



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Ingegneria Industriale DII

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica

Estensione della metodologia per la valutazione della
sostenibilità degli impianti termici e cogenerativi secondo
l'approccio Eureka

Relatore:

Chia.mo Prof. Arturo Lorenzoni

Laureanda:

Marta Palma

1065587

Anno Accademico 2015/2016

*A mamma, Chica
e a chi guarda da altri lidi.
(quasi cit. Francesca Palma)*

Indice

INTRODUZIONE	7
1. METODOLOGIA EUREKA!	9
1.1 SIMULAZIONE EUREKA!	10
1.2 TECNOLOGIE	22
1.3 INDICE EUREKA	23
1.3.1 INDICE DI SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE	24
1.3.2 INDICE DI SOSTENIBILITÀ SOCIO-ISTITUZIONALE	29
1.3.3 INDICE DI SOSTENIBILITÀ ECONOMICA	40
1.4 CLASSIFICAZIONE SOSTENIBILITÀ	41
2. ESTENSIONE DELLA METODOLOGIA EUREKA A IMPIANTI TERMICI	43
2.1 FABBISOGNO TERMICO	43
2.2 TECNOLOGIE ANALIZZATE	44
2.2.1 CALDAIA A GAS A CONDENSAZIONE	45
2.2.2 CALDAIA A BIOMASSA	46
2.2.3 POMPA DI CALORE	47
2.2.4 SOLARE TERMICO	48
2.3 VALUTAZIONI SUL CONSUMO ELETTRICO	49
2.3.1 IMPATTO AMBIENTALE	52
2.3.2 IMPATTO SOCIO-ISTITUZIONALE	52
2.4 INDICE DI SOSTENIBILITÀ PER IMPIANTI TERMICI	53
2.4.1 PESI RELATIVI DELLE COMPONENTI	53
2.4.2 INDICE DI SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE	54
2.4.3 INDICE DI SOSTENIBILITÀ SOCIO-ISTITUZIONALE	64
2.4.4 INDICE DI SOSTENIBILITÀ ECONOMICA	70
2.4.5 RISULTATI PER IMPIANTI CAMPIONE	75
2.4.6 CLASSIFICAZIONE SOSTENIBILITÀ	76
3. ESTENSIONE DELLA METODOLOGIA EUREKA A IMPIANTI COGENERATIVI	77

3.1	LA COGENERAZIONE	77
3.1.1	CAR: COGENERAZIONE AD ALTO RENDIMENTO	79
3.2	TECNOLOGIE CONSIDERATE	80
3.2.1	MOTORE A COMBUSTIONE INTERNA	80
3.2.2	MICROTURBINA	81
3.2.3	IMPIANTO COMBINATO COGENERATIVO	82
3.2.4	CICLO RANKINE ORGANICO ABBINATO A CALDAIA A BIOMASSA	82
3.2.5	CICLO RANKINE ORGANICO ABBINATO A IMPIANTO SOLARE TERMICO	83
3.3	INDICE DI SOSTENIBILITÀ PER IMPIANTI COGENERATIVI	85
3.3.1	PESI RELATIVI DELLE COMPONENTI	85
3.3.2	INDICE DI SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE	87
3.3.3	INDICE DI SOSTENIBILITÀ SOCIO-ISTITUZIONALE	97
3.3.4	INDICE DI SOSTENIBILITÀ ECONOMICA	104
3.3.5	RISULTATI IMPIANTI CAMPIONE	111
3.3.6	CLASSIFICAZIONE SOSTENIBILITÀ	112
CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI		113
INDICE FIGURE		115
INDICE TABELLE		117
BIBLIOGRAFIA		121
SITOGRAFIA		123
RINGRAZIAMENTI		125

Introduzione

Qualunque intervento dell'uomo o scelta energetica comporta degli effetti sull'ambiente circostante, inteso come natura, tessuto sociale, contesto culturale e sistema paese. L'equilibrio tra le variabili che definiscono gli interventi antropici è una condizione imprescindibile per garantire uno sviluppo sostenibile. Quest'ultimo è una forma di sviluppo economico che ricerca un equilibrato rapporto tra gli ecosistemi naturali e le attività umane, ponendo particolare attenzione alla tutela ambientale, del patrimonio culturale e al soddisfacimento dei bisogni dell'uomo, quali la qualità della vita presente e futura.

All'interno di questo contesto si colloca il progetto Eureka, un'iniziativa promossa da Orizzontenergia, sotto la guida dell'Ing. Ruscito, con la collaborazione di Repower ai fini di promuovere una cultura condivisa della sostenibilità tramite un sistema di valutazione di singoli investimenti energetici.

Il progetto prende vita come strumento digitale, costituito da una simulazione, che permette di valutare la sostenibilità ambientale, socio-istituzionale, economica e globale delle diverse scelte energetiche. L'intento divulgativo si concretizza rendendo gli utenti consapevoli della complessità del tema 'sostenibilità' e delle variabili che intervengono nella sua determinazione.

L'obiettivo di questo lavoro è la creazione di due modelli, uno relativo impianti termici l'altro riguardante impianti cogenerativi, che possano costituire lo scheletro per l'estensione dello strumento digitale, già esistente per impianti elettrici.

Il desiderio è di permettere all'ipotetico utente di sviluppare delle simulazioni al fine di prendere delle decisioni ponderate, o per lo meno essere a conoscenza delle diverse possibilità esistenti, relativamente al soddisfacimento delle proprie esigenze elettriche e termiche. Non si vuole ignorare la caratteristica divulgativa e informativa dell'intero progetto: accanto all'aspetto interattivo, che prevede la partecipazione dell'utente nell'esprimere delle valutazioni circa i diversi impatti, si affiancano delle sezioni costituite da informazioni, indicazioni e suggerimenti.

Il lavoro si suddivide in tre capitoli, nei quali si tratta la sostenibilità relativamente impianti elettrici, termici e cogenerativi secondo l'approccio Eureka.

Nel primo capitolo è presentata la metodologia Eureka per la valutazione della sostenibilità d'impianti di generazione elettrica. In particolare sono analizzati i processi di calcolo che intervengono nella determinazione dell'indice di sostenibilità relativo le tre sezioni considerate:

- ambientale;
- socio-istituzionale;
- economico.

Introduzione

Il secondo capitolo presenta il lavoro svolto ai fini della definizione di un modello in grado di determinare la sostenibilità d'impianti termici. Sono analizzate le variabili che concorrono alla definizione degli indici di sostenibilità per quattro tecnologie:

- caldaia a gas a condensazione;
- caldaia a biomassa;
- pompa di calore;
- solare termico.

Si è prestata particolare attenzione alla presentazione dei quesiti e delle informazioni proposti all'utente, nell'ottica di esporre il modello in una versione già improntata all'implementazione dello strumento di simulazione digitale.

Il terzo capitolo propone il modello ideato per l'analisi della sostenibilità d'impianti cogenerativi. Le tecnologie analizzate cercano di racchiudere il desiderio di esporre delle opzioni di scelta che possano rappresentare soluzioni sia altamente diffuse e consolidate sia innovative. Si propone quindi il modello per cinque tecnologie:

- motore a combustione interna;
- microturbina;
- impianto combinato cogenerativo;
- ciclo Rankine a fluido organico abbinato a caldaia a biomassa;
- ciclo Rankine a fluido organico abbinato a impianto solare termico.

Anche in questo caso, si sono voluti evidenziare i quesiti e le informazioni posti all'ipotetico utente, al fine di presentare il modello come base per l'estensione dello strumento di simulazione digitale.

1. Metodologia Eureka!



Figura 1-1: Logo progetto Eureka!

“Eureka!” è un progetto volto alla determinazione di un indice ponderato di sostenibilità (indice globale Eureka) riguardante le diverse fonti di generazione dell’energia elettrica. Il lavoro è stato sviluppato da Orizzontenergia, un portale dedicato all’informazione energetica ed ambientale, con il supporto di un comitato tecnico-scientifico, di un comitato di indirizzo e di Repower, uno dei maggiori fornitori di energia elettrica e gas in Italia per piccole e medie aziende. Il progetto è stato patrocinato da ENEA e RSE, così come da altre associazioni e università italiane.



Figura 1-2: associazione ed università patrocinanti il progetto Eureka!

Lo studio si propone di indagare sulla sostenibilità relativa la generazione elettrica da diverse fonti di energia partendo dal presupposto che la sostenibilità non sia un elemento assoluto, attribuibile alle varie tecnologie, ma che sia l’insieme di elementi differenti da determinare caso per caso.

Il risultato del progetto Eureka! è infatti uno strumento digitale che permetta l’analisi degli impianti, sotto il profilo della sostenibilità, attraverso una simulazione guidata. La suddetta simulazione permette di scegliere non solo le diverse tecnologie ma anche le caratteristiche delle stesse (luogo di

1. Metodologia Eureka!

installazione, taglia, specifiche tecniche, etc.) in modo da rendere possibile una valutazione comprensiva delle forti componenti legate al contesto in cui si trova l'impianto.

Lo strumento non è da intendersi come tool di progettazione ma come un'iniziativa per rendere visibili e comprensibili le diverse sfaccettature che rientrano nelle tematiche di natura energetica.

Il fine ultimo è quello di promuovere un'analisi comprensiva ed informativa, per riuscire a rendere comparabili diverse fonti di energia e diversi impianti di generazione elettrica.

1.1 Simulazione Eureka!

Lo strumento di simulazione è disponibile sul portale: www.progettoeureka.it . Il modello si basa sull'inserimento da parte dell'utente di alcuni dati di input obbligatori ed altri opzionali. L'utente è guidato nel viaggio informatico attraverso numerosi suggerimenti di carattere tecnico (rendimenti, costi, producibilità, etc.), così come da link che propongono delle fonti esterne per garantire una corretta valutazione (Dati ISTAT, Atlante Eolico di RSE, Atlante Italiano della Radiazione Solare di ENEA, etc.). La presenza di aiuti per l'utente non rappresenta un vincolo, poiché la compilazione è libera. Esistono delle voci, invece, che non richiedono la compilazione da parte dell'utente; queste sono presentate a livello istruttivo e divulgativo.

Di seguito si propongono delle immagini esplicative dello strumento, considerando un ipotetico impianto fotovoltaico da *30 kW* nella provincia di Padova, volto all' autoconsumo.

Come e quanta energia vuoi produrre?


Qual è il fabbisogno energetico che vuoi soddisfare?

kWh/anno

Fabbisogni medi di elettricità per tipologia di utenza (1 GWh = 1.000.000 kWh, 1 MWh = 1.000 kWh):

- *Famiglia media italiana:* circa 2.700 kWh/anno
- *Condominio di 5 piani:* circa 30-40.000 kWh/anno
- *Centri abitati:*
 - 100 abitanti: circa 0,13 GWh/anno
 - 1.000 abitanti: circa 1,36 GWh/anno
 - 10.000 abitanti: 10,81 GWh/anno
 - 100.000 abitanti: 115,84 GWh/anno
- *Alcuni esempi:*
 Firenze, 377.207 abitanti: 451 GWh/anno
 Milano, 1.324.169 abitanti: 1.357 GWh/anno
 Roma, 2.863.322 abitanti: 4.149 GWh/anno
- *Grossa impresa:* circa 125.790 MWh/anno
- *Ospedale (circa 350 posti letto):* 7.329 MWh/anno
- *Edificio scolastico:* 191 MWh/anno
- *Ipermercato:* 360 MWh/anno
- *Albergo:* 75 MWh/anno
- *Ristorante:* 35 MWh/anno
- *Bar:* 20 MWh/anno

Se desideri informazioni più dettagliate circa i consumi medi di elettricità in Italia [clicca qui](#).



Che fonte di energia vuoi utilizzare?

Dove vuoi costruire il tuo impianto?

Provincia

Località


Quanti abitanti ci sono nel raggio di 4 km dall'impianto?

Dati Istat popolazione dei comuni italiani. Cartografie regionali.

Figura 1-3: Simulazione Eureka! per impianto fotovoltaico (sezione introduttiva)

1. Metodologia Eureka!

Valuta la sostenibilità economica del tuo impianto fotovoltaico



Gli impianti fotovoltaici sono pannelli il cui numero e quindi potenza installata (kW) varia in funzione del fabbisogno da coprire. Eureka ha preso in considerazione quattro diverse fasce di potenza installata:

- Segmento residenziale: impianti di piccola taglia, da 1 a 20 kW
- Segmento small business: impianti di taglia media, da 20 a 100 kW
- Segmento industriale: impianti di taglia grande, da 100 a 1.000 kW
- Segmento delle centrali: impianti da oltre 1.000 kW in cui l'energia elettrica prodotta viene commercializzata. E' questo il caso delle utilities, dei grandi gruppi industriali o dei fondi di investimento.

Se desideri informazioni più dettagliate sulla generazione fotovoltaica clicca [qui](#).

Quale potenza scegli per il tuo impianto?

Per soddisfare il tuo fabbisogno energetico in base alla media nazionale di irraggiamento (1.312 ore) ti servirebbero 23

Calcola kW.

Valori medi di produzione elettrica in condizioni standard:

- 20 kW - 26.240 kWh
- 100 kW - 131.200 kWh
- 1.000 kW - 1.312.000 kWh
- 3.000 kW - 3.936.000 kWh

kW

A quanto ammontano i costi di investimento?

I costi di investimento decrescono al crescere della taglia.

- IMPIANTO RESIDENZIALE: 3.000 - 2.300 €/kW
- IMPIANTO SMALL BUSINESS: 2.300-2.200 €/kW
- IMPIANTO INDUSTRIALE: 2.200-2.000 €/kW
- CENTRALI SOLARI: 2.000-1.200 €/kW

€/kW

Figura 1-4: Simulazione Eureka! impianto fotovoltaico (sezione economica, parte 1)

A quanto ammontano i costi annui di gestione (esercizio e manutenzione)?

I costi di gestione annui decrescono al crescere della taglia.

- IMPIANTO RESIDENZIALE: 30 – 7 €/kW
- IMPIANTO SMALL BUSINESS: 7 – 6,5 €/kW
- IMPIANTO INDUSTRIALE: 6,5 – 6 €/kW
- CENTRALI SOLARI: 6 – 3,6 €/kW

€/kW

A quanto ammonteranno i costi di dismissione a fine vita?

- IMPIANTO RESIDENZIALE: 0,07 €/kWh
- IMPIANTO SMALL BUSINESS: 0,07 €/kWh
- IMPIANTO INDUSTRIALE: 0,08 €/kWh
- CENTRALI SOLARI: 0,08 €/kWh

€/kWh

Quanti giorni sono previsti per la costruzione dell'impianto?

Per gli impianti di piccola taglia residenziali occorrono da 1 a 5 giorni, per utenze small business da 3 a 15 giorni. Per installazioni industriali si va da 15 a 60 giorni, mentre per le centrali da 60 a 180 giorni.

giorni

Quante sono le ore equivalenti di funzionamento alla potenza nominale?

Questo valore si riferisce al rapporto tra la produzione elettrica e la potenza installata (kWh/kW) ovvero rappresenta il numero di ore equivalenti a cui l'impianto è stimato di poter funzionare alla massima potenza di progetto. Le ore equivalenti di funzionamento alla potenza nominale dipendono dalla combinazione di molteplici fattori quali la latitudine, l'orientamento, l'inclinazione e l'ombreggiamento dei pannelli. Studi condotti dal GSE riportano una media nazionale di 1.312 kWh/kW, e valori di riferimento medi di 1.100 ore equivalenti di funzionamento per il Nord Italia, di 1.250 per il Centro e di 1.400 per il Sud. Visita i seguenti siti per conoscere le aree a maggiore irraggiamento:

- [Atlante Italiano della Radiazione Solare – ENEA](#)
- [Atlante degli impianti fotovoltaici – GSE](#)
- [Mappa nazionale dell'irradiazione e del potenziale elettrico – UE](#)

ore

Figura 1-5: Simulazione Eureka! impianto fotovoltaico (sezione economica, parte 2)¹

¹ Il valore relativo il costo di dismissione a fine vita dell'impianto è parametrizzato sull'energia elettrica prodotta in un anno. Nel caso specifico analizzato il costo di dismissione totale risulta pari a 2157 € (77 €/kW).

1. Metodologia Eureka!

Quanti sono gli anni di vita dell'impianto?

MEDIAMENTE 25 ANNI

anni

[precedente](#) [successivo](#)

Tasso di attualizzazione

Costo del denaro previsto nel periodo di costruzione e funzionamento dell'impianto. Attualmente stimabile intorno al 5%.

%

[precedente](#) [successivo](#)

Quanto costa la tua energia fotovoltaica

Energia prodotta annualmente:
30.800 kWh

Costo di investimento:
0,194 euro/kWh

Costo del combustibile
0,000 euro/kWh

Costo di gestione:
0,027 euro/kWh

Costo totale di generazione*:
0,221 euro/kWh

*compresi costi di smaltimento dei sottoprodotti e di dismissione a fine vita

[precedente](#) [successivo](#)

Per saperne di più sugli incentivi al fotovoltaico clicca [qui](#).




Figura 1-6: Simulazione Eureka! impianto fotovoltaico (sezione economica, parte 3)

Valuta la sostenibilità socio-istituzionale del tuo impianto fotovoltaico

SVILUPPO DELLA RETE ELETTRICA
 La rete di trasmissione elettrica concerne le attività di trasporto dell'elettricità prelevata dai punti di immissione (centrali termoelettriche o impianti a fonti rinnovabili) ai punti di prelievo (stazioni elettriche) da cui dipartono le reti di distribuzione verso i punti di consumo.
 I costi di sviluppo della rete dipendono dalla distanza dell'impianto e dalle eventuali necessità di ampliamento per supportare il nuovo impianto.
 Per informazioni più dettagliate clicca [qui](#).

Potenziamento linee di connessione
 Se l'impianto fotovoltaico è di grandi dimensioni (superiore a 1.000 kW), necessità di realizzare linee di connessione alla rete elettrica di media o alta tensione. Se l'impianto fotovoltaico è di piccole dimensioni e finalizzato all'autoconsumo necessità di potenziare la rete di distribuzione.

PER IMPIANTI DI GRANDE DIMENSIONE RISPONDI A QUESTA DOMANDA:
 Quanto dista l'impianto dalla rete elettrica?

