



UNIONE EUROPEA
Fondo Sociale Europeo
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Agenzia per la
Coesione Territoriale



GOVERNANCE
E CAPACITÀ
ISTITUZIONALE
2014-2020

Finanziato nell'ambito della risposta dell'Unione alla pandemia di Covid-19

COMPARARE

EVOLUZIONE

**Nota metodologica per la quantificazione dell'indicatore
comune CE 2021- 2027
Emissioni stimate di gas a effetto serra (RCR 29)**

Cecilia Camporeale, Roberto Del Ciello, Barbara Di Giovanni,
Mario Jorizzo, Pasquale Regina, Carlo Tronci

20 luglio 2022*

*Aggiornato al 24 febbraio 2023



COMPARE EVOLUTION₂

INDICE

1. INTRODUZIONE.....	4
2. EFFICIENZA ENERGETICA NELLE IMPRESE.....	5
3. EFFICIENZA ENERGETICA NEGLI EDIFICI.....	7
3.1 COSTRUZIONE DI NUOVI EDIFICI.....	7
3.2 RINNOVO DI EDIFICI.....	12
4. LE FONTI RINNOVABILI.....	15



UNIONE EUROPEA
Fondo Sociale Europeo
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



*Agenzia per la
Coesione Territoriale*

**GOVERNANCE
E CAPACITÀ
ISTITUZIONALE
2014-2020**

Finanziato nell'ambito della risposta dell'Unione alla pandemia di Covid-19

COMPARE EVOLUTION₂

Nota metodologica per la quantificazione dell'indicatore comune CE 2021- 2027 Emissioni stimate di gas a effetto serra (RCR 29)

C. Camporeale, R. Del Ciello, B. Di Giovanni, M. Jorizzo, P. Regina, C. Tronci

Per informazione sul progetto:
cecilia.camporeale@enea.it

*Aggiornato al 24 febbraio 2023: inserimento delle voci 044 e 045 nelle tipologie di intervento considerate dalla presente
Nota metodologica



COMPARE EVOLUTION₂

1. Introduzione

L'indicatore RCR 29 – Emissioni stimate di gas a effetto serra rientra tra gli indicatori comuni di risultato CE 2021-2027 per i quali è previsto l'utilizzo in relazione a specifiche tipologie di intervento rientranti prioritariamente nell'*Obiettivo strategico 2 – Un'Europa resiliente, più verde e a basse emissioni di carbonio ma in transizione verso un'economia a zero emissioni nette di carbonio*.

Nello specifico, la presente Nota, redatta in collaborazione con il NUVAP - Nucleo di Valutazione e analisi per la programmazione del Dipartimento per le politiche di coesione, Presidenza del Consiglio dei Ministri (NUVAPDPCoe), illustra una metodologia di calcolo con riferimento alla modellizzazione sviluppata nell'ambito del modello CO2MPARE e potrà essere applicata per le seguenti tipologie di intervento previste dall'Allegato 1 del Regolamento (UE) n. 2021/1060:

038	Efficienza energetica e progetti dimostrativi nelle PMI e misure di sostegno
039	Efficienza energetica e progetti dimostrativi nelle grandi imprese e misure di sostegno
041	Rinnovo della dotazione di alloggi al fine dell'efficienza energetica, progetti dimostrativi e misure di sostegno
042	Rinnovo della dotazione di alloggi al fine dell'efficienza energetica, progetti dimostrativi e misure di sostegno efficienza energetica
043	Costruzione di nuovi edifici efficienti sotto il profilo energetico
044	Rinnovo di infrastrutture pubbliche al fine dell'efficienza energetica o misure relative all'efficienza energetica per tali infrastrutture, progetti dimostrativi e misure di sostegno
045	Rinnovo di infrastrutture pubbliche al fine dell'efficienza energetica o misure relative all'efficienza energetica per tali infrastrutture, progetti dimostrativi e misure di sostegno conformemente ai criteri di efficienza energetica
047	Energia rinnovabile: eolica
048	Energia rinnovabile: solare
049	Energia rinnovabile: biomassa
050	Energia rinnovabile: biomassa con elevate riduzioni di gas a effetto serra
051	Energia rinnovabile: marina
052	Altri tipi di energia rinnovabile (compresa l'energia geotermica)

Tali tipologie possono essere sostanzialmente raggruppate in tre macro-aree:

- efficienza energetica nelle imprese;
- efficienza energetica negli edifici;



COMPARE EVOLUTION₂

- fonti rinnovabili.

Si fa presente che nel proseguo della Nota metodologica, l'investimento, che costituisce l'elemento di partenza del calcolo, è rappresentato dall'importo della categoria di spesa considerata nella sua interezza, ossia data dalla sommatoria della quota UE e del cofinanziamento nazionale.

