2025 al 2028, ci si attende un forte aumento delle installazioni *utility scale* dal 2027 al 2030: gli impianti vincitori delle aste devono infatti entrare in esercizio entro 21 mesi dalla pubblicazione delle graduatorie. La capacità addizionale che essi portano al sistema è stata quindi assegnata al secondo anno successivo a quello dell'asta di riferimento.

Le stime per gli impianti residenziali, in fisiologico calo nel loro peso relativo rispetto al totale della capacità, sono frutto di una crescita costante ma non incrementale sino al 2030.

Si assume una partecipazione al FER-X generosa ma non in grado di esaurire il contingente massimo (che per il primo anno è fissato a 8 GW, ma che verrà rivisto negli anni successivi sulla base delle installazioni effettive del successo delle gare precedenti). Nonostante ciò, nello scenario REF, l'Italia si avvicina molto al traguardo PNIEC 2030.

Di seguito vengono discusse le assunzioni alla base dello scenario REF per il periodo 2031-2050.

Non essendo ancora stati discussi e diffusi i *target* di decarbonizzazione relativamente alle installazioni rinnovabili per il 2040 e 2050, un esercizio di stima della capacità installata a lungo termine risulta molto più complesso. Il PNIEC 2030, in un capitolo di discussione sul possibile inserimento del nucleare nel mix energetico, offre due scenari al 2050 molto ottimistici. In entrambi i casi si prevede l'installazione entro il 2050 di 245 GW di capacità fotovoltaica, in grado di sopperire a circa il 60% della domanda elettrica nazionale, in crescita fino a superare i 550 TWh, ipotizzando una resa media in ore equivalenti del solare di 1400 all'anno.

La realistica di tali scenari è certamente ambiziosa, in quanto si tradurrebbe, nell'ipotesi di incrementi annuali lineari, nell'installazione di più di 8 GW all'anno di capacità addizionale. Tuttavia, è possibile che l'efficienza dei pannelli fotovoltaici migliori nel tempo grazie a innovazioni tecnologiche e che sia

destinata a raggiungere un *soft cap* (a meno dell'introduzione di una, al momento sconosciuta, tecnologia tale da generare un *break* tecnologico). Inoltre, all'accumularsi della capacità installata gli investimenti si fanno sempre più complessi, poiché le aree idonee alla costruzione e i terreni economicamente produttivi diminuiscono di conseguenza. A differenza del periodo precedente (2024-2030), inoltre, non si hanno ancora informazioni sulla conferma anche per gli anni successivi dei regimi di sussidio ad oggi in atto.

Uno scenario alternativo potrebbe prevedere, invece, il mantenimento della quota di energia solare sulla domanda totale elettrica nazionale prevista dal PNIEC 2030, ossia 27%. Al contrario del precedente, però, questo scenario non tiene in considerazione la necessità di raggiungere obiettivi sfidanti (ma ancora quantitativamente poco chiari) al 2040 e 2050.

Lo scenario proposto, dunque, assume una posizione intermedia, traguardando al 2050 una quota di energia solare sul totale della domanda elettrica del 40%: si tratta di una quota sì sfidante rispetto al contesto attuale, ma che tiene in considerazione la possibilità di differenziare il mix di generazione obiettivo. Assumendo, in assenza di *policy* conosciute, un aumento annuo lineare della capacità addizionale, dal 2031 al 2050 lo scenario prevede installazioni annue per 4,18 GW.

La distribuzione annuale della capacità installata sarà dunque molto influenzata dalle *policy* di incentivazione e supporto che verranno avanzate post FER-X e dagli obiettivi di lungo termine sul mix di generazione nazionale.

Allegato 2. Metodologia per il calcolo dell'immesso al consumo 2010-2050

L'intero immesso al consumo non incentivato dal Conto Energia entrato in esercizio anno per anno (2010-2050) è stato ottenuto sommando alle tonnellate di pannelli non incentivati entrati in esercizio per nuove installazioni le tonnellate di pannelli non incentivati entrati in esercizio per *revamping/repowering*. Si riporta nel seguito un approfondimento sulla metodologia utilizzata per determinare le due componenti dell'immesso al consumo sopra citate.