- > 15 km: *impatto alto*
- 10 -15 km: *impatto medio alto*
- 5 -10 km: *impatto medio*
- < 5 km: *impatto medio basso*

PER IMPIANTI DI PICCOLA DIMENSIONE RISPONDI A QUESTA DOMANDA:
 La linea elettrica è caratterizzata da un'alta concentrazione di generazione distribuita?

- *Bassa concentrazione di generazione distribuita: impatto trascurabile*
- *Medio-alta concentrazione di generazione distribuita: impatto medio*

medio ▾

Sviluppo e potenziamento rete
 Se l'impianto fotovoltaico è di grandi dimensioni ed è concentrato in un'area con poca domanda necessità di potenziamento della rete elettrica.
 Se l'impianto fotovoltaico è di piccole dimensioni e finalizzato all'autoconsumo necessità di potenziare la rete di distribuzione.

PER IMPIANTI DI GRANDE DIMENSIONE RISPONDI A QUESTA DOMANDA:
 La rete di trasmissione/distribuzione elettrica del sito necessita di essere sviluppata per poter supportare il nuovo impianto?

L'esigenza di sviluppo della rete è proporzionale alle seguenti condizioni:

- *Area con rete di trasmissione / distribuzione con ottima capacità di trasporto: impatto trascurabile*
- *Area con rete di trasmissione / distribuzione con buona capacità di trasporto: impatto medio basso*
- *Area con rete di trasmissione / distribuzione debole e produzione in equilibrio con la domanda: impatto medio*
- *Area dispone di rete di trasmissione / distribuzione debole e produzione che eccede la domanda: impatto alto*


PER IMPIANTI DI PICCOLA DIMENSIONE RISPONDI A QUESTA DOMANDA:
 La rete di distribuzione elettrica del sito necessita di essere sviluppata per poter supportare il nuovo impianto?

L'esigenza di sviluppo della rete è proporzionale alle seguenti condizioni:

- *Area con rete di distribuzione con buona/ottima capacità di hosting capacity: impatto trascurabile*
- *Area con rete di distribuzione debole e produzione in equilibrio con la domanda: impatto medio basso*
- *Area con rete di distribuzione debole e produzione che eccede la domanda: impatto medio*

medio-basso ▾

Figura 1-7: Simulazione Eureka! impianto fotovoltaico (sezione socio-istituzionale, parte 1)

 **ALTRE COMPONENTI SOCIO-ISTITUZIONALI**
Le seguenti componenti non dipendono dalla localizzazione dell'impianto e pertanto la loro influenza è stata stimata a livello nazionale.

Per informazioni più dettagliate [clicca qui](#).

Servizio di regolazione della frequenza
Regolazione automatica della velocità per adattare la produzione di un impianto a seguito di una variazione di frequenza della rete elettrica.
Il fotovoltaico non contribuisce in modo completo al servizio di regolazione primaria.

Necessità di impianti convenzionali di backup
Necessità di disporre di impianti convenzionali che coprano la domanda nelle situazioni in cui non può operare la fonte rinnovabile.
*A causa della fluttuazione della generazione fotovoltaica, solo una porzione limitata di ogni kW installato può essere considerata disponibile con un alto livello di affidabilità (capacity credit).
Il capacity credit del grande fotovoltaico in certe ore e giorni è nullo. Il capacity credit del piccolo fotovoltaico finalizzato all'autoconsumo è sempre nullo.
La richiesta di potenza di riserva è in entrambi i casi alta, in particolare se gli impianti sono prevalentemente concentrati in un'area. Necessità di disporre di risorse di produzione estremamente flessibili per far fronte al repentino calo di produzione del fotovoltaico nelle ore del crepuscolo.**

Esigenza di bilanciamento della rete
I servizi di bilanciamento sono necessari per far fronte a scostamenti tra previsione e produzione effettiva degli impianti rinnovabili. Il bilanciamento è fornito da impianti convenzionali.
Generalmente scostamenti tra previsione e produzione effettiva di un impianto aumentano le esigenze di bilanciamento.

Riduzione della dipendenza energetica dall'estero
La riduzione della dipendenza energetica dall'estero è un fattore determinante della politica energetica nazionale e uno dei principali target dell'Unione Europea.
Il ricorso al fotovoltaico consente di ridurre la dipendenza energetica dall'estero.


Rafforzamento della sicurezza di approvvigionamento
La sicurezza energetica è fattore indispensabile per la crescita del Paese e la diversificazione geografica degli approvvigionamenti e delle fonti energetiche la rafforzano.
Il ricorso al fotovoltaico consente di operare una diversificazione geografica degli approvvigionamenti energetici e ridurre il rischio geopolitico spesso correlato all'importazione di materie prime.

Creazione di occupazione lavorativa nazionale
Il fotovoltaico conta oggi in Italia oltre 12.000 unità di lavoro permanenti legate alle attività di esercizio e manutenzione di parchi fotovoltaici. Circa 100.000 sono invece i posti di lavoro tra produttori di moduli e inverter, produttori di strutture, progettisti, installatori e manutentori.

[precedente](#) [successivo](#)

Figura 1-8: Simulazione Eureka! impianto fotovoltaico (sezione socio-istituzionale, parte 3)

Valuta la sostenibilità ambientale del tuo impianto fotovoltaico

 La realizzazione di qualunque impianto energetico influenza in qualche modo l'ambiente (paesaggio, fauna, atmosfera, rumore...).

Valutiamo insieme il tuo impianto.

Qui sotto troverai domande **obbligatorie** e **opzionali**, in base alla rilevanza assegnata a ciascuna, in seguito ad ampia consultazione con gli stakeholder. [[per saperne di più](#)]

Paesaggio
L'impatto è dovuto alla visibilità dell'impianto e l'importanza dell'impatto dipende da dove viene realizzato.

Clicca [qui](#) per accedere al SITAP - Sistema Informativo Territoriale Ambientale e Paesaggistico.

Dove verrà realizzato l'impianto?

- *Su un terreno agricolo = impatto medio - alto*
- *In aree di recupero industriale o in adiacenza a preesistenti corridoi tecnologici = impatto medio*
- *Integrato nell'architettura di edifici = impatto basso*

L'impianto è visibile da punti importanti o da strade ad alta affluenza?

sì = impatto medio-alto
no = impatto medio

L'impianto è realizzato su un terreno pianeggiante ed è percepibile ad una distanza superiore a 200 m?

sì = impatto medio
no = impatto basso

Figura 1-9: Simulazione Eureka! impianto fotovoltaico (sezione ambientale, parte 1)

1. Metodologia Eureka!

Vegetazione

Possono verificarsi sia perdita che degradazione di habitat la cui importanza dipende dalle caratteristiche vegetazionali dell'area. E' possibile prevedere l'espianto delle essenze in fase di cantiere e il loro successivo reimpianto.

Su che tipo di terreno verrà realizzato l'impianto?

- Su un terreno agricolo = impatto medio
- In aree di recupero industriale o in adiacenza a preesistenti corridoi tecnologici = impatto basso
- Integrandolo nell'architettura di edifici = impatto trascurabile

trascurabile ↕

L'impianto verrà realizzato all'interno di aree protette?

- sì, all'interno di un'area protetta di rilevanza internazionale = impatto alto
- sì, all'interno di un'area protetta di rilevanza nazionale = impatto medio / alto
- sì, all'interno di un'area protetta di rilevanza regionale / locale = impatto medio
- no = impatto basso

[Clicca qui](#) per accedere al Geoportale Nazionale.

basso ↕

Suolo

Consumo di suolo: nel caso di impianti posati sul suolo non è possibile la presenza di altre attività.

Dove verrà realizzato l'impianto?

- Su un terreno agricolo = impatto alto
- In aree di recupero industriale o in adiacenza a preesistenti corridoi tecnologici = impatto medio
- Su terreno agricolo abbandonato da oltre 10 anni e/o destinato a coltivazioni no food (es. tabacco) oppure in disuso da oltre 5 anni = impatto basso
- Integrato nell'architettura di edifici = impatto trascurabile

trascurabile ↕

Fauna

Impatto indiretto sulla fauna causato dalla perdita di habitat e/o dall'azione di disturbo antropico.


L'impianto verrà realizzato all'interno di aree protette?

- sì, all'interno di un'area protetta di rilevanza internazionale = impatto alto
- sì, all'interno di un'area protetta di rilevanza nazionale = impatto medio / alto
- sì, all'interno di un'area protetta di rilevanza regionale / locale = impatto medio
- no = impatto basso

[Clicca qui](#) per accedere al Geoportale Nazionale.

basso ↕

Figura 1-10: Simulazione Eureka! impianto fotovoltaico (sezione economica, parte 2)



Iniziano qui le domande opzionali, sei libero di rispondere oppure di proseguire con la simulazione.

precedente
successivo

Consumo di acqua

Il consumo di acqua è prevalentemente riferito al raffreddamento degli impianti.

Trascurabile.

trascurabile ▾

Rumore

Impatto causato dalle emissioni acustiche prodotte dalle cabine di trasformazione, si riduce progressivamente all'aumentare della distanza.

Sono presenti barriere od ostacoli artificiali o naturali tra le cabine di trasformazione e abitazioni e/o centri abitati?

si = impatto basso
no = impatto alto

alto ▾

Quali sono le caratteristiche dell'area d'installazione dell'impianto?

- Area prevalentemente residenziale = impatto alto
- Area residenziale e commerciale = impatto medio
- Area prevalentemente commerciale e industriale = impatto medio-basso
- Area industriale = impatto basso

medio ▾

Qual è il rapporto tra le emissioni sonore dell'impianto e quello complessivo delle altre sorgenti di rumore presenti nell'area d'impatto?

- Inferiore al 20% = impatto basso
- Tra il 20% ed il 50% = impatto medio-basso
- Tra il 50% e l'80% = impatto medio
- Tra l'80% e il 130% = impatto medio-alto
- Superiore al 130% = impatto alto

basso ▾

Figura 1-11: Simulazione Eureka! impianto fotovoltaico (sezione ambientale, parte 3)

1. Metodologia Eureka!

Atmosfera

Emissioni di inquinanti e di polveri limitate ai soli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria per aumento del traffico locale.

Trascurabile.

trascurabile ↕

Acque superficiali

Sversamento in corpi idrici di sostanze inquinanti o di residui di escavazione. Molto limitato e ristretto alle fasi di creazione e dismissione dell'impianto che possono determinare fenomeni di ruscellamento. [Clicca qui](#) per accedere al Geoportale Nazionale.

Ci sono corsi d'acqua in prossimità dell'impianto che potrebbero essere interessati da eventuali contaminazioni causate dagli scavi nelle fasi di costruzione e dismissione dell'impianto?

si = impatto basso
no = impatto trascurabile

trascurabile ↕

Le pendenze dei terreni che ospiteranno l'impianto sono importanti?

si = impatto basso
no = impatto trascurabile

trascurabile ↕

Acque sotterranee

I lavori di escavazione per realizzare le fondazioni potrebbero modificare il deflusso delle acque sotterranee o il grado di permeabilità dell'acquifero. L'impatto dipende dalla soggiacenza della falda. [Clicca qui](#) per accedere al Geoportale Nazionale.

Trascurabile.

trascurabile ↕

Odore

Trascurabile.

trascurabile ↕

Cambiamenti climatici

Trascurabile.

Salute umana

In base alla densità di popolazione e all'impatto atmosferico, acustico ed olfattivo, l'influenza sulla salute umana è considerata

1,11

0 = impatto trascurabile
0 - 20 = impatto basso
20 - 40 = impatto medio - basso
40 - 60 = impatto medio
60 - 80 = impatto medio - alto
80 - 100 = impatto alto

precedente successivo

Figura 1-12: Simulazione Eureka! impianto fotovoltaico (sezione ambientale, parte 4)



Figura 1-13: Simulazione Eureka! impianto fotovoltaico (sezione risultati)

1.2 Tecnologie

La simulazione Eureka è disponibile per 10 tecnologie per la generazione di energia elettrica.

La selezione delle tecnologie da prendere in esame è avvenuta, da parte del team Eureka, sulla base della natura del parco elettrico italiano: si può, infatti, notare l'assenza di alcuna valutazione relativa la generazione da fonte nucleare. Si è, inoltre, voluto indagare il contributo alla sostenibilità d'impianti poco diffusi sul territorio italiano, come *Carbone* e *Gas* con *Carbon Capture and Storage* (CCS).

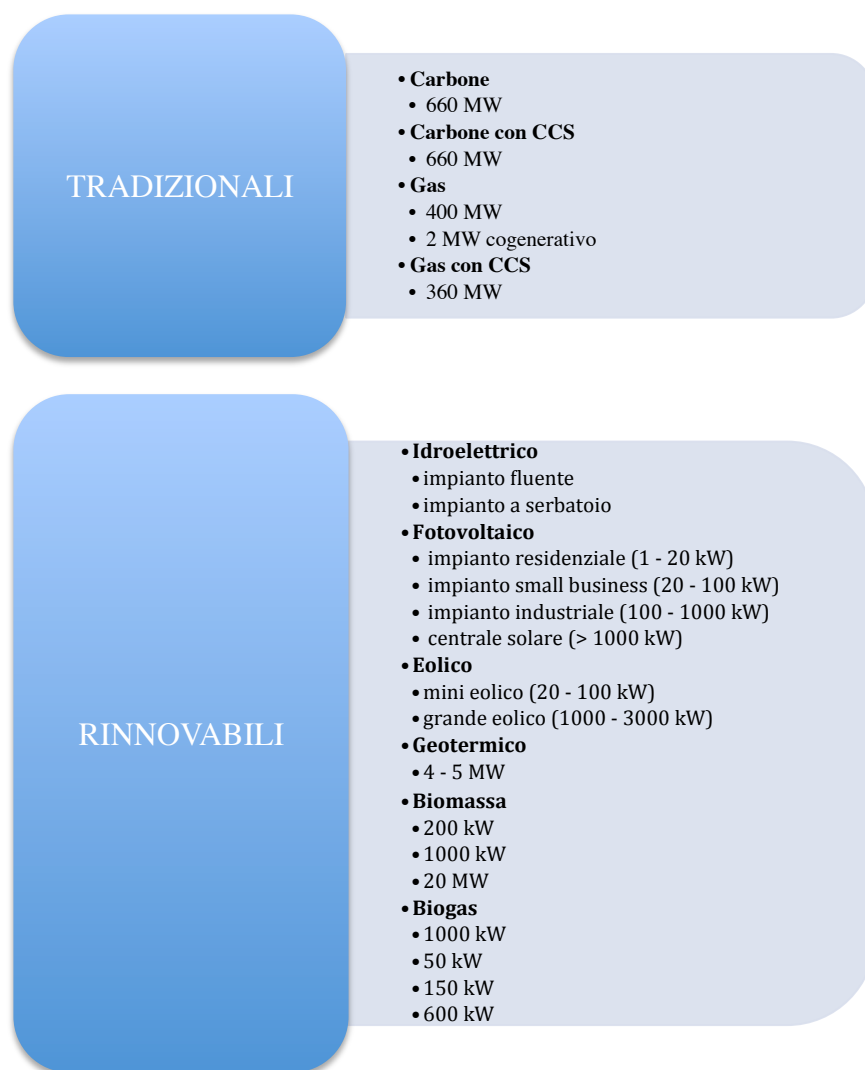


Figura 1-14: Tecnologie disponibili per la simulazione Eureka!

Nel calcolo dell'indice di *sostenibilità economica*, sono suggeriti valori e parametri che fanno esplicitamente riferimento alla taglia dell'impianto. Per quanto riguarda i suggerimenti proposti nelle sezioni *ambientale* e *socio-istituzionale* esistono invece delle dipendenze implicite dei valori di input rispetto le dimensioni dell'impianto.

1.3 Indice Eureka

L'indice Eureka è un indice ponderato su tre indici di sostenibilità:

- Indice di sostenibilità economica;
- Indice di sostenibilità ambientale;
- Indice di sostenibilità socio-istituzionale.

Al fine di determinare il peso relativo di ciascuna voce, è stato distribuito un questionario a un panel di esperti, formato da elementi provenienti da diverse categorie del mondo energetico:

- Università;
- Centri studi e ricerche, consulenza;
- Associazioni energetiche e ambientali;
- Associazioni consumatori (cittadini e imprese);
- Sindacati;
- Istituti finanziari;
- Media.

I risultati del questionario hanno evidenziato una maggiore attenzione all' indice ambientale (39%), seguito da quello economico (36%) e da quello socio-istituzionale (25%).

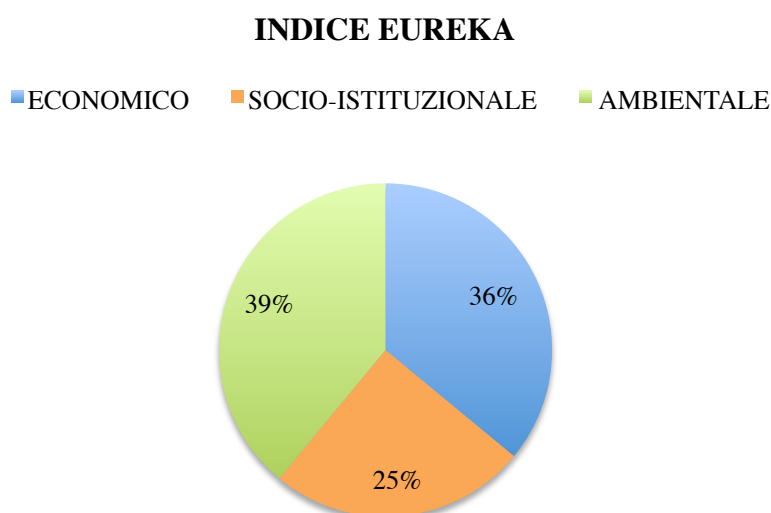


Figura 1-15: Composizione indice Eureka

1. Metodologia Eureka!

1.3.1 Indice di Sostenibilità Ambientale

Il calcolo dell'indice di sostenibilità ambientale è eseguito attraverso la determinazione dell'impatto ambientale complessivo originato dalla costruzione, dal funzionamento e dalla dismissione dell'impianto preso in analisi.