2. Efficienza energetica nelle imprese

Per interventi in efficienza energetica nelle imprese si intendono:

- interventi di miglioramento dell'efficienza energetica del settore industriale¹ nei *consumi elettrici*, tra i quali:
 - sostituzione di motori con motori ad alta efficienza;
 - installazione di azionamenti a velocità variabile su pompe, soffianti e ventilatori;
 - installazione di soft start con funzione di limitazione di tensione ai bassi carichi;
 - sostituzione di sistemi di trasmissione più efficienti;
 - installazione di apparecchiature utilizzatrici ad alta efficienza;
- interventi di miglioramento dell'efficienza energetica del settore industriale nei *consumi termici*, tra i quali:
 - recuperi energetici interni al processo di calore refluco;
 - caldaie ad alta efficienza;
 - miglioramento della coibentazione delle linee e dei reattori di processo;
 - compressione meccanica del vapore;
 - ottimizzazione di sistema.

Gli interventi considerati permettono di ottenere un risparmio energetico che varia a seconda delle condizioni di utilizzo e di installazione.

Per interventi di miglioramento sia termico (ter) che elettrico (elc) nel settore industriale, il calcolo è dato da:

$$\frac{I_i}{CS_{I_i,e}} = E_i \quad \forall i = \{elc, ter\} \quad [1]$$

dove:

- I_i rappresenta l'investimento o dotazione finanziaria dell'intervento: I_{elc} rappresenta dunque l'investimento per un intervento di miglioramento dell'efficienza energetica nei consumi elettrici e I_{ter} rappresenta l'investimento per un intervento di miglioramento dell'efficienza energetica nei consumi termici;

¹ Per le imprese del terziario si può fare riferimento all'efficienza energetica degli edifici (uffici, strutture ricettive, ecc.), cfr. par. 1.2.



COMPARE EVOLUTION²

- $cs_{i,e}$ rappresenta il costo di investimento specifico riferito all'emissione evitata di CO₂;
- E_i rappresenta l'emissione evitata di CO₂ per tipologia di intervento "i", ossia se riferito a miglioramento dei consumi elettrici o termici.

Con riferimento al costo dell'investimento in miglioramento di efficienza energetica nei **consumi elettrici**, questo lo si applica con riferimento al solo intervento di sostituzione con motori ad alta efficienza, che rappresenta la tipologia di intervento preminente a cui le altre tipologie di interventi sono considerate assimilabili in quanto residuali rispetto all'intervento considerato.

In tabella 1, si riportano i costi specifici in euro di investimento con riferimento alla potenza del motore e alle ore di funzionamento.

Tabella 1 – Costo di investimento specifico installazione motore elettrico eff1 rispetto alla riduzione annua CO₂(€/tCO₂/anno)

Ore di funzionamento	Potenza motore (kW)						
	1,1	2,2	4	7,5	15	30	55
1800	1.759	2.148	2.326	2.436	2.876	3.729	4.584
3500	880	1.074	1.225	1.260	1.506	1.926	2.320
8000	400	485	528	554	659	850	1.021

Nota: I costi sono derivati dal modello CO₂MPARE per il 2007 e rivalutati al 2021 sulla base dell'indice dei prezzi al consumo per le famiglie di operai e impiegati (FOI)- ISTAT.

Con riferimento al costo specifico di investimento in miglioramento di efficienza energetica nei **consumi termici**, si fa riferimento ai risparmi energetici conseguibili grazie agli interventi, che complessivamente considerati possono arrivare a determinare un risparmio di circa il 40% dei consumi².

Di seguito si riporta il costo di investimento specifico utilizzato dal modello CO₂MPARE nei due tipi di intervento:

Tabella 2 – Costo di investimento in euro per emissione di CO₂ per tipologia di intervento utilizzate nel CO₂MPARE

Costo di investimento	
Intervento sui consumi elettrici	659,00 €/tCO ₂ eq/anno
Intervento sui consumi termici	964,00 €/tCO ₂ eq/anno

Nota: I costi sono derivati dal modello CO₂MPARE per il 2007 e rivalutati al 2021 sulla base dell'indice dei prezzi al consumo per le famiglie di operai e impiegati (FOI)- ISTAT.

² Per i dettagli sulla metodologia cfr. "Quadro Strategico Nazionale 2007-2013. Valutazione dell'impatto potenziale dei Programmi operativi FESR sulla riduzione delle emissioni di gas serra", <https://www.pubblicazioni.enea.it/le-pubblicazioni-enea/edizioni-enea/anno-2010/quadro-strategico-nazionale-2007-2013.html>



COMPARE EVOLUTION₂

Nello specifico, con riferimento ad interventi di efficienza energetica nel settore industriale sui consumi elettrici, il costo specifico dell'investimento corrisponde al valore di 659,00 €/tCO₂eq/anno riferito ad un motore da 15 kW con funzionamento di 8000 ore; con riferimento ad interventi di efficienza sui consumi termici, il costo specifico di investimento considerato è pari a 964,00 €/tCO₂eq/anno.