Il calcolo della quantità di pannelli non incentivati entrati in esercizio per nuove installazioni (2010-2050)

La stima delle tonnellate e del numero di pannelli fotovoltaici non incentivati dal Conto Energia entrati in esercizio per nuove installazioni nel periodo compreso tra il 2010 e il 2050 si basa su una ricostruzione indiretta, effettuata a partire dai dati ufficiali disponibili relativi alla potenza complessiva (incentivata e non incentivata) ed incentivata installata a fine anno.

Il primo passo consiste nell'individuare la potenza complessiva installata a fine anno (2009-2021), sulla base dei dati pubblicati dal GSE nei rapporti statistici (in particolare, il *Rapporto Statistico 2023 – Solare Fotovoltaico*⁷⁶ per il periodo 2009-2021). La potenza incentivata installata a fine anno, relativa al periodo 2009-2021, è stata ricavata dal *Rapporto delle Attività 2021*⁷⁷ del GSE, che raccoglie i dati degli impianti incentivati dal Conto Energia.

La potenza non incentivata in esercizio a fine anno (2009-2021) è stata quindi ottenuta sottraendo, per ciascun anno, la potenza incentivata in esercizio a fine anno dalla potenza complessiva in esercizio a fine anno.

In seguito, sulla base di questi valori, è stata stimata la potenza non incentivata effettivamente entrata in esercizio anno per anno (2010-2021), calcolando la differenza tra la potenza non incentivata in esercizio a fine anno in un medesimo anno e quella risultante alla fine dell'anno precedente. Per gli anni 2022-2050, in assenza di informazioni ufficiali aggiornate sulla distinzione tra impianti incentivati e non incentivati, si è ipotizzato che l'intera potenza non incentivata entrata in esercizio in ciascuno di questi anni fosse rappresentata dalla potenza complessiva entrata in esercizio (tenendo conto dei dati storici e prospettici già in nostro possesso e precedentemente presentati).

La potenza entrata in esercizio non incentivata è stata poi convertita in tonnellate, tenendo conto di un coefficiente di 20 kg per pannello immesso al consumo fino al 2019⁷⁸ e di 22 kg per pannello immesso al consumo per gli anni successivi⁷⁹. Il numero di pannelli fotovoltaici è stato calcolato dividendo la potenza complessiva per la potenza media di un pannello fotovoltaico, pari a 250 W fino al 2019 e a 400 W negli anni successivi⁸⁰. La stima del numero di pannelli fotovoltaici tramite il

⁷⁶ [GSE - rapporto statistico 2023 solare fotovoltaico](#).

⁷⁷ [Rapporto delle Attività 2021 del GSE](#).

⁷⁸ Fonti: RSE (2020). [La gestione dei pannelli fotovoltaici a fine vita](#). Commissione Europea (2014). [Study on collection rates of Waste Electrical and Electronic Equipment \(WEEE\)](#).

⁷⁹ RSE – Ricerca sul Sistema Energetico(2020). [La gestione dei pannelli fotovoltaici a fine vita](#).

⁸⁰ Ivi.

rapporto tra potenza complessiva installata e potenza nominale del singolo pannello è prassi comune sia in letteratura⁸¹ sia in rapporti ufficiali delle autorità⁸².

Metodologia per il calcolo della quantità di pannelli non incentivati entrati in esercizio per revamping/repowering (2010-2021 e 2025-2050)

Le tonnellate di pannelli non incentivati entrati in esercizio in esito al *revamping/repowering* sono state calcolate per gli anni 2010-2021 e per gli anni 2025-2050 (si tratta degli anni, per entrambi i periodi, in cui il dato di potenza non incentivata entrata in esercizio è stato ottenuto in modo indiretto per sottrazione a partire dalla potenza a fine anno t e $t-1$). Queste quantità sono state ottenute attraverso l'utilizzo del *tool* dell'Unione Europea per il calcolo dei Rifiuti da Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche (RAEE) per l'Italia⁸³. Le tonnellate di pannelli non incentivati entrati in esercizio per *revamping/repowering* anno per anno corrispondono alle tonnellate di pannelli a fine vita generati dal *tool* della Commissione Europea per l'Italia (si veda l'Allegato 3 per ulteriori informazioni sui parametri utilizzati per il calcolo delle quantità RAEE e sulle assunzioni).