Sono esaminate dodici componenti d'impatto:

- Atmosfera: inquinamento atmosferico causato dalle emissioni dell'impianto e/o dal trasporto del combustibile;
- Paesaggio: alterazione del paesaggio in seguito alla costruzione dell'impianto;
- Vegetazione: perdita di habitat causato dalla presenza dell'impianto e/o da colture dedicate;
- Fauna: perdita di habitat causato dalla presenza dell'impianto e/o da colture dedicate;
- Suolo: consumo di spazi e volumi legati alla presenza dell'impianto;
- Consumo acqua: consumo di acqua legato al funzionamento dell'impianto o alla produzione del combustibile in colture dedicate;
- Rumore: emissioni acustiche legate al funzionamento dell'impianto e/o al trasporto del combustibile;
- Odore: emissioni olfattive legate al funzionamento dell'impianto e/o allo stoccaggio del combustibile;
- Acque Superficiali: rischio d'inquinamento dei corpi idrici;
- Acque Sotterranee: rischio d'inquinamento delle falde acquifere;
- Salute Umana: influsso delle attività relative l'impianto sulla salute dell'uomo;
- Cambiamenti Climatici: emissioni di $CO_{2,eq}$ nel ciclo di vita dell'impianto.

Le prime dieci voci sono organizzate in modo che l'utente possa indicare il valore d'impatto, rispondendo alle domande poste dalla simulazione, secondo la propria conoscenza o facendo affidamento sui suggerimenti proposti dal comitato tecnico scientifico (CTS), che ha collaborato all'implementazione del modello.

Le risposte tra cui l'utente ha possibilità di scelta sono traducibili in valori numerici compresi tra 0 e 10 attraverso le seguenti corrispondenze:

Classificazione	Valore
Impatto trascurabile	0
Impatto basso	1
Impatto medio-basso	3
Impatto medio	5
Impatto medio-alto	7
Impatto alto	10

Tabella 1-1: Corrispondenza classificazione-valore

Ogni singola componente può essere costituita da più quesiti: il peso relativo dei singoli quesiti è stato determinato dal comitato tecnico scientifico.

L'indice d'impatto relativo ogni componente viene calcolato come riportato:

$$In_i = \frac{\sum_j (V_j \times pq_j)}{10}$$

Dove:

- In_i : indice d'impatto della i -esima componente;
- V_j : valore d'impatto del j -esimo quesito;
- pq_j : peso del j -esimo quesito, attribuito dal CTS.

Comp.	Quesito j	Suggerimenti	pq_j	V_j	In_{veg}
VEGETAZIONE	Su che tipo di terreno sarà realizzato l'impianto?	<ul style="list-style-type: none"> • Terreno agricolo: impatto medio • In aree di recupero industriale: impatto basso • Integrandolo nell'architettura di edifici: impatto trascurabile 	2	impatto medio 5	1,8
	L'impianto sarà realizzato all'interno di aree protette?	<ul style="list-style-type: none"> • Sì, all'interno di un'area protetta di rilevanza internazionale: impatto alto • Sì, all'interno di un'area protetta di rilevanza nazionale: impatto medio-alto • Sì, all'interno di un'area protetta di rilevanza regionale: impatto medio • No: impatto basso 	8	impatto basso 1	

Tabella 1-2: Esempio componente *Vegetazione* : Indice d'impatto

L'indice d'impatto relativo la componente *Salute Umana* è determinata attraverso l'elaborazione degli indici d'impatto atmosferico, olfattivo e acustico, secondo le seguenti formule:

$$In_{su} = In_{ca} \times In_{pop}$$

$$In_{ca} = (0,6 \times In_{atm} + 0,3 \times In_{ac} + 0,1 \times In_o)$$

$$In_{pop} = \frac{\text{classe di popolazione}}{6}$$

1. Metodologia Eureka!

Dove:

- In_{su} : indice d'impatto sulla salute umana;
- In_{ca} : indice di criticità ambientale;
- In_{atm}, In_{ac}, In_o : indice d'impatto atmosferico, acustico e olfattivo.
- In_{pop} : indice di popolazione esposta.

La classe di popolazione esposta è determinata attraverso la valutazione del numero di abitanti presenti nel raggio di 4 km dal luogo d'installazione dell'impianto:

Classe di popolazione	Numero di abitanti entro 4 km
0	Abitanti: 0
1	0 < Abitanti < 100
2	100 < Abitanti < 500
3	500 < Abitanti < 1.000
4	1.000 < Abitanti < 5.000
5	5.000 < Abitanti < 10.000
6	Abitanti > 10.000

Tabella 1-3: Classe di popolazione

L'indice d'impatto corrispondente alla componente *Cambiamenti Climatici* è determinato a priori attraverso il confronto tra i parametri relativi le emissioni di CO_2 *equivalente* nel ciclo di vita dei diversi impianti.

In seguito sono riportati gli indici d'impatto, attribuibili per la componente *Cambiamenti Climatici*, relativi ogni tecnologia presa in esame:

Tecnologia	$In_{camb\ clim}$
Carbone	10
Carbone con CCS	2,5
Gas	4,9
Gas con CCS	1,5
Idroelettrico	0,2
Fotovoltaico	0,6
Eolico	0,2
Geotermico	0,2
Biomassa	0,4
Biogas	1,0

Tabella 1-4: Indici d'impatto *Cambiamenti Climatici*

Dagli indici d'impatto delle componenti è possibile determinare il corrispettivo impatto attraverso il peso delle componenti, che esprime l'importanza relativa delle stesse. La sommatoria degli impatti risulta essere l'impatto ambientale, che si presenta come un numero compreso tra 0 e 10.

$$I_{amb} = \sum_{i=1}^{12} (In_i \times pc_i)$$

Dove:

- I_{amb} : impatto ambientale;
- In_i : indice d'impatto della i -esima componente;
- pc_i : peso relativo della i -esima componente.

Di seguito è riportato un esempio:

Componente	Indice D'impatto In_i	Peso Componente pc_i	Impatto Componente	Impatto Ambientale I_{amb}
Paesaggio	1,8	0,37	0,666	0,8912
Suolo	0	0,32	0	
Vegetazione	0,8	0,13	0,104	
Fauna	1	0,05	0,05	
Consumo Di Acqua	0	0,03	0	
Rumore	3,7	0,01	0,037	
Atmosfera	0	0,02	0	
Acque Superficiali	0	0,02	0	
Acque Sotterranee	0	0,01	0	
Odore	0	0	0	
Salute Umana	1,11	0,02	0,0222	
Cambiamenti Climatici	0,6	0,02	0,012	

Tabella 1-5: Esempio Impatto Ambientale

I pesi relativi associati a ogni componente variano a seconda della tecnologia presa in esame e sono stati oggetto del questionario proposto al panel di esperti del mondo energetico, già citato. Dai grafici si può notare una forte variabilità dei pesi relativi pc_i .

1. Metodologia Eureka!

Peso Componenti (impatto ambientale): tecnologie tradizionali

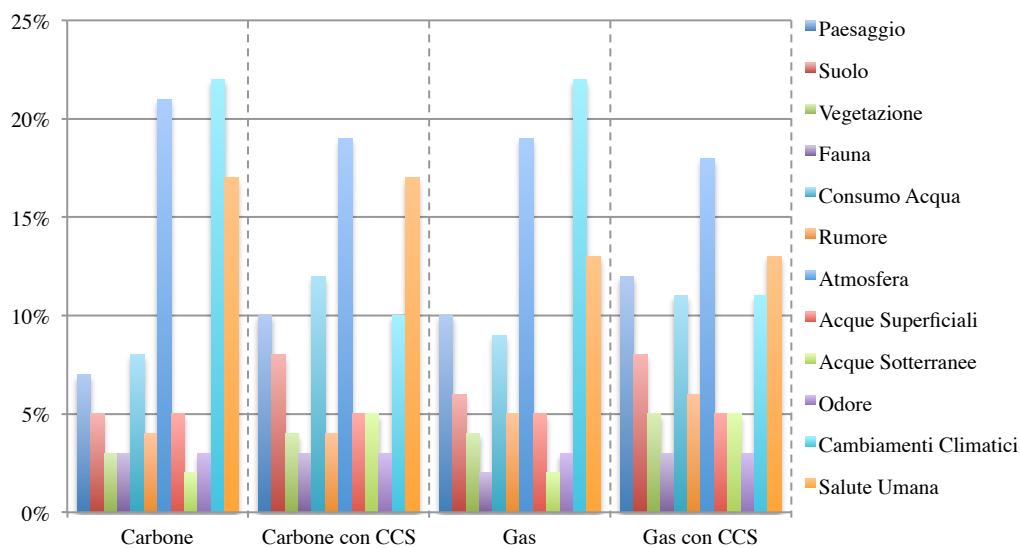


Figura 1-16: Peso componenti ambientali per tecnologie tradizionali

Peso Componenti (impatto ambientale): tecnologie rinnovabili

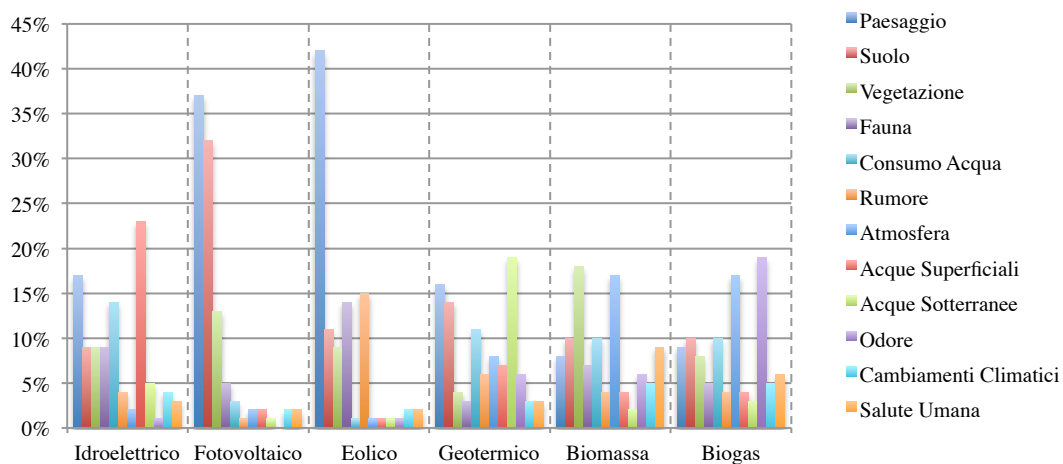


Figura 1-17: Peso componenti ambientali per tecnologie rinnovabili

Il passaggio dall'*impatto ambientale* all'*indice di sostenibilità ambientale* si sviluppa attraverso la seguente formula:

$$IS_{amb} = \frac{10 - I_{amb}}{10}$$

Dove:

- IS_{amb} : indice di sostenibilità ambientale;
- I_{amb} : impatto ambientale.

Di seguito sono riportati i valori minimi e massimi relativi l'indice di sostenibilità ambientale, per ciascuna tecnologia, espressi in termini percentuali.

Tecnologia	$IS_{amb,min}$	$IS_{amb,max}$
Carbone	4,2%	60,5%
Carbone con CCS	11,7%	72,2%
Gas	16,3%	63,2%
Gas con CCS	17,0%	77,0%
Idroelettrico	9,0%	90,9%
Fotovoltaico	17,2%	93,1%
Eolico	17,1%	82,9%
Geotermico	61,3%	90,2%
Biomassa	19,7%	83,2%
Biogas	36,0%	90,6%

Tabella 1-6: Indici di sostenibilità ambientale

1.3.2 Indice di sostenibilità Socio-Istituzionale

Il calcolo dell'indice di sostenibilità socio-istituzionale è effettuato sulla base di 7 componenti:

- Sviluppo della rete elettrica: impatto definito dalla costruzione e/o dal potenziamento della rete elettrica;
- Servizio di regolazione della frequenza: il servizio di regolazione della frequenza è fornito obbligatoriamente da tutti gli impianti non rinnovabili aventi potenza apparente superiore a 10 MVA;
- Esigenza di bilanciamento della rete: i servizi di bilanciamento sono necessari per far fronte a scostamenti tra previsione e produzione effettiva degli impianti rinnovabili. Il bilanciamento è fornito da impianti convenzionali;

1. Metodologia Eureka!

- Necessità di impianti convenzionali di backup: necessità di disporre di impianti convenzionali che coprano la domanda nelle situazioni in cui non può operare la fonte rinnovabile;
- Riduzione della dipendenza energetica dall'estero: la riduzione della dipendenza energetica dall'estero è un fattore determinante della politica energetica nazionale e uno dei principali target dell'Unione Europea;
- Rafforzamento della sicurezza di approvvigionamento: la sicurezza energetica è rafforzata dalla diversificazione geografica degli approvvigionamenti e delle fonti energetiche;
- Creazione di occupazione lavorativa nazionale: si analizzano le necessità di personale, atte a garantire il funzionamento dell'impianto.

Sviluppo della rete elettrica

L'unica componente che necessita l'input dell'utente è quella relativa lo *sviluppo della rete elettrica*. Il calcolo dell'indice d'impatto per questa componente avviene come precedentemente spiegato per le componenti ambientali:

$$In_{sv} = \frac{\sum_j (V_j \times pq_j)}{10}$$

Dove:

- In_{sv} : indice d'impatto della componente sviluppo della rete elettrica;
- V_j : valore d'impatto del j -esimo quesito;
- pq_j : peso del j -esimo quesito, attribuito dal CTS.

Si lascia all'utente la possibilità di rispondere ai quesiti corrispondenti a impianti di grande o piccola taglia. Si riporta a seguire un esempio:

Comp	Quesito j	Suggerimenti	pq_j	V_j	In_{sv}
SVILUPPO DELLA RETE ELETTRICA	Per impianti di piccola dimensione: La linea elettrica è caratterizzata da un'alta concentrazione di generazione distribuita?	<ul style="list-style-type: none"> Bassa concentrazione di generazione distribuita: impatto trascurabile Medio-alta concentrazione di generazione distribuita: impatto medio 	5	impatto medio 5	4
	Per impianti di piccola dimensione: La rete di distribuzione elettrica del sito necessita di essere sviluppata per poter supportare il nuovo impianto?	<ul style="list-style-type: none"> Area con rete di distribuzione con buona/ottima capacità di hosting capacity: impatto trascurabile Area con rete di distribuzione debole e produzione in equilibrio con la domanda: impatto medio basso Area con rete di distribuzione debole e produzione che eccede la domanda: impatto medio 	5	impatto basso 3	

Tabella 1-7: Esempio componente *sviluppo rete elettrica*: indice d'impattoServizio di regolazione della frequenza

Con regolazione della frequenza s'intende la capacità degli impianti di variare autonomamente la potenza erogata in seguito a una variazione di frequenza della rete. Questo servizio risulta necessario al mantenimento della frequenza di rete entro un certo intervallo che permetta il corretto funzionamento e accoppiamento coi carichi della rete stessa. L'indice d'impatto relativo questa componente viene assegnato andando a valutare il contributo alla regolazione della frequenza garantito dai diversi impianti:

Tecnologia	Contributo	Impatto	In_{reg}	
Carbone²	Completo	Trascurabile	0	
Gas³	Completo	Trascurabile	0	
Idroelettrico	Serbatoio	Completo	Trascurabile	0
	Fluente	Parziale	Medio-basso	3
Fotovoltaico	Piccolo	Non completo	Alto	10
	Grande	Non completo	Alto	10
Eolico	Piccolo	Non completo	Alto	10
	Grande	Non completo	Medio-alto	7
Geotermico	Parziale	Medio-basso	3	
Biomassa	Parziale	Medio-basso	3	
Biogas	Parziale	Medio-basso	3	

Tabella 1-8: Indici d'impatto *regolazione della frequenza*

² Per semplicità si presentano, in tutta la sezione socio istituzionale, gli indici riferiti alla tecnologia *Carbone*, includendo anche *Carbone con CCS*.

³ Per semplicità si presentano, in tutta la sezione socio istituzionale, gli indici riferiti alla tecnologia *Gas*, includendo anche *Gas con CCS*.

1. Metodologia Eureka!

Esigenza di bilanciamento della rete

Il bilanciamento della rete è l'attività atta a garantire l'equilibrio tra domanda e produzione dell'energia elettrica.

L'indice d'impatto relativo al bilanciamento è determinato in base alla prevedibilità della sorgente energetica utilizzata dalle differenti tecnologie e al contributo standard degli impianti ai servizi di bilanciamento.

Tecnologia		Contributo	Impatto	In_{bil}
Carbone		Ottima prevedibilità Contributo determinante	Trascurabile	0
Gas		Ottima prevedibilità Contributo determinante	Trascurabile	0
Idroelettrico	Serbatoio	Ottima prevedibilità Contributo determinante	Trascurabile	0
	Fluente	Ottima prevedibilità Contributo determinante	Trascurabile	0
Fotovoltaico	Piccolo	Pessima Prevedibilità Contributo nullo	Medio-alto	7
	Grande	Pessima prevedibilità Contributo nullo	Alto	10
Eolico	Piccolo	Pessima prevedibilità Contributo nullo	Alto	10
	Grande	Pessima prevedibilità Contributo nullo	Medio-alto	7
Geotermico		Ottima prevedibilità Contributo limitato	Medio-basso	3
Biomassa		Ottima prevedibilità Contributo limitato	Medio-basso	3
Biogas		Ottima prevedibilità Contributo limitato	Medio-basso	3

Tabella 1-9: Indici d'impatto esigenza di bilanciamento della rete

Necessità d'impianti convenzionali di backup

L'indice d'impatto relativo la *necessità d'impianti convenzionali di backup* a sostegno della mancata produzione da particolari impianti è determinato dalla disponibilità della fonte energetica e dal capacity credit delle diverse tecnologie.