Ciò significa, ad esempio, che un investimento di 10 milioni di euro in interventi di efficienza energetica sui **consumi elettrici**, le emissioni annuali evitate risultano pari a:

$$\frac{10.000.000 \text{ €}}{659 \text{ €/tCO}_2\text{eq}} = 15.173 \text{ tCO}_2\text{eq}$$

Se, tale importo, invece, venisse investito in interventi di miglioramento dei **consumi termici** si avrebbero emissioni evitate pari a:

$$\frac{10.000.000 \text{ €}}{964 \text{ €/tCO}_2\text{eq}} = 10.369 \text{ tCO}_2\text{eq}$$

3. Efficienza energetica negli edifici

Interventi sull'efficienza energetica degli edifici comportano una riduzione dei consumi energetici degli stessi e conseguente risparmio di emissioni.

Come previsto dalle tipologie di intervento, queste misure di efficienza energetica possono essere poste in essere sia nella costruzione di nuovi edifici (es. tipologia di intervento n. 043 – Costruzione di nuovi edifici efficienti sotto il profilo energetico) sia nel rinnovo degli edifici (es. tipologie di intervento 041 e 042 relative al rinnovo della dotazione di alloggi).

In senso generale, sebbene dal punto di vista metodologico vi siano diverse analogie, le due fattispecie saranno trattate distintamente.

3.1 COSTRUZIONE DI NUOVI EDIFICI

Nel caso di costruzione di nuovi edifici, il processo di calcolo passa attraverso la determinazione dei metri quadri costruiti a cui sono poi associati i consumi termici ed elettrici e le relative emissioni.

Il calcolo quindi è il seguente:

$$\frac{I}{CS_B} = D_B \quad B = \{1, 2, \dots, 7\} \quad [2]$$

COMPARE EVOLUTION₂

dove:

- I rappresenta l'investimento in costruzione di nuovi edifici;
- cs_B rappresenta il costo di investimento specifico riferito al mq realizzato (in questo caso costruito) che dipende dal tipo di edificio, B , che può essere individuato tra i sette tipi riportati in Tabella 3³;
- D_B rappresenta i metri quadri realizzati grazie all'investimento effettuato per quel tipo di edificio B .

Ottenuti così i mq costruiti, si procede al calcolo dei consumi sia termici che elettrici e alle relative emissioni:

$$D_B * cons_i * e_i = E_i \quad i = \{elc, ter\} \quad B = \{1, 2, \dots, 7\} \quad [3]$$

$$E = E_{ter} + E_{elc} \quad [4]$$

dove:

- $cons_i$ rappresenta il consumo specifico per mq termico ($i = ter$) o elettrico ($i = elc$) espresso in kWh/mq;
- e_i rappresenta il fattore emissivo termico ($i = ter$) o elettrico ($i = elc$), espresso in tCO₂eq/kWh;
- E_i rappresenta le emissioni annue legate al consumo termico ($i = ter$) o elettrico ($i = elc$);
- E rappresenta le emissioni annue complessive legate alla fase "operativa" dell'edificio di nuova costruzione.

La costruzione di un nuovo edificio nel rispetto del Decreto Ministeriale 26 giugno 2015 relativo ai requisiti minimi in materia di prestazioni energetiche degli edifici e unità immobiliari, darebbe luogo a consumi fortemente contenuti, se non nulli, grazie al rispetto di questi criteri. Le relative emissioni E si otterrebbero applicando le formule [3] e [4].

Per misurare la riduzione delle emissioni che la crescente attenzione all'efficienza energetica ha apportato agli edifici, occorre calcolare una baseline di riferimento. La baseline di riferimento è calcolata nell'ipotesi che si realizzi una nuova costruzione in assenza di alcuna attenzione alle prestazioni energetiche dell'edificio.

La differenza tra le emissioni calcolate nella baseline E' e le emissioni annuali E costituiscono le emissioni evitate R :

³ Sebbene nel modello CO₂MPARE le tipologie di building sono 10, in questa analisi alcune tipologie come magazzini, capannoni e fattorie non si è ritenuto necessario considerarle.



COMPARE EVOLUTION 2

$$D_B * cons'_i * e_i = E'_i \quad i = \{elc, ter\} \quad B = \{1, 2, \dots, 7\} \quad [5]$$

$$E' = E'_{ter} + E'_{elc} \quad [6]$$

$$R = E - E' \quad E < E' \quad [7]$$

dove:

- $cons'_i$ rappresenta il consumo specifico per mq termico ($i = ter$) o elettrico ($i = elc$) espresso in kWh/mq nell'ipotesi di assenza di attenzione all'efficienza energetica;
- e_i rappresenta il fattore emissivo termico ($i = ter$) o elettrico ($i = elc$), espresso in tCO₂eq/kWh;
- E'_i rappresenta le emissioni annue legate al consumo termico ($i = ter$) o elettrico ($i = elc$) ricalcolate in assenza di attenzione all'efficienza energetica;
- E' rappresenta le emissioni annue complessive legate al funzionamento del nuovo edificio in ipotesi di assenza di attenzione all'efficienza energetica;
- E rappresenta le emissioni annue complessive legate al funzionamento dell'edificio di nuova costruzione, ottenuto dalla [4];
- R rappresenta le emissioni evitate o il risparmio di emissioni legate all'intervento in efficienza energetica.