Nessun tasso di *revamping* è stato applicato per l'anno 2022, mentre per il 2023 e il 2024 si è ipotizzato un intervento di *revamping* sul 5% del parco fotovoltaico incentivato, dato il forte calo del prezzo all'ingrosso dei pannelli fotovoltaici tra il 2023 e il 2024⁸⁴. Questa quota di potenza legata al *revamping* è stata sottratta dalla capacità entrata in esercizio non incentivata.

Parallelamente, l'esercizio di ottenimento di una stima dell'intero immesso al consumo non incentivato dal Conto Energia entrato in esercizio anno per anno è stato replicato considerando, anziché le tonnellate di pannelli, il numero di pannelli fotovoltaici non incentivati, sommando, anche in questo caso, al numero di pannelli non incentivati entrati in esercizio per nuove installazioni il numero di pannelli non incentivati entrati in esercizio per *revamping/repowering*. Il numero di pannelli fotovoltaici immessi al consumo è stato calcolato dividendo la potenza complessiva per la potenza media di un pannello fotovoltaico, pari a 250 W fino al 2019 e a 400 W negli anni successivi⁸⁵.

⁸¹ Domínguez, A., & Geyer, R. (2019). [Photovoltaic waste assessment of major photovoltaic installations in the United States of America](#). *Renewable Energy*, 133, 1188-1200

⁸² [Allegato DD_45 Istruzioni Operative RAEE marzo 2025.pdf](#), p.22.

⁸³ [Implementation of the WEEE Directive - European Commission](#).

⁸⁴ [Prezzo all'ingrosso dei pannelli fotovoltaici sul mercato europeo \(2009-2024\) | Grafici](#)

⁸⁵ Fonti: RSE (2020). [La gestione dei pannelli fotovoltaici a fine vita](#).

Allegato 3. La stima dei pannelli fotovoltaici non incentivati a fine vita (2010-2050)

Per realizzare la stima dei rifiuti da pannelli fotovoltaici generati storicamente e prospetticamente non incentivati dal Conto Energia è stato utilizzato il *tool* di calcolo dei rifiuti AEE sviluppato dalla Commissione Europea per l'Italia,⁸⁶ basato sulla metodologia «*sales-distributed lifespan*», in cui la distribuzione della durata di vita dei pannelli viene modellata con la funzione statistica di *Weibull*, (funzione largamente utilizzata in letteratura). Tale funzione consente di distribuire temporalmente il fine vita dei prodotti secondo una curva di durata statistica e di tener conto sia della variabilità delle durate effettive tra diversi pannelli, sia della possibilità di guasti prematuri o smaltimenti anticipati, garantendo così una proiezione più realistica della generazione dei rifiuti nel tempo.

Al fine di ottenere la stima delle tonnellate di pannelli a fine vita storici (2010-2024) e futuri (2025-2050) non incentivati, si è proceduto ad inserire nel *tool* (i) le tonnellate di pannelli fotovoltaici non incentivati immessi al consumo storici (2010-2024), (ii) le tonnellate di pannelli fotovoltaici non incentivati immessi al consumo prospettici (2025-2050), (iii) il valore di vita utile dei pannelli, (iv) lo *shape factor* e (v) lo *scale factor*.