Tecnologia	Contributo	Impatto	In_{backup}	
Carbone	Ottima disponibilità	Trascurabile	0	
Gas	Disponibilità dipendente dalla penetrazione di produzione da impianti a gas nell'area considerata	< 40 %	Trascurabile	0
		> 40 %	Medio-basso	3
Idroelettrico	Ottima disponibilità	Trascurabile	0	
Fotovoltaico	Capacity credit nullo	Medio-alto	7	
Eolico	Capacity credit basso	Medio-alto	7	
Geotermico	Ottima disponibilità	Medio-basso	0	
Biomassa	Ottima disponibilità	Medio-basso	0	
Biogas	Ottima disponibilità	Medio-basso	0	

Tabella 1-10: Indici d'impatto necessità impianti convenzionali di backup

Riduzione della dipendenza energetica dall'estero

Il processo metodologico per la determinazione dell'indice d'impatto prevede l'analisi della quota di produzione nazionale della fonte energetica utilizzata da ciascuna tecnologia. Per tutte le fonti rinnovabili, la quota di produzione nazionale è pari a 100%. Alla quota di produzione minima e massima sono associati rispettivamente gli indici d'impatto massimo (10) e minimo (0). Alle quote intermedie sono associati indici d'impatto secondo la formula:

$$In_{dip,t} = 10 - \frac{(Pr_{max} - Pr_t) \times (In_{dip,max} - In_{dip,min})}{Pr_{max} - Pr_{min}}$$

Dove:

- $In_{dip,t}$: indice di riduzione della dipendenza dall'estero della t-esima tecnologia;
- Pr_{max} : quota di produzione nazionale massima (100%);
- Pr_{min} : quota di produzione nazionale minima (0%);
- Pr_t : quota di produzione nazionale della fonte energetica usata dalla t-esima tecnologia;
- $In_{dip,max}$: indice di riduzione della dipendenza energetica massimo (10);
- $In_{dip,min}$: indice di riduzione della dipendenza energetica minimo (0).

1. Metodologia Eureka!

Tecnologia	Produzione nazionale	In_{dip}
Carbone	0%	10
Gas	10%	9
Idroelettrico	100%	0
Fotovoltaico	100%	0
Eolico	100%	0
Geotermico	100%	0
Biomassa	100%	0
Biogas	100%	0

Tabella 1-11: Indici d'impatto riduzione della dipendenza energetica dall'estero

Rafforzamento della sicurezza di approvvigionamento

La componente *rafforzamento della sicurezza di approvvigionamento* è una rappresentazione del rischio associato all'utilizzo delle diverse fonti energetiche: all'interno di essa vengono espresse delle valutazioni circa l'esito di possibili interruzioni dell'approvvigionamento dovuto a instabilità geopolitiche e criticità dei mercati. Per rendere confrontabili le diverse fonti e, di conseguenza le diverse tecnologie, si è creato un parametro (indice di sicurezza S), dipendente da:

- quota di produzione nazionale della fonte (P_i);
- concentrazione delle forniture, espressa dall'*indice di Herfindahl-Hirschman* (HHI_{import})⁴;
- struttura del mercato internazionale (M)⁵, includendo considerazioni sulla sostituibilità dei produttori, il livello di capacità produttiva inutilizzata, la natura regionale o globale del mercato ed i meccanismi di formazione del prezzo e dei volumi scambiati;
- dipendenza dell'importazione tecnologica, espressa per tutte le tecnologie che non prevedono l'importazione costante di fonti energetiche;
- sicurezza di approvvigionamento A ⁶.

⁴ L'indice di Herfindahl-Hirschman è un indicatore di concentrazione, rappresentante il grado di diversificazione degli operatori o stati da cui è importata la fonte energetica. Nel presente lavoro si utilizza il complemento a 1 dell' HHI .

⁵ Il parametro M esprime la condizione del mercato internazionale relativamente la fonte analizzata. Un valore tendente a 0 indica un mercato bilaterale, con capacità produttiva limitata e controllato da un unico operatore o stato; un valore tendente a 1 presenta un mercato concorrenziale.

⁶ La sicurezza di approvvigionamento A è un parametro dato dalla somma della quota di produzione nazionale e il prodotto della quota di import e l' HHI_{import} della fonte energetica considerata: la quota di produzione nazionale viene considerata sicura, mentre la quota di import raggiunge livelli di sicurezza crescenti proporzionalmente con la frammentazione dell'offerta. Un valore prossimo a 0 indica un forte rischio per la sicurezza; un valore tendente a 1 rappresenta una situazione di sicurezza nazionale.

$$S = A \times M$$

L'indice d'impatto della componente è quindi calcolato assegnando all'indice di sicurezza S massimo e minimo l'indice d'impatto minimo (I) e massimo (IO). I valori intermedi sono elaborati attraverso la formula:

$$In_{app,t} = 1 - \frac{(S_{max} - S_t) \times (In_{app,min} - In_{app,max})}{S_{max} - S_{min}}$$

Dove:

- $In_{app,t}$: indice di rafforzamento della sicurezza di approvvigionamento della t-esima tecnologia;
- S_{max} : indice di sicurezza massimo (I);
- S_{min} : indice di sicurezza minimo ($0,36$);
- S_t : indice di sicurezza della fonte energetica usata dalla t-esima tecnologia;
- $In_{app,max}$: indice di rafforzamento della sicurezza di approvvigionamento massimo (IO);
- $In_{app,min}$: indice di rafforzamento della sicurezza di approvvigionamento minimo (I).

Tecnologia	P_r	Import	HHI_{import}	A	M	S	In_{app}
Carbone	0	1	0,93 ⁷	0,93	1	0,93	1,98
Gas	0,11	0,89	0,69 ⁸	0,72	0,5	0,36	10
Idroelettrico	1	0	-	1	-	1	1
Fotovoltaico	1	0	-	1	-	1	1
Eolico	1	0	-	1	-	1	1
Geotermico	1	0	-	1	-	1	1
Biomassa	-	-	-	-	-	0,85 ⁹	3,11
Biogas	1	0	-	1	-	1	1

Tabella 1-12: Indice d'impatto rafforzamento della sicurezza di approvvigionamento

⁷ $HHI_{import,carbone} = 0,93$: gli operatori da cui si effettuano le importazioni di carbone sono ampiamente diversificati.

⁸ $HHI_{import,gas} = 0,69$: i bacini di approvvigionamento del gas sono localizzati principalmente in Russia ed Algeria.

⁹ A causa della difficoltà di reperire parametri continuativi nel tempo, per la tecnologia biomassa si esprime unicamente un valore di sintesi dell'indice di sicurezza S .

1. Metodologia Eureka!

Creazione di occupazione lavorativa nazionale

L'indice d'impatto relativo la componente *creazione di occupazione lavorativa nazionale* è valutato sulla base del numero di occupati diretti ed indiretti per unità di potenza installata. Il valore di occupazione Oc è un parametro ottenuto dal confronto tra il numero di occupati al MW installato tra le diverse tecnologie:

$$Oc_t = \frac{\left(\frac{occupati}{MW}\right)_t}{\left(\frac{occupati}{MW}\right)_{max}}$$

Dove:

- Oc_t : valore di occupazione della t-esima tecnologia;
- $\left(\frac{occupati}{MW}\right)_t$: numero di occupati per unità di potenza installata della t-esima tecnologia;
- $\left(\frac{occupati}{MW}\right)_{max}$: numero di occupati per unità di potenza massimo.

Alle tecnologie aventi il valore maggiore e minore sono assegnati gli indici d'impatto minimo (I) e massimo (IO); alle tecnologie aventi valori intermedi sono assegnati gli indici d'impatto secondo la seguente formula:

$$In_{occ,t} = 1 - \frac{(Oc_{max} - Oc_t) \times (In_{occ,min} - In_{occ,max})}{Oc_{max} - Oc_{min}}$$

Dove:

- $In_{occ,t}$: indice di creazione di occupazione nazionale della t-esima tecnologia;
- Oc_{max} : valore di occupazione massimo (I);
- Oc_{min} : valore di occupazione minimo ($0,0I$);
- Oc_t : valore di occupazione dalla t-esima tecnologia;
- $In_{occ,max}$: indice di creazione di occupazione nazionale massimo (IO);
- $In_{occ,min}$: indice di creazione di occupazione nazionale minimo (I).

Tecnologia	$\frac{occupati}{MW}$	Oc	In_{occ}
Carbone	0,6	0,1	9,18
Gas	0,0875	0,01	10
Idroelettrico	0,38	0,06	9,55
Fotovoltaico	0,49	0,08	9,36
Eolico	0,18	0,03	9,82
Geotermico	0,52	0,09	9,27
Biomassa	5,59	0,94	1,55
Biogas	5,96	1	1

Tabella 1-13: Indici d'impatto creazione occupazione lavorativa nazionale

L'impatto socio istituzionale di ogni componente è ottenuto dal prodotto dell'indice d'impatto e il peso relativo della componente. La sommatoria degli impatti definisce l'impatto socio-istituzionale per ciascuna tecnologia:

$$I_{soc-ist} = \sum_{i=1}^7 (In_i \times pc_i)$$

Dove:

- $I_{soc-ist}$: impatto socio-istituzionale;
- In_i : indice d'impatto della i -esima componente;
- pc_i : peso relativo della i -esima componente.

1. Metodologia Eureka!

Di seguito si propone un esempio:

Componente	Indice d'impatto In_i	Peso Componente pc_i	Impatto Componente	Impatto Socio-Istituzionale $I_{soc-ist}$
Sviluppo rete elettrica	4	15%	0,6	5,016
Servizio di regolazione della frequenza	10	9%	0,9	
Esigenza di bilanciamento della rete	7	16%	1,12	
Necessità di impianti convenzionali di backup	7	19%	1,33	
Riduzione della dipendenza energetica dall'estero	0	18%	0	
Rafforzamento della sicurezza di approvvigionamento	1	13%	0,13	
Creazione di occupazione lavorativa nazionale	9,36	10%	0,6	

Tabella 1-14: Esempio Impatto Socio-Istituzionale

I pesi relativi di ogni componente sono stati definiti in relazione ai risultati del questionario sottoposto al panel di esperti del mondo energetico già citato.

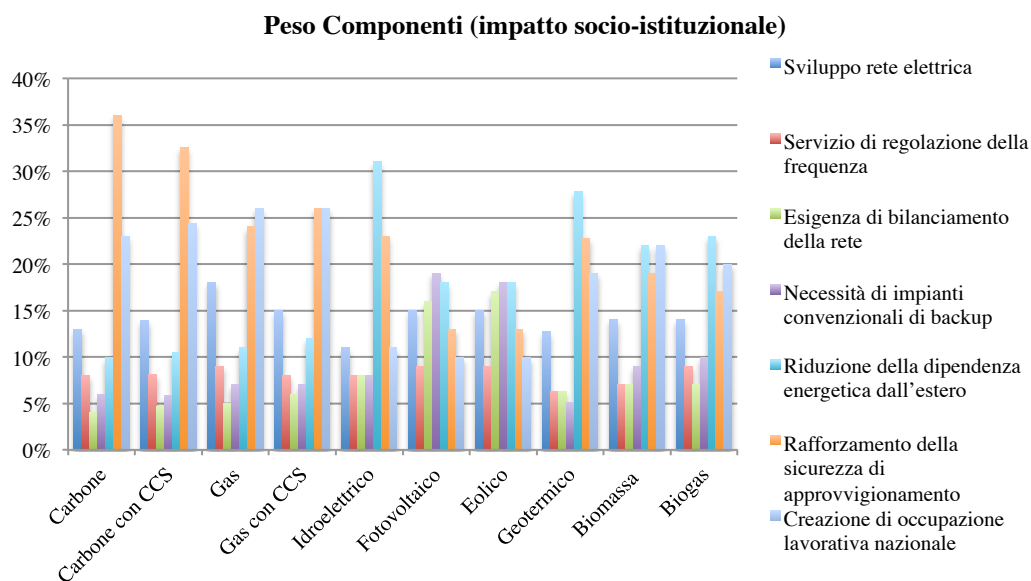


Figura 1-18: Peso componenti (impatto socio-istituzionale)

La definizione dell'indice di sostenibilità socio-istituzionale si basa sulla seguente formula:

$$IS_{soc-ist} = \frac{10 - I_{soc-ist}}{10}$$

Dove:

- $IS_{soc-ist}$: indice di sostenibilità socio-istituzionale;
- $I_{soc-ist}$: impatto socio-istituzionale.

Di seguito sono riportati i valori minimo e massimo dell'indice di sostenibilità socio-istituzionale relativi ogni tecnologia.

Tecnologia	$IS_{soc-ist,min}$	$IS_{soc-ist,max}$
Carbone	49,6%	58,7%
Carbone con CCS	47,7%	56,1%
Gas	18,6%	33,9%
Gas con CCS	19,0%	31,8%
Idroelettrico	69,2%	80,2%
Fotovoltaico	34,9%	50,9%
Eolico	34,9%	53,7%
Geotermico	63,6%	71,3%
Biomassa	72,8%	81,2%
Biogas	77,5%	85,9%

Tabella 1-15: Indici di sostenibilità socio-istituzionale

1. Metodologia Eureka!

1.3.3 Indice di sostenibilità Economica

L'indice di sostenibilità economica è basato sul calcolo del LCOE (*Levelized Cost Of Energy*), ottenuto dagli input inseriti dall'utente.

$$LCOE = \frac{\sum_n \left(\frac{C_{inv} + C_{manut} + C_{comb} + C_{co2} + C_{smalt} + C_{dism}}{(1+r)^n} \right)}{\sum_n \left(\frac{E_{el}}{(1+r)^n} \right)} \quad \left[\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$$

Dove:

- C_{inv} : costo di investimento totale, caricato sul primo anno di costruzione dell'impianto [€/anno];
- C_{manut} : costo di manutenzione annuo [€/anno];
- C_{comb} : costo del combustibile annuo [€/anno];
- C_{co2} : costo della CO₂ prodotta annualmente [€/anno];
- C_{smalt} : costo di smaltimento dei sottoprodotti annuo [€/anno];
- C_{dism} : costo di dismissione totale, caricato sull'ultimo anno di vita dell'impianto [€/anno];
- E_{el} : energia elettrica prodotta annualmente [kWh/anno];
- r : tasso di attualizzazione del capitale [-];
- n : somma degli anni di costruzione e vita dell'impianto [anni].

Nella sezione economica della simulazione l'utente ha la possibilità di inserire liberamente i valori di input; il comitato tecnico scientifico fornisce dei suggerimenti per aiutare la compilazione. Secondo la tecnologia analizzata, la simulazione propone domande differenti, volte all'individuazione dei parametri sopra elencati.

L'indice di sostenibilità economica è calcolato confrontando il LCOE ottenuto dalla simulazione con il LCOE minimo (0,05 €/kWh) e massimo (0,3 €/kWh), ottenuti aggiungendo un grado di tolleranza all'intervallo definito dall'analisi economica svolta su impianti campione.

$$IS_{eco} = 100\% - \frac{(LCOE_{min} - LCOE_t) \times (IS_{eco,max} - IS_{eco,min})}{(LCOE_{min} - LCOE_{max})}$$

Di seguito si riportano alcuni esempi:

Tecnologia	LCOE €/kWh	Indice di sostenibilità economica IS_{eco}
Grande Eolico 1 MW	0,076	90%
Mini Eolico 100 kW	0,155	58%
Gas con CCS 380 MW	0,077	89%
Gas senza CCS 400 MW	0,071	92%
Carbone con CCS 600 MW	0,091	84%
Carbone senza CCS 600 MW	0,056	98%
Biogas 50 kW	0,146	62%
Geotermico - 4000 kW	0,149	60%
Fotovoltaico 10 kW	0,161	56%
Fotovoltaico 2 MW	0,092	83%
Biomassa 20 MW	0,097	81%
Idroelettrico a Serbatoio 10 MW	0,067	93%
Idroelettrico Fluente 10 kW	0,250	20%
Idroelettrico Fluente 40 MW	0,067	93%
LCOE minimo (stabilito dal CTS)- indice di sostenibilità massimo	0,05	100%
LCOE massimo (stabilito dal CTS)- indice di sostenibilità minimo	0,3	0%

Tabella 1-16: Indici di sostenibilità economica

1.4 Classificazione Sostenibilità

L'ultimo step della simulazione è la presentazione dei risultati: questi sono forniti sia in termini numerici percentuali che in termini qualitativi. È stato creato un sistema di classificazione della sostenibilità che permetta di esprimere una valutazione sull'indice di sostenibilità globale ottenuto eseguendo un confronto implicito con tutte le tecnologie comprese nel modello.

La classificazione si basa sulla definizione di cinque classi di sostenibilità:

- Sostenibilità insufficiente
- Sostenibilità bassa
- Sostenibilità media
- Sostenibilità alta
- Sostenibilità molto alta

1. Metodologia Eureka!

Gli intervalli di ciascuna classe sono stati definiti attraverso l'analisi dei risultati ottenuti dalla simulazione svolta per alcuni impianti campione. All'indice di sostenibilità minore minorato di un punto percentuale è stata assegnata la soglia superiore di sostenibilità insufficiente; all'indice di sostenibilità maggiore, maggiorato di un punto percentuale è invece stata assegnata la soglia inferiore di sostenibilità molto alta. Le classi centrali hanno pari ampiezze¹⁰: sono quindi definite dal gap tra gli indici di sostenibilità minimo e massimo degli impianti campione analizzati.

Questo metodo è seguito per gli indici di sostenibilità ambientale, socio-istituzionale ed economico. Gli intervalli dell'indice di sostenibilità globale sono determinati ponderando i livelli di soglia per ogni classe sui pesi relativi dei tre indici.

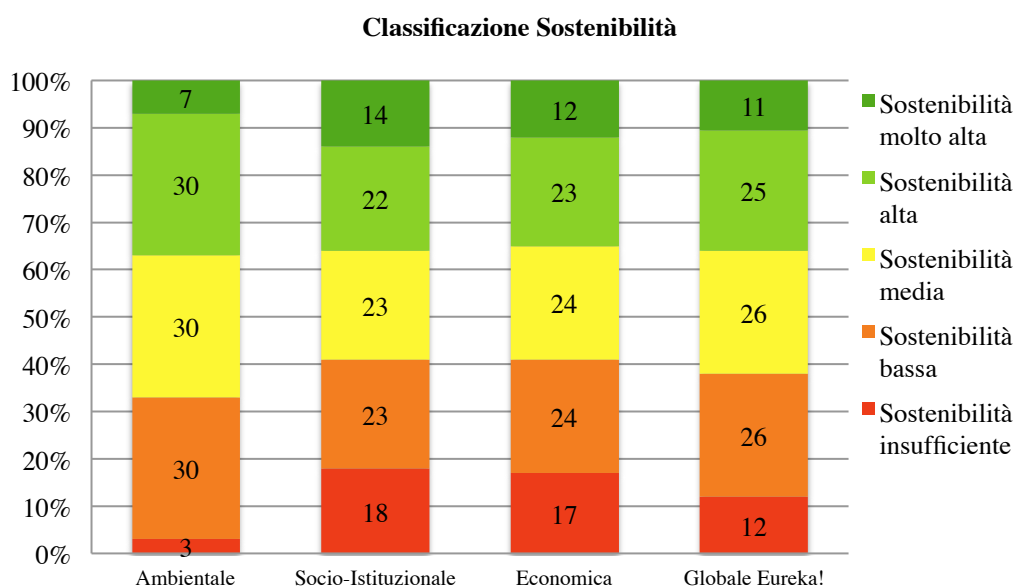


Figura 1-19: Classificazione Sostenibilità

¹⁰ Le differenze di ampiezza delle classi centrali esposte nel grafico sono dovute ad arrotondamenti.