Di seguito si riportano i costi specifici per le 7 tipologie considerate; mentre nelle tabelle 4 e 5 sono riportati rispettivamente i consumi specifici termici e i consumi specifici elettrici relativi ad una nuova costruzione.

Tabella 3 - Costo di investimento in euro specifico per mq per la costruzione di un nuovo edificio cs_B (€/mq realizzati) a seconda della profondità dell'intervento di efficienza energetica

Tipologia di edificio	Baseline	Forte intervento in efficienza energetica
1. Edificio residenziale multipiano	814,7	1.222,0
2. Uffici	924,3	1.386,4
3. Ospedali*	543,1	814,7
4. Istituti scolastici	504,6	756,9
5. Edifici per il tempo libero (musei, teatri, cinema, ecc.)	412,8	619,2
6. Edifici industriali	500,0	750,0
7. Altri edifici	924,3	1.386,4

*Ospedali, edifici destinati a residenza sanitaria assistenziale e, per analogia dei principali consumi, strutture alberghiere in generale.

Nota: I costi sono derivati dal modello CO₂MPARE per il 2007 e rivalutati al 2021 sulla base dell'indice dei prezzi al consumo per le famiglie di operai e impiegati (FOI)- ISTAT.

COMPARE EVOLUTION 2

Tabella 4 – Consumo specifico $cons_t$ termico (kWh/mq) per tipologia di edificio e grado di profondità dell'intervento di efficienza energetica

Tipologia di edificio	Baseline	Forte intervento in efficienza energetica
1. Edificio residenziale multipiano	112,00	21,00
2. Uffici	138,62	26,00
3. Ospedali*	137,16	25,72
4. Istituti scolastici	142,09	26,64
5. Edifici per il tempo libero (musei, teatri, cinema, ecc.)	137,16	25,72
6. Edifici industriali	137,16	25,72
7. Altri edifici	137,16	25,72

*Ospedali, edifici destinati a residenza sanitaria assistenziale e, per analogia dei principali consumi, strutture alberghiere in generale.

Nota: I costi sono derivati dal modello CO₂MPARE per il 2007 e rivalutati al 2021 sulla base dell'indice dei prezzi al consumo per le famiglie di operai e impiegati (FOI)- ISTAT.

Tabella 5 – Consumo specifico $cons_t$ elettrico (kWh/mq) per tipologia di edificio e grado di profondità dell'intervento di efficienza energetica

Tipologia di edificio	Baseline	Forte intervento in efficienza energetica
1. Edificio residenziale multipiano	48,00	9,00
2. Uffici	59,41	11,14
3. Ospedali*	58,78	11,02
4. Istituti scolastici	60,89	11,42
5. Edifici per il tempo libero (musei, teatri, cinema, ecc.)	58,78	11,02
6. Edifici industriali	58,78	11,02
7. Altri edifici	58,78	11,02

*Ospedali, edifici destinati a residenza sanitaria assistenziale e, per analogia dei principali consumi, strutture alberghiere in generale.

Nota: I costi sono derivati dal modello CO₂MPARE per il 2007 e rivalutati al 2021 sulla base dell'indice dei prezzi al consumo per le famiglie di operai e impiegati (FOI)- ISTAT.

Tabella 6 – Fattore emissivo e_i per consumo specifico (tCO₂/kWh)

	Consumi elettrici	Consumi termici
Fattore emissivo	0,000404652	0,000404652

Nota: il valore del fattore emissivo riportato è tratto dal modello CO₂MPARE ed è lo stesso per i consumi elettrici o termici perché fa riferimento alla media del mix energetico nazionale.



COMPARE EVOLUTION 2

Ciò significa, ad esempio, che un investimento di 10 milioni di euro nella costruzione di nuovi edifici, ipotizzando che essi riguardino la realizzazione di nuove scuole, applicando la formula [2], porterebbe alla realizzazione di 13.211 mq costruiti se l'efficienza energetica avesse un ruolo predominante (pari ad una contrazione dell'80% dei consumi energetici).

Di seguito il calcolo delle emissioni annuali evitate.

Esempio di calcolo delle emissioni e dei risparmi annuali di gas serra per la costruzione di nuovo edificio scolastico

Esempio di calcolo del risparmio delle emissioni annuali per costruzione di una scuola *con massimo grado di efficienza*:

applicare la formula [2] si ha:

$$\frac{10.000.000 \text{ €}}{757 \text{ €/mq}} = 13.211 \text{ mq}$$

applicare la formula [3] sia per i consumi termici sia per i consumi elettrici:

Emissioni annuali legate al consumo termico:

$$13.211 \text{ mq} * 26,64 \frac{\text{kWh}}{\text{mq}} * 0,000404652 \frac{\text{tCO}_2}{\text{kWh}} = 142,42 \text{ tCO}_2$$