L'impresso al consumo, come descritto nell'Allegato 2 (potenza entrata in esercizio anno per anno per nuove installazioni + potenza entrata in esercizio per *revamping/repowering*) è stato convertito in tonnellate utilizzando un coefficiente di 20 kg per pannello immesso al consumo fino al 2019⁸⁷ e di 22 kg per pannello immesso al consumo per gli anni successivi⁸⁸. Il numero di pannelli fotovoltaici è stato calcolato dividendo la potenza complessiva per la potenza media di un pannello fotovoltaico, pari a 250 W fino al 2019 e a 400 W negli anni successivi⁸⁹. La stima del numero di pannelli fotovoltaici tramite il rapporto tra potenza complessiva installata e potenza nominale del singolo pannello è prassi comune sia in letteratura⁹⁰, sia in rapporti ufficiali delle autorità⁹¹.

Riguardo alla *vita utile* è stato impiegato un valore pari a 22,18 anni (valore della vita utile media dei pannelli fotovoltaici in Italia indicato nel *tool* della Commissione Europea)⁹². Questo dato rimane costante per l'intero periodo 2010-2050 e si basa su dati di letteratura, indagini a consumatori ed interviste al settore industriale.⁹³

Lo *shape* e *scale factor* sono i medesimi forniti dal *tool*⁹⁴ per una vita utile media dei pannelli fotovoltaici in Italia di 22,18 anni (2,5 per lo *shape factor* e 25 per lo *scale factor* – costanti per tutto il periodo di analisi).

⁸⁶ Fonte: [Implementation of the WEEE Directive - European Commission](#).

⁸⁷ Fonti: RSE (2020). [La gestione dei pannelli fotovoltaici a fine vita](#) e Commissione Europea (2014). [Study on collection rates of Waste Electrical and Electronic Equipment \(WEEE\)](#).

⁸⁸ Fonti: RSE (2020). [La gestione dei pannelli fotovoltaici a fine vita](#).

⁸⁹ Ivi.

⁹⁰ Domínguez, A., & Geyer, R. (2019). [Photovoltaic waste assessment of major photovoltaic installations in the United States of America](#). *Renewable Energy*, 133, 1188-1200

⁹¹ [Allegato DD_45_Istruzioni Operative RAEE marzo 2025.pdf](#), p.22.

⁹² Fonte: [tool della Commissione Europea](#).

⁹³ Commissione Europea (2014). [Study on collection rates of Waste Electrical and Electronic Equipment \(WEEE\)](#).

⁹⁴ Fonte: [tool della Commissione Europea](#) per l'Italia.

Parallelamente, l'esercizio di ottenimento di una stima delle quantità di pannelli non incentivati a fine vita è stato replicato considerando, anziché le tonnellate immesse al consumo, il numero di pannelli fotovoltaici non incentivati immessi al consumo (che ha permesso di ottenere il numero di pannelli a fine vita tra il 2010 e il 2050). Il numero di pannelli immessi al consumo non incentivati è stato computato come presentato sopra.

Allegato 4. L'equilibrio finanziario *trust*-consorzi nel lungo periodo (2016-2050)

Le stime presentate si basano su una serie di assunzioni metodologiche che permettono di rappresentare in modo coerente l'evoluzione dei costi e dei ricavi legati alla gestione del fine vita dei pannelli fotovoltaici. Tutti i valori sono espressi in euro.

Il ricavo unitario per ciascun pannello (contributo ambientale EPR versato nei *trust*) è calcolato assumendo un contributo ambientale pari a 1€/pannello, versato in un *trust* dedicato. Questo contributo rappresenta la risorsa economica a copertura delle future spese di raccolta, trasporto, trattamento, logistica e gestione amministrativa.

Il costo unitario di gestione del fine vita – a copertura delle attività sopra elencate – è considerato costante in termini reali lungo tutto il periodo analizzato. Ciò significa che un eventuale aumento dei prezzi o dei costi di funzionamento dei *trust* sono compensati dal rendimento delle risorse accantonate nel *trust*.

Il disavanzo di bilancio complessivo è determinato annualmente calcolando, per ciascun anno, la differenza tra il contributo incassato per ogni pannello a fine vita e il costo effettivo per gestirne il fine vita, moltiplicata per il numero di pannelli dismessi in quell'anno. In questo modo è possibile valutare la sostenibilità economica del sistema nel lungo periodo.