2. Estensione della metodologia Eureka a impianti termici

Il modello finora presentato fa riferimento a tecnologie e impianti per la generazione di energia elettrica; nell'ottica di andare a valutare la sostenibilità di tutti i processi energetici è necessario volgere l'attenzione anche a quelle tecnologie ed impianti che permettono la generazione di energia termica. A tal scopo si è pensato di adattare l'approccio metodologico costituito da Eureka a diverse tecnologie di produzione di calore. Si è voluta mantenere la struttura del modello, nel tentativo di definire quello che può essere un primo approccio per la costituzione di una simulazione analoga a quella per impianti di generazione di energia elettrica. Lo scopo del lavoro è quindi quello di definire un indice di sostenibilità globale, dipendente dagli indici di sostenibilità ambientale, socio-istituzionale ed economica.

2.1 Fabbisogno termico

Il primo step, nel fornire gli elementi utili per l'implementazione di una futura simulazione, è quello di definire un set d'informazioni per l'utente circa i fabbisogni termici annuali standard per diverse categorie di utenza. In aggiunta si propone un'ulteriore lista, relativa i fabbisogni annuali standard riferiti esclusivamente al consumo di acqua calda sanitaria.

Utenza	Caratteristiche	Fabbisogno Termico
Appartamento	100 m ² classe A, zona climatica D	2.000 kWh/anno
Appartamento	100 m ² classe D, zona climatica D	7.900 kWh/anno
Appartamento	100 m ² classe A, zona climatica E	2.700 kWh/anno
Appartamento	100 m ² classe D, zona climatica E	10.700 kWh/anno
Località	100 abitanti	555 MWh/anno
Località	1.000 abitanti	5.550 MWh/anno
Località	10.000 abitanti	55.500 MWh/anno
Località	100.000 abitanti	555.000 MWh/anno
Condominio¹¹	classe D zona climatica D	105.000 MWh/anno

Tabella 2-1: Fabbisogno termico annuale - parte 1

¹¹ Condominio di 5 piani: 20 appartamenti da 65 m².

2. Estensione della metodologia Eureka a impianti termici

Utenza	Caratteristiche	Fabbisogno Termico
Piccola industria ¹²	-	10.000 <i>MWh/anno</i>
Media industria ⁹	-	100.000 <i>MWh/anno</i>
Grande industria ⁹	-	250 <i>GWh/anno</i>
Ospedale	450 posti letto	16.000 <i>MWh/anno</i>
Scuola	1000 studenti	500 <i>MWh/anno</i>
Edificio Commerciale	600 <i>m</i> ²	47 <i>MWh/anno</i>
Albergo	3 stelle, 50 camere	280 <i>MWh/anno</i>
Negozi	80 <i>m</i> ²	7 <i>MWh/anno</i>

Tabella 2-2: Fabbisogno termico annuale – parte 2

Utenza	Caratteristiche	Fabbisogno ACS
Appartamento	100 <i>m</i> ² classe A	900 <i>kWh/anno</i>
Appartamento	100 <i>m</i> ² classe D	1950 <i>kWh/anno</i>
Albergo	3 stelle, senza lavanderia	44,5 <i>MWh/anno</i>
Albergo	3 stelle, con lavanderia	52 <i>MWh/anno</i>
Ospedale	450 posti letto	429,5 <i>MWh/anno</i>
Scuola	1000 alunni	159 <i>MWh/anno</i>
Palestra	10 docce installate	10.610 <i>kWh/anno</i>
Ufficio	100 <i>m</i>	220 <i>kWh/anno</i>
Ristorante	50 posti a sedere, pranzo e cena	10.610 <i>kWh/anno</i>

Tabella 2-3: Fabbisogno ACS

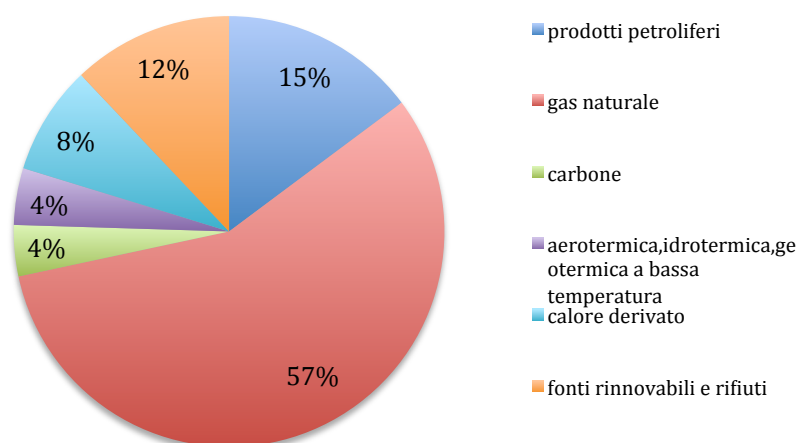
2.2 Tecnologie analizzate

Il panorama energetico italiano è costituito per la maggior parte dall'utilizzo di combustibili fossili per la produzione di energia termica: tra queste il gas naturale ricopre il ruolo fondamentale, garantendo più della metà dell'intero fabbisogno nazionale. Per quanto riguarda le fonti rinnovabili, la quota maggiore è addebitata al consumo di biomassa, seguita dalla fonte geotermica a bassa temperatura, idrotermica e aerotermica, sfruttate da pompe di calore. La quota denominata *calore derivato* è costituita dall'energia termica prodotta da impianti cogenerativi o impianti dedicati alla fornitura di calore attraverso reti di teleriscaldamento: di questa energia, circa il 19% ha origine da fonte

¹² La classificazione relativa le dimensioni dell'industria si basa sui consumi elettrici e termici annuali, senza riferimenti a volume d'affari o numero di dipendenti.

rinnovabile (biomassa, bioliquidi sostenibili, biogas e parte biodegradabile dei rifiuti), il restante da fonti fossili.

Consumi termici in Italia per fonte energetica: anno 2013



13

Figura 2-1: Consumi termici in Italia per fonte energetica: anno 2013

La scelta delle tecnologie da analizzare è ricaduta su quelle tecnologie che ad oggi sono ampiamente diffuse o per le quali vi è un forte interesse, sia a livello istituzionale sia in campo commerciale ed industriale.

Per tutte le tecnologie si sono presi in considerazione impianti costituenti la BAT (Best Available Technology).

2.2.1 Caldaia a gas a condensazione

La caldaia è un apparecchio che opera la conversione dell'energia dei combustibili al fine di produrre calore. È l'organo centrale degli impianti di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria alimentati a gas naturale.

L'energia liberata dalla combustione del gas è ceduta a un fluido termovettore, comunemente acqua, che opera all'interno dell'impianto di riscaldamento. Lo scambio termico avviene per irraggiamento tra i fumi di combustione e il fluido termovettore.

Esistono diverse tipologie di caldaie alimentate a gas: in questo lavoro si è scelto di prendere in considerazione la categoria a condensazione. In questi apparecchi lo scambio termico viene effettuato in modo da includere il recupero del calore latente di condensazione disponibile nel vapore acqueo presente nei fumi prodotti dalla combustione. Il calore latente rappresenta l' 11% dell'energia liberata dal processo di combustione. Il recupero di questo ulteriore calore permette di raggiungere rendimenti

¹³ Rielaborazione dati EUROSTAT, GSE

2. Estensione della metodologia Eureka a impianti termici

superiori al valore unitario (1,05-1,07), in quanto i rendimenti sono convenzionalmente calcolati sul potere calorifico inferiore del combustibile, ovvero l'energia liberata dalla combustione al meno dell'energia di condensazione del vapore acqueo prodotto. I fumi di scarico raggiungono temperature inferiori (ca. 150° C) rispetto quelle in caldaie tradizionali (ca. 220 °C): l'abbassamento della temperatura comporta un contemporaneo abbassamento della pressione che rende, nella maggior parte dei casi, l'espulsione dei fumi attraverso il tiraggio naturale del camino impraticabile. La caldaia a condensazione è dotata di un sistema di ventilazione che mette in pressione i fumi per effettuare l'espulsione degli stessi in atmosfera. Il materiale dello scambiatore di calore, dello scarico della condensa e dello scarico fumi deve essere resistente alla corrosione che può essere causata dalla condensa: questo comporta un aumento del costo di investimento rispetto le caldaie tradizionali.

Il miglior accoppiamento caldaia-impianto si ottiene quando l'utenza è fornita a bassa temperatura (30-50 °C). L'uso di caldaie a condensazione accoppiate a impianti di riscaldamento funzionanti ad alta temperatura (70-80°C) invalida parzialmente i vantaggi che si possono ottenere sulle performance della caldaia. La maggior parte delle caldaie a condensazione sono dotate di bruciatore premiscelato, in grado di garantire una maggior modulazione della fiamma e minori emissioni di CO e NOx.

In questo lavoro si è deciso di estendere la metodologia Eureka a due ipotetici impianti:

- Potenza nominale: 32 kW;
- Potenza nominale: 500 kW.

Il modello presenterà delle differenze tra i due impianti esclusivamente per quanto riguarda la sezione economica, poiché saranno presentati valori di suggerimento differenti.

2.2.2 Caldaia a biomassa

Secondo la direttiva dell'Unione Europea, 2009/28/CE, con il termine biomassa si definisce “la frazione biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui di origine biologica provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze vegetali e animali), dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, comprese la pesca e l'acquacoltura, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali e urbani”. La biomassa è un combustibile ampiamente usato per la produzione di calore.

Gli apparecchi più diffusi, soprattutto in ambito residenziale (circa l'85% dell'energia termica da biomassa solida è prodotta in nuclei domestici), sono le termostufe e i termocamini, in altre parole dispositivi che operano uno scambio termico radiante direttamente con l'ambiente da riscaldare e, in alcuni casi con il fluido termovettore dell'impianto di riscaldamento.

In questo lavoro si sono voluti analizzare apparecchi che operano lo scambio termico esclusivamente con il fluido termovettore, comunemente acqua. Questi dispositivi sono, dal punto di vista impiantistico, equiparabili alle caldaie comuni. Le caldaie a biomassa sono quindi dei generatori di calore che operano la trasformazione dell'energia contenuta nella biomassa in energia termica attraverso un processo di combustione.

2. Estensione della metodologia Eureka a impianti termici

I rendimenti e le caratteristiche delle diverse caldaie possono variare fortemente sulla base del combustibile usato. Il combustibile più usato in ambito residenziale, per caldaie, è il pellet. Il pellet è un combustibile prodotto da segatura, essiccata e compressa, e costituito da cilindri aventi il diametro tipicamente inferiore a 1 cm . Raggiunge alti valori di potere calorifico inferiore grazie alla bassa umidità relativa e risulta particolarmente vantaggioso, rispetto le altre tipologie di biomassa, relativamente i volumi di stoccaggio necessari.

Per impianti di taglia maggiore, invece, un combustibile di grande interesse è il cippato, costituito da legno sminuzzato, *chip* (scaglie) dalle dimensioni variabili, tipicamente di pochi *cm*. Il potere calorifico del cippato dipende dalla tipologia di legno che lo costituisce e dal suo contenuto idrico. Comunemente, le caldaie alimentate a biomassa sono dotate di trasportatori automatici del combustibile dal serbatoio al braciere, sede del processo di combustione, così come di una griglia mobile che provvede all'asporto automatico delle ceneri.

In questo lavoro si è deciso di estendere la metodologia Eureka a due ipotetici impianti:

- Potenza nominale: 32 kW ;
- Potenza nominale: 500 kW .

Il modello presenterà delle differenze tra i due impianti esclusivamente per quanto riguarda la sezione economica, poiché saranno presentati valori di suggerimento differenti. Per la caldaia a maggior potenza saranno proposte anche le valutazioni relative l'utilizzo di legno vergine, legno di scarto, scarto agricolo/forestale e scarto agroindustriale.

2.2.3 Pompa di calore

La pompa di calore è una macchina che effettua uno scambio termico tra un ambiente a bassa temperatura ad uno ad alta temperatura. Si distinguono due categorie principali di pompa di calore:

- Pompa di calore ad assorbimento;
- Pompa di calore a compressione.

Le due tipologie differiscono per il ciclo termodinamico al loro interno: la prima è alimentata da energia termica, tipicamente proveniente da una combustione, la seconda invece è alimentata da energia meccanica, tipicamente fornita da un compressore elettrico. In questo lavoro si parlerà esclusivamente di pompe di calore a compressione.

La caratteristica di trasferire il calore da un ambiente a bassa temperatura a uno ad alta temperatura rende possibile, attraverso l'inversione del ciclo termodinamico, l'utilizzo della pompa di calore sia per il riscaldamento sia per il raffrescamento. In quest'analisi si prenderà in considerazione solo l'utilizzo della pompa di calore funzionante in riscaldamento. È necessario sottolineare che questa è l'unica tecnologia, tra quelle considerate, che permetta di soddisfare il fabbisogno di entrambe le stagioni di condizionamento attraverso l'utilizzo di un solo apparecchio, senza alcuna integrazione. La pompa di calore rende disponibile l'energia termica che è il risultato della somma dell'energia meccanica fornita dal compressore e dell'energia prelevata dalla sorgente termica a bassa temperatura.

2. Estensione della metodologia Eureka a impianti termici

Il rapporto tra il calore utile ceduto dalla pompa di calore all'ambiente e l'energia elettrica assorbita dal compressore è chiamato coefficiente di prestazione (COP): i valori del COP variano non solo tra macchine diverse ma anche a seconda della temperatura della sorgente termica e di conseguenza dal luogo di installazione e il periodo dell'anno. Le sorgenti termiche accoppiabili alla pompa di calore sono:

- Sorgente aerotermica;
- Sorgente idrotermica;
- Sorgente geotermica.

Attualmente, la maggior parte delle pompe di calore installate in Italia sono apparecchi aerotermici ad espansione diretta, in altre parole il calore viene ceduto direttamente all'aria dell'ambiente da riscaldare. È importante evidenziare che l'accoppiamento a sorgente idrotermica o geotermica prevede la necessità di installare un sistema di scambiatori di calore o sonde non previsti dagli apparecchi aerotermici, comportando dei costi d'investimento maggiori. Di contro, prendendo come riferimento uno stesso luogo, la sorgente idrotermica e geotermica garantisce un divario inferiore tra le temperature di lavoro del ciclo termodinamico, garantendo così migliori prestazioni.

In questo lavoro si è deciso di estendere la metodologia Eureka a quattro ipotetici impianti:

- Sorgente: aerotermica, potenza nominale: 7 kW ;
- Sorgente geotermica, potenza nominale: 7 kW ;
- Sorgente: aerotermica, potenza nominale: 500 kW ;
- Sorgente geotermica, potenza nominale: 500 kW ;

Il modello presenterà delle differenze tra i due impianti esclusivamente per quanto riguarda la sezione economica e ambientale, poiché saranno presentati valori di suggerimento differenti.

2.2.4 Solare termico

Con solare termico s'intende la tecnologia che permette la conversione di energia solare in energia termica. Questa tecnologia è ampiamente utilizzata per la produzione di acqua calda sanitaria, soprattutto nel settore residenziale. Non è da escludere l'utilizzo per la climatizzazione degli edifici, specialmente in assetto d'integrazione ad altri impianti di riscaldamento, ma la stagionalità della fonte solare, disponibile maggiormente in estate, rende la totale copertura del carico termico invernale di un edificio difficilmente raggiungibile, se non con investimenti importanti. Il processo di conversione da energia solare a energia termica avviene in apparecchi chiamati collettori, in grado di assorbire l'energia solare e trasferirla a un fluido termovettore o al fluido costituente l'utenza termica. Esistono diverse tipologie di collettori solari, che si differenziano in base alla loro struttura e destinazione d'uso (in questa sezione del lavoro si discute esclusivamente di collettori solari a bassa temperatura):

- Collettori piani selettivi;
- Collettori a tubi sottovuoto;

2. Estensione della metodologia Eureka a impianti termici

- Collettori non vetrati (o scoperti).

Se per collettori piani selettivi e a tubi sottovuoto le applicazioni possono considerarsi equivalenti, è importante evidenziare che l'utilizzo di collettori non vetrati è consigliato esclusivamente per utenze estive (piscine, campeggi, stabilimenti balneari) a causa delle limitate prestazioni, dovute all'assenza di un rivestimento tra il materiale assorbente e l'aria ambiente. I collettori piani selettivi sono costituiti da pannelli vetrati trasparenti alla radiazione solare e opachi alla radiazione infrarossa, emessa dalla piastra assorbente sottoposta: questa tecnologia permette di massimizzare l'energia radiante solare "catturata" all'interno del collettore, in modo da poterla cedere al fluido che scorre in una serpentina, generalmente in rame, posta sotto la piastra assorbente. I collettori a tubi sottovuoto seguono lo stesso principio dei collettori piani selettivi, con la differenza che il vuoto spinto all'interno dei tubi costituenti la superficie vetrata garantisce minori perdite termiche per convezione e conduzione.

Gli impianti di produzione del calore da collettori solari si distinguono in:

- Impianti a circolazione naturale;
- Impianti a circolazione forzata.

I primi richiedono un sistema di accumulo posizionato ad un'altezza geodetica maggiore di quella dei collettori, per garantire la circolazione del fluido termovettore o del fluido costituente l'utenza. Risultano avere, generalmente, maggiori difficoltà per quanto riguarda l'integrazione architettonica negli edifici. Nei secondi, invece, la circolazione del fluido è garantita dall'energia fornita da una pompa di circolazione, che rappresenta una spesa energetica necessaria al funzionamento dell'impianto.

In questo lavoro si escludono dall'analisi gli impianti costituiti da collettori non vetrati ed impianti a circolazione naturale. Si propongono delle distinzioni relative alla sezione economica circa impianti costituiti da:

- Superficie captante totale: $A_c < 20 \text{ m}^2$;
- Superficie captante totale: $A_c \geq 20 \text{ m}^2$.