Emissioni annuali legate al consumo elettrico:

$$13.211 \text{ mq} * 11,42 \frac{\text{kWh}}{\text{mq}} * 0,000404652 \frac{\text{tCO}_2}{\text{kWh}} = 61,05 \text{ tCO}_2$$

e grazie alla [4], si ottengono emissioni annuali complessive pari a:

$$142,42 + 61,05 = 203,47 \text{ tCO}_2$$

Poiché la costruzione è stata effettuata prestando attenzione all'efficienza energetica, allora è possibile calcolare le emissioni evitate:

applicando la [5] si calcolano le Emissioni annuali legate al consumo termico in assenza di intervento di efficienza energetica:

$$13.211 \text{ mq} * 142,09 \frac{\text{kWh}}{\text{mq}} * 0,000404652 \frac{\text{tCO}_2}{\text{kWh}} = 759,61 \text{ tCO}_2$$

e le emissioni annuali legate al consumo elettrico in assenza di intervento di efficienza energetica:

$$13.211 \text{ mq} * 60,89 \frac{\text{kWh}}{\text{mq}} * 0,000404652 \frac{\text{tCO}_2}{\text{kWh}} = 325,51 \text{ tCO}_2$$

e grazie alla [6], si ottengono emissioni annuali complessive di uno scenario base privo di efficienza energetica:

$$759,61 + 325,51 = 1.085,12 \text{ tCO}_2$$

quindi con la [7] è possibile calcolare le emissioni evitate grazie all'inclusione dell'efficienza energetica:

$$203,47 - 1.085,12 = - 881,65 \text{ tCO}_2$$

COMPARE EVOLUTION 2

Nel caso di una profonda attenzione all'efficienza energetica si ha che le emissioni annuali di funzionamento della nuova costruzione si sono ridotte a 203,5 tCO₂ determinando emissioni evitate annuali pari a 881,6 tCO₂.

3.2 RINNOVO DI EDIFICI

Analogamente a quanto visto nella fattispecie della costruzione di nuovi edifici, anche nel caso di rinnovo o ristrutturazione di edifici, il processo di calcolo passa attraverso la determinazione dei metri quadri ristrutturati a cui sono poi associati i consumi termici ed elettrici e le relative emissioni.

Le fasi del calcolo sono simili a quanto visto per la costruzione di un nuovo edificio: per ottenere i metri quadri ristrutturati (D_B) si applica la formula [2], dove però i costi di investimento specifico (cs_B) sono quelli riferibili alla ristrutturazione e riportati in tabella 7.

Ai metri quadri così ottenuti, si applicano i consumi specifici ($cons_i$) termici ed elettrici riportate rispettivamente nella tabella 8 e 9, arrivando ad ottenere le emissioni annuali complessive (E). Il calcolo delle emissioni evitate (R) è possibile solo nel caso di interventi che abbiano una componente di efficienza energetica (media o forte) e si ottiene applicando le formule da [5] a [7], analogamente a quanto riportato nel caso di nuova costruzione.

Tabella 7 – Costo di investimento specifico per mq per la ristrutturazione di edificio esistenti cs_B (€/mq realizzati) a seconda della profondità dell'intervento di efficienza energetica

Tipologia di edificio	Baseline	Grado di profondità dell'intervento di efficienza energetica	
		Media	Forte
1. Edificio residenziale multipiano	570,3	684,3	855,4
2. Uffici	647,0	776,4	970,5
3. Ospedali*	380,2	456,2	570,3
4. Istituti scolastici	353,2	423,9	529,9
5. Edifici per il tempo libero (musei, teatri, cinema, ecc.)	289,0	346,8	433,5
6. Edifici industriali	350,0	420,0	525,0
7. Altri edifici	647,0	776,4	970,5

*Ospedali, edifici destinati a residenza sanitaria assistenziale e, per analogia dei principali consumi, strutture alberghiere in generale.

Nota: I costi sono derivati dal modello CO₂MPARE per il 2007 e rivalutati al 2021 sulla base dell'indice dei prezzi al consumo per le famiglie di operai e impiegati (FOI)- ISTAT.

COMPARE EVOLUTION₂

Tabella 8 – Consumo specifico $cons_i$ termico (kWh/mq) per tipologia di edificio e grado di profondità dell'intervento di efficienza energetica

Tipologia di edificio	Baseline	Grado di profondità dell'intervento di efficienza energetica	
		Media	Forte
1. Edificio residenziale multipiano	112,00	49,00	21,00
2. Uffici	138,62	60,65	26,00
3. Ospedali*	137,16	60,01	25,72
4. Istituti scolastici	142,09	62,16	26,64
5. Edifici per il tempo libero (musei, teatri, cinema, ecc.)	137,16	60,01	25,72
6. Edifici industriali	137,16	60,01	25,72
7. Altri edifici	137,16	60,01	25,72

*Ospedali, edifici destinati a residenza sanitaria assistenziale e, per analogia dei principali consumi, strutture alberghiere in generale.

Nota: I costi sono derivati dal modello CO₂MPARE per il 2007 e rivalutati al 2021 sulla base dell'indice dei prezzi al consumo per le famiglie di operai e impiegati (FOI)- ISTAT.