2.3 Valutazioni sul consumo elettrico

Tutte le tecnologie considerate hanno la necessità di disporre di energia elettrica, per garantire il loro funzionamento. Si vuole, di conseguenza, prendere in considerazione l'impatto ambientale e socio-istituzionale provocato dalla generazione dell'energia elettrica, assorbita durante la fase operativa dai diversi dispositivi. Per quanto riguarda la sostenibilità economica, invece, le considerazioni circa l'assorbimento di energia elettrica saranno incluse attraverso la valutazione dei costi di esercizio.

Al fine di determinare gli impatti causati dalla generazione dell'elettricità effettivamente utilizzata in Italia, la metodologia dovrebbe essere quella di applicare l'approccio Eureka a tutti gli impianti presenti in Italia e pesare i loro impatti sulla base dell'energia annua generata. Questo comporterebbe un lavoro eccessivamente pesante e dettagliato, per il quale, in questa sede, non si hanno i mezzi necessari. Si è quindi scelto di approcciare l'analisi introducendo delle ipotesi semplificative:

2. Estensione della metodologia Eureka a impianti termici

- La valutazione fa riferimento esclusivamente all'energia elettrica prodotta in Italia, trascurando l'energia da importazione.
- Alcune categorie d'impianti, non presenti in Eureka, sono accorpati a tecnologie analoghe, per le quali si possono presupporre impatti comparabili.
- Sono definiti dei livelli d'impatto massimo, medio e minimo sia per la sezione ambientale sia per la sezione socio-istituzionale: questi saranno rappresentativi di un parco elettrico a bassa, media e alta sostenibilità ambientale e socio-istituzionale.
- Gli impatti definiti fanno riferimento al mix di produzione dell'energia elettrica relativo all'anno 2014: i risultati ottenuti non possono, quindi, ritenersi validi in occasione di grandi differenze sulle quote di produzione relative le diverse tecnologie.

Si presentano di seguito le statistiche¹⁴ relative i quantitativi e le quote di energia elettrica, da produzione nazionale e da saldo import-export, nella rete elettrica italiana.

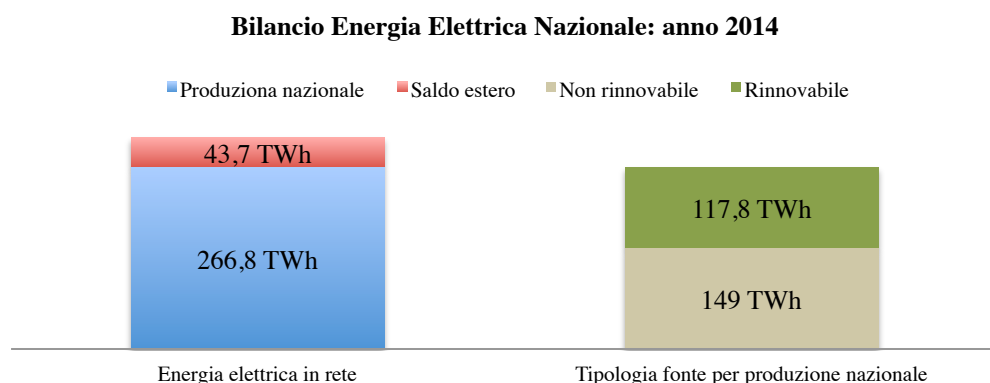


Figura 2-2: Bilancio energia elettrica nazionale: anno 2014

Produzione nazionale di energia elettrica per fonte: anno 2014

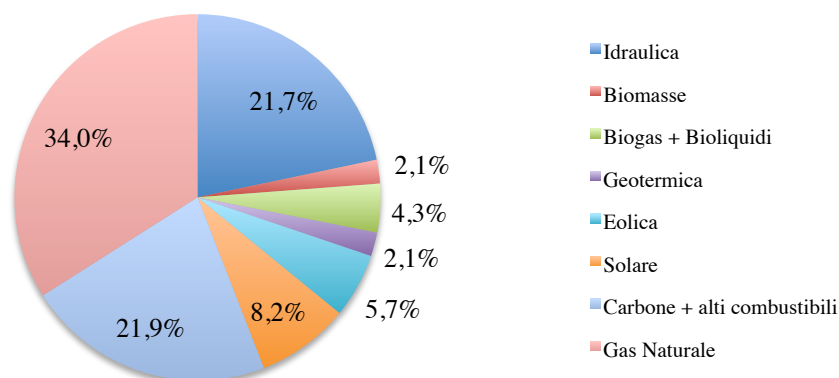


Figura 2-3: Produzione nazionale di energia elettrica per fonte: anno 2014

¹⁴ Fonte: GSE e EUROSTAT

2. Estensione della metodologia Eureka a impianti termici

Dalla figura 2-3 si può notare l'aggregazione delle quote relative alle fonti "Biogas (2,8%)" e "Bioliquidi (1,5%)", così come quelle relative alle fonti "Carbone (14,7%)" e "Altri Combustibili (7,2%)". Questa operazione è necessaria per poter allocare gli impatti delle categorie "Bioliquidi" e "Altri combustibili" attraverso la metodologia Eureka.

L'approccio generale si basa sulla valutazione degli impatti ambientali ($I_{max,t}^{amb}$, $I_{min,t}^{amb}$) e socio-istituzionali ($I_{max,t}^{soc-ist}$, $I_{min,t}^{soc-ist}$) minimo e massimo per ogni tecnologia, dato dalla somma degli impatti minimi e massimi di ogni componente. Gli impatti minimo e massimo di ogni tecnologia sono pesati attraverso la quota di produzione q_t di energia elettrica nazionale, definendo l'impatto causato da ogni tecnologia nella globalità della generazione di energia elettrica del parco energetico nazionale. La sommatoria degli impatti pesati da origine alla definizione dell'impatto complessivo dovuto alla generazione elettrica.

$$I_{max,prod\ naz}^{amb} = \sum_t (I_{max,t}^{amb} \times q_t)$$
$$I_{min,prod\ naz}^{amb} = \sum_t (I_{min,t}^{amb} \times q_t)$$
$$I_{max,prod\ naz}^{soc-ist} = \sum_t (I_{max,t}^{soc-ist} \times q_t)$$
$$I_{min,prod\ naz}^{soc-ist} = \sum_t (I_{min,t}^{soc-ist} \times q_t)$$

L'inclusione degli impatti dovuti alla generazione dell'energia elettrica nel modello per il calcolo della sostenibilità degli impianti termici avviene attraverso l'aggiunta di una componente chiamata "Consumo di Energia Elettrica" sia nella sezione ambientale sia nella sezione socio-istituzionale.

Gli impatti calcolati sono trattati come indici d'impatto che devono essere pesati attraverso il peso della componente.

L'utente ha la possibilità di scegliere tra tre opzioni:

- Indice d'impatto massimo: rappresentativo di un parco elettrico a bassa sostenibilità;
- Indice d'impatto medio: rappresentativo di un parco elettrico a media sostenibilità (opzione consigliata);
- Indice d'impatto minimo: rappresentativo di un parco elettrico ad alta sostenibilità.

Il peso della componente *Consumo di Energia Elettrica* è valutato in base alla quota di energia elettrica necessaria alla produzione di un'unità di calore utile. Per le tecnologie Caldaia a condensazione, Caldaia a biomassa e Solare termico il peso della componente è pari a 0,5%¹⁵: a causa di questo basso valore, l'impatto dovuto al consumo di energia elettrica risulta essere una valutazione simbolica. Per quanto riguarda la tecnologia Pompa di calore il peso della componente è 28,6%.

¹⁵ Arrotondamento in eccesso del quoziente tra energia termica prodotta e energia elettrica assorbita durante il funzionamento.

2. Estensione della metodologia Eureka a impianti termici

risultato ottenuto considerando un SCOP pari a 3,5: il consumo di energia elettrica rappresenta la maggior fonte di impatto relativa questa tecnologia.

2.3.1 Impatto ambientale

Di seguito si propone una tabella esplicativa del calcolo degli impatti ambientali dovuti alla generazione di energia elettrica nazionale.

Tecnologia	TWh	q_t	$I_{max,t}^{amb}$	$I_{min,t}^{amb}$	$(I_{max,t}^{amb} \times q_t)$	$(I_{min,t}^{amb} \times q_t)$	$I_{max,prod,naz}^{amb}$	$I_{medio,prod,naz}^{amb}$	$I_{min,prod,naz}^{amb}$
Idraulica	57,9	21,7%	9,1	0,91	1,97	0,2	8,6	5,59	2,58
Biomasse	5,6	2,1%	8,03	1,68	0,17	0,04			
Biogas + Bioliquidi	11,8	4,3%	6,4	0,94	0,28	0,04			
Geotermica	5,6	2,1%	3,87	0,98	0,08	0,02			
Eolica	15,1	5,7%	8,29	1,71	0,47	0,1			
Solare	21,8	8,2%	8,28	0,69	0,68	0,06			
Carbone + Altri combustibili	58,3	21,9%	9,58	3,95	2,1	0,87			
Gas Naturale	90,7	34,0%	8,37	3,69	2,85	1,25			

Tabella 2-4: Impatti ambientali della produzione elettrica nazionale

2.3.2 Impatto socio-istituzionale

Di seguito si propone una tabella esplicativa del calcolo degli impatti socio-istituzionali dovuti alla generazione di energia elettrica nazionale.

Tecnologia	TWh	q_t	$I_{max,t}^{soc-ist}$	$I_{min,t}^{soc-ist}$	$(I_{max,t}^{soc-ist} \times q_t)$	$(I_{min,t}^{soc-ist} \times q_t)$	$I_{max,prod,naz}^{soc-ist}$	$I_{medio,prod,naz}^{soc-ist}$	$I_{min,prod,naz}^{soc-ist}$
Idraulica	57,9	21,7%	3,08	1,98	0,67	0,43	5,68	5,08	4,49
Biomasse	5,6	2,1%	2,72	1,88	0,06	0,04			
Biogas + Bioliquidi	11,8	4,3%	2,25	1,41	0,1	0,06			
Geotermica	5,6	2,1%	3,64	2,874	0,08	0,06			
Eolica	15,1	5,7%	6,51	5,71	0,37	0,33			
Solare	21,8	8,2%	6,51	5,15	0,53	0,42			
Carbone + alti combustibili	58,3	21,9%	5,037	4,127	1,1	0,9			
Gas Naturale	90,7	34,0%	8,14	6,61	2,77	2,25			

Tabella 2-5: Impatti socio-istituzionali della produzione elettrica nazionale

2.4 Indice di sostenibilità per impianti termici

La struttura dell'indice di sostenibilità per impianti termici è mantenuta analoga a quello per impianti di generazione elettrica:

- Sostenibilità ambientale: 39%;
- Sostenibilità socio-istituzionale: 25%;
- Sostenibilità economica: 36%.

Per quanto riguarda la determinazione degli indici di sostenibilità si cerca di mantenere il modello coerente all'approccio Eureka, introducendo però dei cambiamenti, sia relativi le componenti analizzate, sia relativi la valutazione degli indici di impatto. Per le componenti in cui la determinazione degli indici di impatto non presenta variazioni rispetto il modello Eureka, non è presentata la metodologia di calcolo, già illustrata nel capitolo 1. Metodologia Eureka. Nel caso in cui il processo metodologico abbia subito delle variazioni, queste saranno presentate nei paragrafi successivi.

2.4.1 Pesì relativi delle componenti

Al fine di simulare fedelmente la metodologia di costruzione del modello sostenuta del team di Eureka, i pesi relativi delle componenti pc , sono determinati dai risultati di un questionario sottoposto a un campione costituito da 49 studenti partecipanti al corso "Impianti Combinati e Cogenerativi" tenuto dalla Prof.ssa Anna Stoppato, presso l'Università degli Studi di Padova (Corso di Laurea: Ingegneria Energetica, anno accademico 2015-2016). Il questionario chiedeva di esprimere l'importanza relativa di ogni componente di impatto assegnando dei valori da 0 a 10. I pesi relativi sono il risultato della media dei pesi relativi ottenuti per ogni questionario. I risultati sono riportati nei grafici che seguono:

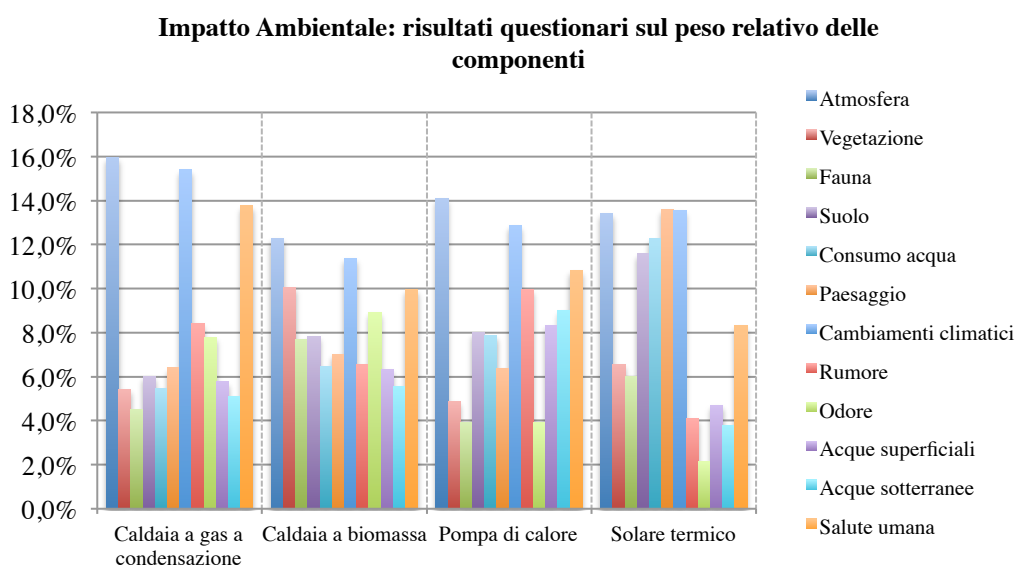


Figura 2-4: Impatto ambientale: risultati questionari sul peso relativo delle componenti

2. Estensione della metodologia Eureka a impianti termici

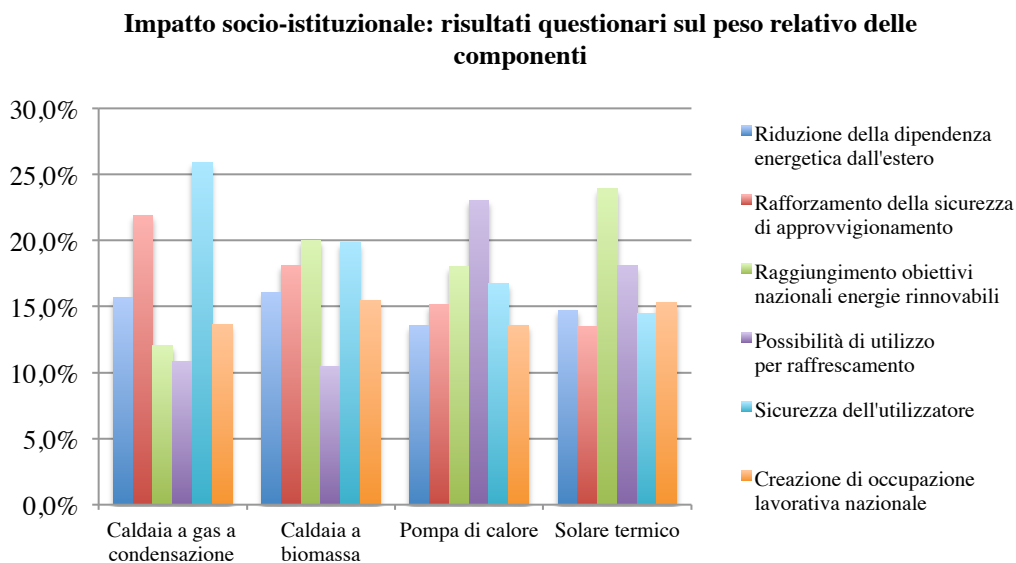


Figura 2-5: Impatto socio-istituzionale: risultati questionari sul peso relativo delle componenti

Si vuole sottolineare che i valori riportati nei grafici non corrispondono ai pesi relativi effettivamente impostati nel modello: l'aggiunta della componente *Consumo di energia elettrica*, il cui peso relativo è stabilito a priori, comporta la necessità di riscalare i valori ottenuti per tutte le componenti sulla quota residua. La quota residua è variabile per le diverse tecnologie, secondo il peso relativo della componente *Consumo di energia elettrica*:

- 99,5%: caldaia a gas a condensazione, caldaia a biomassa, solare termico;
- 71,4%: pompa di calore.

I pesi relativi impostati si possono consultare nei prossimi paragrafi.

2.4.2 Indice di sostenibilità ambientale

Il modello relativo l'indice di sostenibilità ambientale è presentato esponendo la forma e le considerazioni relative ogni componente per le diverse tecnologie prese in analisi.

Paesaggio

Per le tecnologie caldaia a condensazione, caldaia a biomassa e pompa di calore la componente *paesaggio* è considerata trascurabile; questa valutazione si basa su due considerazioni:

- La visibilità degli impianti considerati è generalmente bassa;
- La generazione termica, escludendo gli impianti di teleriscaldamento, ha una configurazione distribuita: tipicamente impianto e utenza sono in prossimità. Il luogo d'installazione

2. Estensione della metodologia Eureka a impianti termici

dell'impianto è, nella maggior parte dei casi, una scelta obbligata, determinata dall'esistenza di un'utenza termica.

Per quanto riguarda la tecnologia solare termico, l'impianto, soprattutto se di grande taglia, può risultare visibile e quindi determinare un impatto paesaggistico. È da evidenziare che, solitamente, gli impianti solari termici sono installati sui tetti degli edifici: in questo caso i valori d'impatto suggeriti portano alla determinazione di un indice d'impatto minimo.

Tecnologia ¹⁶	Quesiti/Informazioni	Suggerimenti	pq_i	pc_i
CG	Componente trascurabile	Impatto trascurabile	--	6,40%
CB	Componente trascurabile	Impatto trascurabile	--	7%
PDC	Componente trascurabile	Impatto trascurabile	--	4,50%
ST	Dove sarà realizzato l'impianto?	<ul style="list-style-type: none"> Su un terreno agricolo: impatto medio – alto In aree di recupero industriale o in adiacenza a preesistenti corridoi tecnologici: impatto medio Integrato nell'architettura di edifici: impatto basso 	7	13,5%
	L'impianto è visibile da punti importanti o da strade ad alta affluenza?	<ul style="list-style-type: none"> Sì: impatto medio – alto no= impatto medio 	1	
	L'impianto è realizzato su un terreno pianeggiante ed è percepibile a una distanza superiore a 200 m?	<ul style="list-style-type: none"> Sì: impatto medio No: impatto basso 	2	

Tabella 2-6: Componente Paesaggio: impianti termici

Suolo

Per la tecnologia caldaia a gas a condensazione, la componente *suolo* è trascurata a causa delle limitate dimensioni degli impianti.

Nel caso della tecnologia caldaia a biomassa, la valutazione verte sull'origine della fonte: se la biomassa deriva da colture energetiche si considera l'impatto dovuto all'utilizzo del suolo, rendendolo inaccessibile ad altre attività.

Circa la tecnologia pompe di calore geotermiche, l'impatto riguardante il Suolo comprende le valutazioni relative la *deriva termica del terreno*: il fenomeno consiste nella riduzione o aumento della temperatura media del terreno dovuto a prelievi ed immissioni sbilanciate nell'arco delle stagioni di riscaldamento e raffreddamento. Questo evento è accentuato nel caso di utilizzo d'impianti non correttamente dimensionati.

Per gli impianti solari termici è presa in considerazione l'estensione dell'impianto, poiché generalmente più ampio rispetto le altre tecnologie. La localizzazione dell'impianto e la tipologia di

¹⁶ CG: caldaia a gas a condensazione; CB: caldaia a biomassa; PDC: pompa di calore; ST: solare termico.

2. Estensione della metodologia Eureka a impianti termici

suolo su cui è installato definiscono valori d'impatto differenti, secondo la perdita causata dal non utilizzo per altre attività.

Tecnologia	Quesiti/Informazioni	Suggerimenti	pc_i
CG	Componente trascurabile	Impatto trascurabile	6,0%
CB	L'impianto sarà alimentato da residui (agricoli, agroindustriali, agroforestali) oppure da colture energetiche?	<ul style="list-style-type: none"> Residui: impatto basso Colture dedicate: impatto medio 	7,8%
PDC	Che tipologia di pompa di calore si utilizza? Qual è il rapporto tra Energia Termica per Riscaldamento ed Energia Termica per Raffrescamento necessaria annualmente?	<ul style="list-style-type: none"> Pompa di calore aerotermica: impatto trascurabile Pompa di calore geotermica con $(E_{risc}/E_{raff}) > 1,3$ o $(E_{risc}/E_{raff}) < 0,7$: impatto alto Pompa di calore geotermica con $0,7 < (E_{risc}/E_{raff}) < 1,3$: impatto medio-basso 	5,7%
ST	Dove sarà realizzato l'impianto?	<ul style="list-style-type: none"> Su un terreno agricolo: impatto alto In aree di recupero industriale o in adiacenza a preesistenti corridoi tecnologici: impatto medio Su terreno agricolo abbandonato da oltre 10 anni e/o destinato a coltivazioni no food (es. tabacco) oppure in disuso da oltre 5 anni: impatto basso Integrato nell'architettura di edifici: impatto trascurabile 	11,5%

Tabella 2-7: Componente Suolo: impianti termici

Vegetazione

L'impatto relativo le tecnologie caldaia a gas a condensazione e pompa di calore è considerato trascurabile. L'unica fase critica per le pompe di calore geotermiche, che si è deciso di tralasciare, può essere considerata quella relativa l'installazione e la posa delle sonde geotermiche.

L'impatto relativo le tecnologie caldaia a biomassa e solare termico è costituito dalla perdita o frammentazione di habitat dovuto alla conversione di ecosistemi rispettivamente in colture dedicate e luogo d'installazione. Per solare termico viene inoltre valorizzata la qualità del luogo, attraverso il quesito relativo le aree protette.

2. Estensione della metodologia Eureka a impianti termici

Tecnologia	Quesiti/Informazioni	Suggerimenti	pq_i	pc_i
CG	Componente trascurabile	Impatto trascurabile		5,4%
CB	La biomassa proviene da colture dedicate ?	<ul style="list-style-type: none"> • Sì: impatto medio-alto • Sì, ma in aree abbandonate o degradate: impatto basso • No: impatto basso 	10	10%
PDC	Componente trascurabile	Impatto trascurabile		3,5%
ST	Su che tipo di terreno sarà realizzato l'impianto?	<ul style="list-style-type: none"> • Su un terreno agricolo: impatto medio • In aree di recupero industriale o in adiacenza a preesistenti corridoi tecnologici: impatto basso • Integrandolo nell'architettura di edifici: impatto trascurabile 	2	6,5%
	L'impianto sarà realizzato al suolo all'interno di aree protette?	<ul style="list-style-type: none"> • Sì, all'interno di un'area protetta di rilevanza internazionale (SIC o ZPS o RAMSAR o IBA)¹⁷: impatto alto • Sì, all'interno di un'area protetta di rilevanza nazionale: impatto medio / alto • Sì, all'interno di un'area protetta di rilevanza regionale / locale: impatto medio • No: impatto basso 	8	

Tabella 2-8: Componente Vegetazione: impianti termici

Fauna

La componente *fauna* presenta le stesse caratteristiche della precedente. L'impatto è caratterizzato dalla perdita o frammentazione di habitat e biodiversità dovuto alla conversione di ecosistemi.

Tecnologia	Quesiti/Informazioni	Suggerimenti	pc_i
CG	Componente trascurabile	Impatto trascurabile	4,5%
CB	L'impianto sarà alimentato da residui (agricoli, agroindustriali, agroforestali) oppure da colture energetiche?	<ul style="list-style-type: none"> • Residui: impatto medio-basso • Colture energetiche: impatto medio 	7,7%
PDC	Componente trascurabile	Impatto trascurabile	2,8%
ST	L'impianto sarà realizzato al suolo all'interno di aree protette?	<ul style="list-style-type: none"> • Sì, all'interno di un'area protetta di rilevanza internazionale (SIC o ZPS o RAMSAR o IBA): impatto alto • Sì, all'interno di un'area protetta di rilevanza nazionale: impatto medio / alto • Sì, all'interno di un'area protetta di rilevanza regionale / locale: impatto medio • No: impatto basso 	6%

Tabella 2-9: Componente Fauna: impianti termici

¹⁷ SIC: Sito di Importanza Comunitaria; ZPS: Zona di Protezione Speciale; RAMSAR: zona umida di importanza internazionale; IBA: Important Bird and biodiversity Area.

2. Estensione della metodologia Eureka a impianti termici

Consumo d'acqua

L'unica tecnologia alla quale s'imputa un impatto relativo il *consumo d'acqua* è la caldaia a biomassa. È valutato l'utilizzo di acqua volto all'irrigazione delle colture, sia dedicate sia non.

Si vuole sottolineare che, questa componente include esclusivamente l'acqua legata al funzionamento dell'impianto e alla produzione della fonte energetica, non l'acqua costituente l'utenza termica (acqua calda sanitaria) o il fluido termovettore negli impianti di riscaldamento.

Tecnologia	Quesiti/Informazioni	Suggerimenti	pc_i
CG	Componente trascurabile	Impatto trascurabile	5,40%
CB	L'impianto sarà alimentato da residui (agricoli, agroindustriali, agroforestali) oppure da colture energetiche?	<ul style="list-style-type: none"> Residui: impatto medio Colture che utilizzano poca acqua (cardo, robinia, miscanto): impatto medio/basso Colture dedicate: impatto alto 	6%
PDC	Componente trascurabile	Impatto trascurabile	5,60%
ST	Componente trascurabile	Impatto trascurabile	12,20%

Tabella 2-10: Componente Consumo d'acqua: impianti termici

Rumore

Tutte le tecnologie considerate hanno livelli di rumorosità, dovuti al funzionamento, trascurabili. Nonostante la presenza di parti in movimento per caldaia a biomassa, pompa di calore e solare termico (rispettivamente sistema di trasporto del combustibile dal serbatoio, compressore e pompa di circolazione del fluido termovettore) lo stato attuale delle tecnologie permette il confronto con le caldaie a gas, caratterizzate dall'assenza di organi in movimento.

Per la tecnologia caldaia a biomassa è previsto un quesito relativo l'approvvigionamento del combustibile e l'impatto che l'aumento del traffico può avere nell'area presa in considerazione.

Tecnologia	Quesiti/Informazioni	Suggerimenti	pc_i
CG	Componente trascurabile	Impatto trascurabile	8,40%
CB	E' rilevante l'aumento del traffico pesante dovuto al trasporto delle biomasse rispetto al traffico attuale dell'area d'impatto?	<ul style="list-style-type: none"> No: impatto basso Confrontabile con quello dell'area di impatto, caratterizzata prevalentemente da traffico leggero: impatto medio-basso Confrontabile con quello dell'area di impatto, caratterizzata prevalentemente da traffico pesante: impatto medio Sì, l'area è comunque caratterizzata da traffico pesante: impatto medio-alto Sì, l'area è caratterizzata prevalentemente da traffico leggero: impatto alto 	7%
PDC	Componente trascurabile	Impatto trascurabile	7,10%
ST	Componente trascurabile	Impatto trascurabile	4,10%

Tabella 2-11: Componente Rumore: impianti termici

2. Estensione della metodologia Eureka a impianti termici

Atmosfera

L'impatto relativo la componente *atmosfera* verte sulla determinazione delle emissioni inquinanti, causate dal funzionamento dei diversi impianti e dall'approvvigionamento delle fonti, che determinano un peggioramento della qualità dell'aria.

Oltre a una valutazione sull'apporto al raggiungimento dei limiti sulla qualità dell'aria nell'area d'installazione dell'impianto, si è considerato necessario includere un'analisi che confrontasse i valori delle emissioni d'inquinanti più importanti (NOx, CO e Polveri) per Nm³ di fumi di scarico. Per le tecnologie in cui non è prevista la combustione, si sono usati dei valori fittizi pari a 0 mg/Nm³.

I valori d'impatto delle diverse tecnologie non costituiscono un input richiesto all'utente, ma sono preimpostati nel modello.

Il confronto diretto tra le tecnologie è risultato necessario, per assicurarsi che l'impatto relativo l'atmosfera fosse definito anche per impianti di piccola taglia, per i quali la valutazione sul raggiungimento dei valori limite di qualità dell'aria risulterebbe priva di significato. Alle tecnologie aventi le emissioni minime e massime, sono assegnati il valore d'impatto minimo (0) e massimo (10).

I valori intermedi sono determinati attraverso la seguente formula:

$$V_{j,t} = 10 - \frac{(e_{j,max} - e_{j,t}) \times (V_{j,max} - V_{j,min})}{e_{j,max} - e_{j,min}}$$

Dove:

- e_j : emissione del j-esimo inquinante;
- V_j : valore di impatto del j-esimo inquinante.

Di seguito si propone una tabella esplicativa del confronto tra le diverse tecnologie.

Tecnologia	mg_{NOx}/Nm³	V_{NOx}	mg_{CO}/Nm³	V_{CO}	mg_{PM}/Nm³	V_{PM}
CG	24	2,67	9	1,5	0	0
CB	90	10	60	10	19	10
PDC	0	0	0	0	0	0
ST	0	0	0	0	0	0

Tabella 2-12: Confronto sulle emissioni: impianti termici

2. Estensione della metodologia Eureka a impianti termici

Tecnologia	Quesiti/Informazioni	Suggerimenti	pq_i	pc_i
CG	In che misura le emissioni dell'impianto contribuiscono al raggiungimento dei valori limite di qualità dell'aria nell'area interessata?	<ul style="list-style-type: none"> Da 0% a 20%: impatto basso Da 21% a 40%: impatto medio-basso Da 41% a 60%: impatto medio Da 61% a 80%: impatto medio-alto Da 81% a 100%: impatto alto 	5	15,9%
	Emissioni di NOx: 24 mg/Nm ³ @ 15% O ₂	Confronto con gli altri impianti: impatto medio/basso	1,667	
	Emissioni di CO: 9 mg/Nm ³ @ 15% O ₂	Confronto con gli altri impianti: impatto basso	1,667	
	Emissioni di Polveri: 0 mg/Nm ³ @ 15% O ₂	Confronto con gli altri impianti: impatto trascurabile	1,667	
CB	In che misura le emissioni dell'impianto contribuiscono al raggiungimento dei valori limite di qualità dell'aria nell'area interessata?	<ul style="list-style-type: none"> Da 0% a 20%: impatto basso Da 21% a 40%: impatto medio-basso Da 41% a 60%: impatto medio Da 61% a 80%: impatto medio-alto Da 81% a 100%: impatto alto 	2,35	12%
	Emissioni di NOx: 90 mg/Nm ³ @ 15% O ₂	Confronto con gli altri impianti: impatto alto	0,783	
	Emissioni di CO: 60 mg/Nm ³ @ 15% O ₂	Confronto con gli altri impianti: impatto alto	0,783	
	Emissioni di Polveri: 19 mg/Nm ³ @ 15% O ₂	Confronto con gli altri impianti: impatto alto	0,783	
	L'impianto sarà alimentato da una filiera corta (raccolta delle biomasse da convertire, entro un raggio di 70 km di distanza dall'impianto)?	Sì: impatto medio No: impatto alto	5,3	
PDC	Emissioni inquinanti (NOx, CO, Polveri): 0 mg/Nm ³ @ 15% O ₂	Confronto con gli altri impianti: impatto trascurabile		10%
ST	Emissioni inquinanti (NOx, CO, Polveri): 0 mg/Nm ³ @ 15% O ₂	Confronto con gli altri impianti: impatto trascurabile		13,3%

Tabella 2-13: Componente Atmosfera: impianti termici

Acque superficiali

La caldaia a biomassa è l'unica tecnologia a presentare un impatto ambientale non trascurabile, relativo le *acque superficiali*: l'impatto è costituito dall'eccessiva crescita di piante acquatiche e dall'inquinamento da pesticidi, dovuti all'esistenza delle colture energetiche. Per questo motivo il quesito verte sulla tipologia della biomassa utilizzata come combustibile.

2. Estensione della metodologia Eureka a impianti termici

Tecnologia	Quesiti/Informazioni	Suggerimenti	pc_i
CG	Componente trascurabile	Impatto trascurabile	5,7%
CB	L'impianto sarà alimentato da residui (agricoli, agroindustriali, agroforestali) oppure da colture energetiche?	<ul style="list-style-type: none"> Residui: impatto medio Colture dedicate: impatto alto 	6,3%
PDC	Componente trascurabile	Impatto trascurabile	5,9%
ST	Componente trascurabile	Impatto trascurabile	4,7%

Tabella 2-14: Componente Acque superficiali: impianti termici

Acque sotterranee

Per le tecnologie caldaia a condensazione, caldaia a biomassa e solare termico la componente è considerata trascurabile.

Nel caso degli impianti a pompa di calore geotermica è preso in considerazione il rischio di contaminazione delle falde acquifere nel caso di fuoriuscita del fluido operativo delle sonde. Si evidenzia che, in qualità di rischio e non di evento certo dovuto al funzionamento dell'impianto, l'indice di impatto massimo è ridotto a un valore medio.

Tecnologia	Quesiti/Informazioni	Suggerimenti	pc_i
CG	Componente trascurabile	Impatto trascurabile	5,10%
CB	Componente trascurabile	Impatto trascurabile	6%
PDC	Che tipologia di pompa di calore si utilizza?	<ul style="list-style-type: none"> PDC arotermica: impatto trascurabile PDC geotermica: impatto medio 	6,40%
ST	Componente trascurabile	Impatto trascurabile	3,80%

Tabella 2-15: Componente Acque sotterranee: impianti termici

Odore

La componente *odore* risulta trascurabile per tutte le tecnologie prese in esame.

Nel grafico sono riportati esclusivamente i pesi relativi della componente per le diverse tecnologie.

Tecnologia	pc_i
CG	7,7%
CB	9%
PDC	2,8%
ST	2,1%

Tabella 2-16: Componente Odore: impianti termici

2. Estensione della metodologia Eureka a impianti termici

Salute umana

La componente *salute umana* non prevede l'inserimento del valore o indice di impatto da parte dell'utente, ma delle informazioni circa gli abitanti presenti nel raggio di 4 km dal luogo di installazione dell'impianto. L'indice d'impatto relativo la componente è calcolato come riportato nel capitolo 1. Metodologia Eureka. Per semplicità, si presenta il quesito sottoposto, facendo notare che è applicato a tutte le tecnologie.

Tecnologia	Quesiti/Informazioni	Suggerimenti	pc_i
CG	Definire la classe di popolazione relativa il numero di abitanti entro 4 km dal luogo di installazione dell'impianto	• Abitanti = 0 : 0	13,7%
CB		• 0 < Abitanti < 100 : 1	10%
PDC		• 100 < Abitanti < 500 : 2 • 500 < Abitanti < 1.000 : 3	7,7%
ST		• 1.000 < Abitanti < 5.000 : 4 • 5.000 < Abitanti < 10.000 : 5 • Abitanti > 10.000 : 6	8,3%

Tabella 2-17: Componente Salute umana: impianti termici

Cambiamenti climatici

La componente *cambiamenti climatici* si basa sul confronto tra le emissioni di CO_2 equivalente per unità di calore prodotto, generate dal ciclo di vita degli impianti considerati.

Alla tecnologie avente le emissioni massime (caldaia a gas a condensazione), è assegnato l'indice d'impatto massimo (10). Per le altre tecnologie, si applica la seguente formula:

$$In_{camb\ clim,t} = \frac{e_{co2,t} \times In_{camb\ clim,max}}{e_{co2,max}}$$

Dove:

- e_{co2} : emissione di CO_2 equivalente per unità di calore prodotto;
- $In_{camb\ clim}$: indice di impatto relativo la componente cambiamenti climatici.

Di seguito si presenta una tabella esplicativa del confronto.

2. Estensione della metodologia Eureka a impianti termici

Tecnologia	$g_{CO_2,eq}/kWh_{th}$	$In_{camb\ clim}$
CG	279	10
CB	45	1,61
PDC	11,7	0,42
ST	72	2,58

Tabella 2-18: Confronto emissioni CO_{2,eq}: impianti termici

Il valore di emissioni della tecnologia pompa di calore è privato delle emissioni prodotte in fase di funzionamento dell'impianto, poiché la loro inclusione avrebbe provocato un conteggio ridondante: l'impatto dovuto all'emissione di anidride carbonica a causa dell'assorbimento di elettricità è conteggiato attraverso la componente *consumo energia elettrica*.