Tabella 9 – Consumo specifico $cons_i$ elettrico (kWh/mq) per tipologia di edificio e grado di profondità dell'intervento di efficienza energetica

Tipologia di edificio	Baseline	Grado di profondità dell'intervento di efficienza energetica	
		Media	Forte
1. Edificio residenziale multipiano	48,00	21,00	9,00
2. Uffici	59,41	26,00	11,14
3. Ospedali*	58,78	25,72	11,02
4. Istituti scolastici	60,89	26,64	11,42
5. Edifici per il tempo libero (musei, teatri, cinema, ecc.)	58,78	25,72	11,02
6. Edifici industriali	58,78	25,72	11,02
7. Altri edifici	58,78	25,72	11,02

*Ospedali, edifici destinati a residenza sanitaria assistenziale e, per analogia dei principali consumi, strutture alberghiere in generale.

Nota: I costi sono derivati dal modello CO₂MPARE per il 2007 e rivalutati al 2021 sulla base dell'indice dei prezzi al consumo per le famiglie di operai e impiegati (FOI)- ISTAT.

Anche per il caso del rinnovo edifici, si riporta un esempio per meglio comprendere il processo di calcolo. Ad esempio, un investimento di 10 milioni di euro nel rinnovo di un edificio residenziale multiplo, applicando la formula [2], porterebbe alla ristrutturazione di 11.690 mq se l'efficienza



COMPARE EVOLUTION₂

energetica avesse un ruolo predominante (pari ad una contrazione dell'80% dei consumi energetici).

Di seguito il calcolo delle emissioni annuali evitate.

Esempio di calcolo delle emissioni e dei risparmi annuali di gas serra per la ristrutturazione di un edificio residenziale multipiano

Esempio di calcolo del risparmio delle emissioni annuali per ristrutturazione di un edificio residenziale multipiano *con massimo grado di efficienza*:

applicare la formula [2] si ha:

$$\frac{10.000.000 \text{ €}}{855,4 \text{ €/mq}} = 11.690 \text{ mq}$$

applicando la formula [3] sia per i consumi termici sia per i consumi elettrici:

Emissioni annuali legate al consumo termico:

$$11.690 \text{ mq} * 21 \frac{\text{kWh}}{\text{mq}} * 0,000404652 \frac{\text{tCO}_2}{\text{kWh}} = 99,34 \text{ tCO}_2$$

Emissioni annuali legate al consumo elettrico:

$$11.690 \text{ mq} * 9 \frac{\text{kWh}}{\text{mq}} * 0,000404652 \frac{\text{tCO}_2}{\text{kWh}} = 42,57 \text{ tCO}_2$$

e grazie alla [4], si ottengono emissioni annuali complessive pari a:

$$99,34 + 42,57 = 141,91 \text{ tCO}_2$$

Poiché la costruzione è stata effettuata prestando attenzione all'efficienza energetica, allora è possibile calcolare le emissioni evitate:

applicando la [5] si calcolano le Emissioni annuali legate al consumo termico in assenza di intervento di efficienza energetica:

$$11.690 \text{ mq} * 112 \frac{\text{kWh}}{\text{mq}} * 0,000404652 \frac{\text{tCO}_2}{\text{kWh}} = 529,82 \text{ tCO}_2$$

e le emissioni annuali legate al consumo elettrico in assenza di intervento di efficienza energetica:

$$11.690 \text{ mq} * 48 \frac{\text{kWh}}{\text{mq}} * 0,000404652 \frac{\text{tCO}_2}{\text{kWh}} = 227,06 \text{ tCO}_2$$

e grazie alla [6], si ottengono emissioni annuali complessive di uno scenario base di riferimento privo di efficienza energetica:

$$529,82 + 227,06 = 756,88 \text{ tCO}_2$$



COMPARE EVOLUTION₂

quindi con la [7] è possibile calcolare le emissioni evitate grazie all'inclusione dell'efficienza energetica:

$$141,91 - 756,88 = - 614,97 \text{ tCO}_2$$

Le emissioni annuali legate alla ristrutturazione di un edificio residenziale multipiano con una forte attenzione all'efficienza energetica risultano essere pari a 141,91 tCO₂, con un risparmio annuale di emissioni pari a 614,97 tCO₂.

4. Le fonti rinnovabili

Le emissioni di GHG derivanti dalla produzione di energia da fonti rinnovabili sono espresse in emissioni *evitate* ovvero dalle emissioni che sarebbero state generate per produrre la stessa quantità di energia attraverso l'utilizzo di fonti non rinnovabili. Inoltre, va tenuto conto che la produzione di energia da fonti rinnovabili può essere di tre tipologie: i) produzione di energia elettrica; ii) produzione di energia termica; iii) produzione da cogenerazione (sia elettrica che termica).

Un investimento in fonti rinnovabili implica la determinazione della potenza installata, sia che si tratti di impianti decentralizzati (< 1 MW) sia che si tratti di impianti centralizzati (≥ 1 MW); la dimensione dell'impianto infatti, si riverbera nei diversi costi specifici.

In senso generale, il processo di calcolo parte sempre dall'investimento:

$$\frac{I}{c_{SF}} = C_F \quad F = \{FV, \text{eolico}, \dots\} \quad [8]$$

dove:

- I rappresenta l'investimento nella realizzazione di impianti da fonti rinnovabili;
- c_{SF} rappresenta il costo di investimento specifico per ciascuna fonte rinnovabile (F);
- C_F rappresenta la capacità o potenza installata della fonte rinnovabile (F) considerata.

Ottenuta così la potenza installabile, C_F , si procede al calcolo della produzione per fonte rinnovabile (F) considerata:

$$C_F * h_F = P_F \quad F = \{FV, \text{eolico}, \dots\} \quad [9]$$

dove:

- C_F rappresenta la capacità o potenza installata della fonte rinnovabile (F) considerata.



COMPARE EVOLUTION₂

- h_F rappresenta le ore di funzionamento dell'impianto che si differenzia a seconda della fonte rinnovabile (F) considerata;
- P_F rappresenta la produzione di energia legata alla fonte rinnovabile (F) considerata.

Poiché la produzione da fonti rinnovabili non dà origine ad emissioni operative, salvo alcune eccezioni che analizzeremo nel proseguo, le emissioni legate ad essa sono emissioni evitate, calcolate considerando un analogo livello di produzione di energia (P') realizzato da fonti fossili ed applicandovi il relativo fattore emissivo, così come riportato nella [10]:

$$P' * e_i = E'_i \quad i = \{elc, ter, cog\} \quad [10]$$

$$Ev_F = E_F - E'_i \quad i = \{elc, ter, cog\} \quad F = \{FV, eolico, \dots\} \quad [11]$$

dove:

- P' rappresenta lo stesso livello di produzione di energetica ricavato dalla [9] ma nell'ipotesi essa sia ottenuta a partire da fonti fossili;
- e_i rappresenta il fattore emissivo per la produzione da fonte fossile di energia termica ($i = ter$) o elettrica ($i = elc$) o cogenerativa ($i = cog$), espresso in tCO₂eq/kWh;
- E'_i rappresenta le emissioni annue legate alla produzione da fonti fossili di energia termica ($i = ter$) o elettrica ($i = elc$) o cogenerativa ($i = cog$);
- E_F rappresenta le emissioni annue da produzione di energia da fonti rinnovabili, in cui $E_F = 0$ per la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili (esempio FV, eolico), $E_F > 0$ per la produzione di energia termica e cogenerativa da fonti rinnovabili (esempio da biomassa);
- Ev_F rappresenta le emissioni annue evitate grazie alla produzione energetica fatta ricorrendo alle fonti rinnovabili, che in assenza di emissioni da fonti rinnovabili, è pari al negativo delle emissioni per la produzione di energia da fonti fossili.

Operativamente, di seguito si riportano alcuni elementi necessari per il calcolo, si tratta di coefficienti utilizzati già nel modello CO₂MPARE.

COMPARE EVOLUTION 2

Tabella 10 – Costo di investimento specifico per tipologia di fonte rinnovabile cs_F (€/MW)

Fonte rinnovabile	Costo di investimento specifico (k€/MW)	
	≥ 1 MW	< 1 MW
Produzione di energia elettrica		
Eolico offshore	1.800	
Eolico onshore	1.000	1.140
Solare fotovoltaico	4.500	4.700
Fotovoltaico a concentrazione (CSP)	5.000	
Geotermia	2.765	
Idro	1.800	3.600
Biomassa	2.450	
Produzione di energia termica		
Solare termico		3.700
Geotermia	1.400	640
Biomassa	2450	3800
Produzione cogenerativa		
Biomassa	3.150	4.500

Nota: i valori di costo qui riportati sono tratti dal modello CO₂MPARE ad oggi ancora rappresentativi dei costi di impianto per effetto combinato della riduzione del costo della tecnologia e dell'aumento dei prezzi al consumo.

Tabella 11 – Ore di funzionamento ipotizzate h_F e fattore emissivo specifico per fonte e_F

Fonte rinnovabile	Ore di funzionamento		Fattore emissivo specifico operativo
	≥ 1 MW	< 1 MW	
Produzione di energia elettrica			
Eolico offshore	1.900		-
Eolico onshore	1.900	1.900	-
Solare fotovoltaico	1.093	1.093	-
Fotovoltaico a concentrazione (CSP)	1.093		0,00012 tCO ₂ /kWh
Geotermia	8.000		-
Idro	8.000	8.000	-
Biomassa	6.000		0,000055 tCO ₂ /kWh
Produzione di energia termica			
Solare termico		667	-
Geotermia	8.000	8.000	-
Biomassa	6.000	2.700	0,000055 tCO ₂ /kWh
Produzione cogenerativa			
Biomassa	8.000	3.000	0,000055 tCO ₂ /kWh

Nota: i valori qui riportati sono tratti dal modello CO₂MPARE. Va tenuto conto che esiste una variabilità delle ore di funzionamento a seconda dal territorio considerato, pur tuttavia attestandosi in media verso quanto ipotizzato.



COMPARE EVOLUTION₂

Tabella 12 - Fattore emissivo e_i (tCO₂/kWh) -

	Elettricità	En. Termica	Cogenerazione
Fattore emissivo	0,000404652	0,000404652	0,000404652

Nota: il valore del fattore emissivo riportato è tratto dal modello CO₂MPARE ed è lo stesso per l'elettricità, il termico e la cogenerazione in quanto fa riferimento alla media del mix energetico nazionale.

Per rendere più chiaro il procedimento di calcolo si portano tre esempi.

Nel primo caso, si tratta di un investimento di 10 milioni di euro nella realizzazione di un impianto fotovoltaico, nel secondo nella realizzazione di un impianto eolico onshore di potenza < 1 MW; nel terzo caso si analizza l'investimento in produzione cogenerativa da biomassa per impianti ≥ 1 MW.

Esempio di calcolo delle emissioni e dei risparmi annuali di gas serra ottenuti grazie alla realizzazione di un impianto fotovoltaico < 1MW

Considerando l'investimento di 10.000.000 euro ed applicando la formula [8] si ottiene che la capacità installabile con tale investimento è pari a 2,13 MW:

$$\frac{10.000.000 \text{ €}}{4.700.000 \text{ €/MW}} = 2,13 \text{ MW}$$

Assumendo, come da tabella 11, che l'impianto fotovoltaico funzioni per 1.093 ore, applicando la [9] si ha la produzione elettrica da eolico:

$$2,13 \text{ MW} * 1.093 \text{ h} = 2.325 \text{ MWh}$$

La produzione di energia elettrica da fotovoltaico non dà origine ad alcuna emissione (rientrando nei casi per cui si ha che $E_F = 0$). Partendo quindi dall'ipotesi che 2.325 MWh siano stati prodotti da fonte fossile, applicando ora la [10] è possibile calcolare le emissioni annue legate alla produzione elettrica da fonti fossili:

$$2.325 \text{ MWh} * 0,000404652 \frac{\text{tCO}_2}{\text{kWh}_i} = 941 \text{ tCO}_2$$

ne conseguono le emissioni evitate [11]:

$$Ev = 0 - 941 \text{ tCO}_2 = - 941 \text{ tCO}_2$$



COMPARE EVOLUTION₂

Esempio di calcolo delle emissioni e dei risparmi annuali di gas serra ottenuti grazie alla realizzazione di un impianto eolico onshore < 1MW

Considerando l'investimento di 10.000.000 euro ed applicando la formula [8] si ottiene che la capacità installabile con tale investimento è pari a 8,77 MW:

$$\frac{10.000.000 \text{ €}}{1.140.000 \text{ €/MW}} = 8,77 \text{ MW}$$

Assumendo, come da tabella 11, che l'impianto eolico onshore funzioni per 1.900 ore, applicando la [9] si ha la produzione elettrica da eolico:

$$8,77 \text{ MW} * 1.900 \text{ h} = 16.663 \text{ MWh}$$

La produzione di energia elettrica da eolico non dà origine ad alcuna emissione (rientrando nei casi per cui si ha che $E_f = 0$). Partendo quindi dall'ipotesi che 16.663 MWh siano stati prodotti da fonte fossile, applicando ora la [10] è possibile calcolare le emissioni annue legate alla produzione elettrica da fonti fossili:

$$16.663 \text{ MWh} * 0,000404652 \frac{tCO_2}{kWh_i} = 6.742,72 \text{ tCO}_2$$

ne conseguono le emissioni evitate [11]:

$$E_v = 0 - 6.742,72 \text{ tCO}_2 = - 6.742,72 \text{ tCO}_2$$



COMPARE EVOLUTION₂

Esempio di calcolo delle emissioni e dei risparmi annuali di gas serra ottenuti grazie alla realizzazione di un impianto cogenerativo a biomassa ≥ 1 MW

Consideriamo sempre un investimento di 10.000.000 euro ed applicando la formula [8] si ottiene che la capacità installabile con tale investimento è pari a 4,08 MW:

$$\frac{10.000.000 \text{ €}}{2.450.000 \text{ €/MW}} = 4,08 \text{ MW}$$

Assumendo, come da tabella 11, che l'impianto cogenerativo a biomassa funzioni per 6.000 ore, applicando la [9] si ha la produzione cogenerativa da biomassa:

$$4,08 \text{ MW} * 6.000 \text{ h} = 24.480 \text{ MWh}$$

La produzione cogenerativa dà però luogo a delle emissioni legate alla fonte stessa che occorre quindi calcolare E_F , seguendo per analogia la [10]:

$$E_F = 24.480 \text{ MWh} * 0,000055 \frac{tCO_2}{kWh_i} = 1.346,4 \text{ tCO}_2$$

Nell'ipotesi che 24.480 MWh siano prodotti da fonte fossile, applicando la [10] è possibile calcolare le emissioni annue legate alla produzione cogenerativa da fonti fossili:

$$E' = 24.480 \text{ MWh} * 0,000404652 \frac{tCO_2}{kWh_i} = 9.905,9 \text{ tCO}_2$$

ne conseguono le emissioni evitate [11]:

$$E_v = 1.346,4 - 9.905,9 \text{ tCO}_2 = - 8.559,5 \text{ tCO}_2$$