Come nel caso del confronto effettuato per la componente Atmosfera, gli indici di impatto relativi i cambiamenti climatici sono preimpostati dal modello. Non serve, quindi, l'input da parte dell'utente.

Tecnologia	Quesiti/Informazioni	Indicazioni	pc_i
CG	Analisi LCA: 279 gCO _{2,eq} /kWh _{th}	Confronto con altri impianti: impatto alto	15,3%
CB	Analisi LCA: 45 gCO _{2,eq} /kWh _{th}	Confronto con altri impianti: impatto basso	11,3%
PDC	Analisi LCA: 11,7 gCO _{2,eq} /kWh _{th}	Confronto con altri impianti: impatto trascurabile	9,2%
ST	Analisi LCA: 72 gCO _{2,eq} /kWh _{th}	Confronto con altri impianti: impatto medio/basso	13,5%

Tabella 2-19: Componente Cambiamenti climatici: impianti termici

Consumo energia elettrica

Per spiegazioni relative la componente *consumo energia elettrica*, si rimanda al paragrafo 2.3 Valutazioni sul consumo elettrico.

Tecnologia	Quesiti/Informazioni	Suggerimenti	pc_i
CG	Che tipologia di parco elettrico nazionale si vuole considerare?	<ul style="list-style-type: none"> Alta sostenibilità: impatto medio-basso (2,58) Media sostenibilità: impatto medio (5,59) Bassa sostenibilità: impatto medio-alto (8,6) 	0,5%
CB			0,5%
PDC			28,6%
ST			0,5%

Tabella 2-20: Componente Consumo energia elettrica: impianti termici

2. Estensione della metodologia Eureka a impianti termici

2.4.3 Indice di sostenibilità socio-istituzionale

Il modello presenta delle differenze rispetto quello per la determinazione dell'indice di sostenibilità degli impianti elettrici. Le componenti *sviluppo della rete elettrica*, *servizio di regolazione della frequenza*, *necessità di impianti tradizionali di backup* e *esigenza di bilanciamento della rete* nel caso di generazione termica perdono di significato: queste componenti sono quindi eliminate. Si sono però volute introdurre delle valutazioni per offrire all'utente un'analisi più esaustiva e che permettesse di valorizzare i punti di forza di alcune tecnologie. Questo criterio ha portato all'aggiunta di tre componenti:

- raggiungimento degli obiettivi nazionali sulle energie rinnovabili;
- possibilità di utilizzo per raffrescamento;
- sicurezza dell'utente.

Così come nel caso dell'indice di sostenibilità ambientale è stata introdotta anche la componente *consumo di energia elettrica*, rappresentante l'impatto socio-istituzionale causato dalla generazione dell'energia elettrica assorbita dalle diverse tecnologie.

Si vuole evidenziare che, seppure metodologicamente coerenti con Eureka, tutti gli indici d'impatto sono ricalcolati includendo esclusivamente le tecnologie termiche.

Fatta eccezione per la componente *consumo energia elettrica*, le componenti socio-istituzionali non prevedono l'input da parte dell'utente: si propongono quindi all'utente delle informazioni circa gli impatti determinati dall'uso delle diverse tecnologie.

Riduzione della dipendenza energetica dall'estero

La determinazione dell'indice d'impatto è eseguita sulla base della quota di produzione nazionale della fonte energetica utilizzata dalle diverse tecnologie.

Per la tecnologia pompa di calore è considerato l'impatto determinato dalla necessità di energia elettrica ai fini del funzionamento: il calcolo dell'indice d'impatto è effettuato considerando che solo il 28,6% del calore utile prodotto è dovuto al vettore energia elettrica. La quota d'importazione elettrica, utile alla produzione del calore, si riduce quindi al 4%.

Tecnologia	Informazioni	In_{dip}	pc_i
CG	Circa il 90% del gas proviene dall'estero: impatto alto	10	15,6%
CB	La biomassa è considerata al 100% da produzione nazionale: impatto trascurabile	0	16,0%
PDC	L'Energia Elettrica di importazione è il 14% del fabbisogno nazionale: impatto basso	1,46	10,4%
ST	L'energia solare è considerata al 100% produzione nazionale: impatto trascurabile	0	14,6%

Tabella 2-21: Componente Riduzione della dipendenza energetica dall'estero: impianti termici

2. Estensione della metodologia Eureka a impianti termici

Rafforzamento della sicurezza di approvvigionamento

Il calcolo dell'indice d'impatto si basa sulla valutazione dell'indice di sicurezza S relativo le fonti energetiche sfruttate dalle diverse tecnologie.

Per le tecnologie caldaia a gas, caldaia a biomassa e solare termico si utilizzano gli indici di sicurezza già calcolati in Eureka.

Per quanto riguarda l'approvvigionamento dell'energia elettrica, si considerano i dati, già presentati, del bilancio energetico nazionale. La struttura del mercato M è posta pari a 0,5 a causa della rigidità dei mercati dell'energia elettrica e della capacità di trasporto delle linee elettriche di confine. Di seguito sono riportati un grafico relativo la determinazione dell'indice HHI_{import} e una tabella riassuntiva circa il calcolo dell'indice di impatto per la componente.

Composizione dell' $HHI=0,4$:energia elettrica da importazione

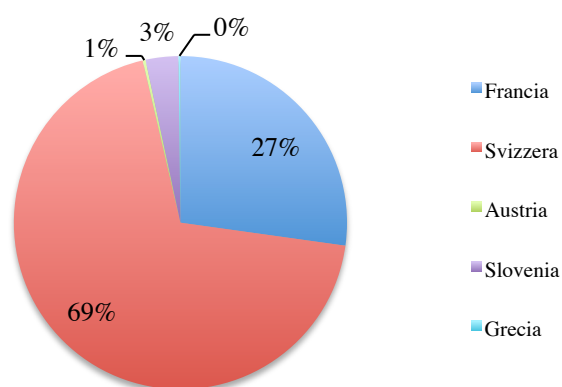


Figura 2-6: Composizione dell'indice di Herfindal-Hirschmann per l'energia elettrica di importazione

Tecnologia	P_r	Import	HHI_{import}	A	M	S	In_{app}
CG	0,11	0,89	0,69	0,72	0,5	0,36	10
CB	-	-	-	-	-	0,85	3,12
PDC	0,86	0,14	0,6	0,944	0,5	0,47	8,45
ST	1	0	-	1	-	1	1

Tabella 2-22: Calcolo dell'indice di impatto relativo il rafforzamento della sicurezza di approvvigionamento: impianti termici

2. Estensione della metodologia Eureka a impianti termici

Tecnologia	Informazioni	In_{app}	pc_i
CG	I bacini di approvvigionamento del gas sono per la maggioranza concentrati in Russia e Algeria: impatto alto	10	21,8%
CB	Il ricorso alle biomasse consente di operare una diversificazione geografica degli approvvigionamenti energetici e ridurre il rischio geopolitico spesso correlato all'importazione di materie prime: impatto medio/basso	3,12	18,0%
PDC	L'Energia Elettrica di importazione proviene da Francia, Svizzera, Austria, Slovenia, Grecia: impatto medio/alto	8,45	11,6%
ST	Il ricorso al solare consente di operare una diversificazione geografica degli approvvigionamenti energetici e ridurre il rischio geopolitico spesso correlato all'importazione di materie prime: impatto basso	1	13,4%

Tabella 2-23: Componente Rafforzamento delle sicurezza di approvvigionamento: impianti termici

Creazione di occupazione lavorativa nazionale

Escludendo gli impianti di teleriscaldamento, gli impianti per la produzioni di calore non necessitano di addetti al lavoro, fatta eccezione per le fasi di installazione e manutenzione. Questo implica l'assenza di occupati diretti.

A causa di difficoltà riscontrate nella reperibilità di dati relativi il numero di occupati indiretti per MW installato, attribuibile ad ogni tecnologia, si propone un'analisi che si basa su due parametri:

- Costo d'investimento unitario [$\text{€}/\text{kW}$];
- Numero di occupati per unità di fatturato, relativo le industrie appartenenti al settore *Beni Strumentali* [$3,74 \cdot 10^{-6}$ occupati/ €]¹⁸.

I costi d'investimento considerati sono relativi impianti di piccola taglia. Per la tecnologia Pompa di calore si è utilizzato un valore pari alla media dei costi d'investimento della tipologia aerotermica e geotermica. Per la tecnologia Solare termico si è valutato un costo d'investimento pari a $1000 \text{ €}/\text{m}^2$ e un rendimento pari a 0,7.

Tecnologia	$\text{€}/\text{kW}$	Occ/MW	O_c	In_{occ}
CG	250	0,94	0,18	10
CB	450	1,68	0,32	8,43
PDC	720	2,69	0,51	6,32
ST	1400	5,24	1	1

Tabella 2-24: Calcolo dell'indice di impatto relativo la creazione di occupazione lavorativa: impianti termici

¹⁸ Elaborazione dati: Bureau Van Dijk

2. Estensione della metodologia Eureka a impianti termici

Tecnologia	Informazioni	In_{occ}	pc_i
CG	Numero di occupati indiretti per MW installato = 0,94: impatto alto	10	13,6%
CB	Numero di occupati indiretti per MW installato = 1,68: impatto medio/alto	8,43	15,4%
PDC	Numero di occupati indiretti per MW installato = 2,69: impatto medio	6,32	10,5%
ST	Numero di occupati indiretti per MW installato = 5,23: impatto basso	1	0,0%

Tabella 2-25: Componente Aumento dell'occupazione lavorativa: impianti termici

Raggiungimento degli obiettivi nazionali sulle energie rinnovabili

La Direttiva Europea 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recepita nella legislazione italiana dal Dlgs. 28/2011, fissa obiettivi nazionali al 2020 obbligatori sulla quota totale di energia prodotta da fonti rinnovabili sul consumo finale lordo di energia. Per l'Italia la quota stabilita è pari a 17%. Attraverso questa componente si intende indagare l'apporto che ogni tecnologia mette a disposizione per il raggiungimento di tale obiettivo.

Le modalità di calcolo per la determinazione dell'energia computabile come energia da fonte rinnovabile sono stabilite dalla Direttiva Europea. L'indice d'impatto è calcolato sulla base del rapporto tra E_{RES} (energia da fonte rinnovabile) e Q_{usable} (calore utile prodotto). Al valore massimo (1) e minimo (0) sono assegnati gli indici d'impatto minimo (0) e massimo (10). Ai valori intermedi sono assegnati indici d'impatto calcolati attraverso la seguente formula:

$$In_{RES} = \frac{\left[\left(\frac{E_{RES}}{Q_{usable}} \right)_{max} - \left(\frac{E_{RES}}{Q_{usable}} \right)_t \right] \times (In_{RESmax} - In_{RESmin})}{\left(\frac{E_{RES}}{Q_{usable}} \right)_{max} - \left(\frac{E_{RES}}{Q_{usable}} \right)_{min}}$$

2. Estensione della metodologia Eureka a impianti termici

Tecnologia	Informazioni	In_{RES}	pc_i
CG	L'impianto non contribuisce attraverso l'uso di fonti rinnovabili: impatto alto	10	12,0%
CB	L'impianto contribuisce al 100% attraverso l'uso di fonti rinnovabili: impatto trascurabile	0	19,9%
PDC	L'impianto contribuisce circa al 71% attraverso l'uso di fonti rinnovabili: impatto medio/basso	2,9	13,9%
ST	L'impianto contribuisce al 100% attraverso l'uso di fonti rinnovabili: impatto trascurabile	0	23,8%

Tabella 2-26: Componente Raggiungimento obiettivi nazionali sulle energie rinnovabili: impianti termici

Possibilità di utilizzo per raffrescamento

Questa componente valorizza la qualità della pompa di calore, in quanto unica tecnologia a permettere l'utilizzo per la produzione di energia termica per raffrescamento nella stagione estiva senza l'ausilio di ulteriori componenti o macchine.

Da parte dell'utilizzatore, questa nozione si traduce nell'assenza della necessità di acquisto di due apparecchi diversi, per soddisfare il fabbisogno di due esigenze (riscaldamento e raffrescamento) distinte. In ottica più generale, invece, la possibilità di ottenere due prodotti utili dallo stesso apparecchio comporta la riduzione del consumo energetico e di materiale, dovuto alla non produzione di apparecchi aggiuntivi.

Alla tecnologia Pompa di calore è assegnato l'indice d'impatto minimo (0), alle altre un indice di impatto massimo (10).

Tecnologia	Informazioni	In_{raff}	pc_i
CG	L'impianto non consente l'utilizzo per raffrescamento: impatto alto	10	10,8%
CB	L'impianto non consente l'utilizzo per raffrescamento: impatto alto	10	10,4%
PDC	L'impianto consente l'utilizzo per raffrescamento: impatto trascurabile	0	17,7%
ST	L'impianto non consente l'utilizzo per raffrescamento: impatto alto	10	18,0%

Tabella 2-27: Componente Possibilità di utilizzo per raffrescamento: impianti termici

2. Estensione della metodologia Eureka a impianti termici

Sicurezza dell'utente

La componente *sicurezza dell'utente* prende in considerazione, in modo qualitativo, il rischio di avvenimento di un incidente, qualificabile come incendio o esplosione, associato all'utilizzo delle diverse tecnologie. Gli incidenti, specialmente in ambito domestico, possono rappresentare un fattore determinante nella scelta della tecnologia da installare.

Le maggiori cause d'incidenti dovuti agli impianti di riscaldamento sono:

- Inadeguata evacuazione dei prodotti della combustione;
- Dispersione di gas;
- Combustione incontrollata;
- Cattiva combustione.

Più del 30% degli incidenti è causato dalla presenza di un impianto di evacuazione dei prodotti della combustione non idoneo o dal mancante e/o insufficiente ricambio d'aria. Il 20% circa degli incidenti, invece, è dovuto alla carenza di manutenzione degli impianti.

La maggior parte degli incidenti ricadono nella categoria incendio. Le principali tipologie d'incendio sono:

- Incendio di fuliggine;
- Incendio esterno al camino;
- Incendio dovuto a perdite della canna fumaria;
- Incendio dovuto ad inadeguato isolamento della canna fumaria.

Sulla base di queste informazioni, si è deciso di assegnare qualitativamente degli indici d'impatto alle diverse tecnologie, valorizzando quelle che non prevedono la combustione ed assegnando alla tecnologia caldaia a gas a condensazione l'indice di impatto massimo. Si evidenzia che, in qualità di rischio e non di evento certo in dovuto al funzionamento, l'indice di impatto massimo è limitato a un impatto medio.

Tecnologia	Informazioni	In_{sic}	pc_i
CG	L'impianto prevede l'utilizzo di gas naturale come combustibile: impatto medio	5	25,7%
CB	L'impianto prevede l'utilizzo di biomassa come combustibile: impatto medio/basso	3	19,7%
PDC	L'impianto non prevede la combustione: impatto basso	1	12,9%
ST	L'impianto non prevede la combustione: impatto basso	1	14,4%

Tabella 2-28: Componente Sicurezza utente: impianti termici

2. Estensione della metodologia Eureka a impianti termici

Consumo di energia elettrica

Per spiegazioni relative la componente *consumo energia elettrica*, si rimanda al paragrafo 2.3 Valutazioni sul consumo elettrico.

Tecnologia	Quesiti	Suggerimenti	pc_i
CG	Che tipologia di parco elettrico nazionale si vuole considerare?	<ul style="list-style-type: none"> Alta sostenibilità: impatto medio-basso (4,49) Media sostenibilità: impatto medio (5,08) Bassa sostenibilità: impatto medio-alto (5,68) 	0,5%
CB			0,5%
PDC			28,6%
ST			0,5%

Tabella 2-29: Componente Consumo di energia elettrica: impianti termici

2.4.4 Indice di sostenibilità economica

Come nel caso del modello Eureka per la generazione elettrica, l'indice di sostenibilità economica è calcolato confrontando il LCOH (*Levelized Cost Of Heating*) ottenuto dall'utente con il LCOH minimo (0,015 €/kWh) e massimo (0,2 €/kWh), ottenuti aggiungendo un grado di tolleranza all'intervallo definito dall'analisi economica svolta su impianti campione.

$$IS_{eco} = 100\% - \frac{(LCOH_{min} - LCOH_t) \times (IS_{eco,max} - IS_{eco,min})}{(LCOH_{min} - LCOH_{max})}$$

Il LCOH è calcolato per mezzo della seguente formula:

$$LCOH = \frac{\sum_n \left(\frac{C_{inv} + C_{manut} + C_{comb} + C_{co2} + C_{smalt} + C_{dism}}{(1+r)^n} \right)}{\sum_n \left(\frac{E_{th,prod}}{(1+r)^n} \right)} \quad [€/kWh]$$

Di seguito si propone il modello con quesiti e suggerimenti proposti all'utente per le diverse tecnologie prese in analisi.

2. Estensione della metodologia Eureka a impianti termici

Caldia a gas a condensazione	Quesiti/Informazioni	Suggerimenti
Q_{th} : Fabbisogno termico	Qual è il fabbisogno energetico termico che vuoi soddisfare?	I suggerimenti forniti sono costituiti dalle Tabelle 2-1 e 2-2
P_n : Potenza specifica	Quale potenza scegli per il tuo impianto?	Opzioni di scelta: P _n = 32 kW (piccola taglia) P _n = 500 kW (grande taglia)
h: Ore di funzionamento	Quante sono le ore di funzionamento annuali dell'impianto?	Riscaldamento: ZONA A 600 h/anno ZONA B 850 h/anno ZONA C 1100 h/anno ZONA D 1400 h/anno ZONA E 1700 h/anno ZONA F 1800 h/anno Altro utilizzo: scelta libera
#: Numero moduli	Numero di moduli necessari a soddisfare il tuo fabbisogno energetico termico.	Calcolato: $Q_{th}/(P_n \cdot h)$
CI: Costo di investimento specifico	A quanto ammontano i costi di investimento?	P _n = 24kW : 125 €/kW P _n = 500 kW: 100 €/kW
CC: Costo del combustibile specifico	A quanto ammonta il costo specifico del combustibile?	Contratto domestico: 0,75 €/Sm ³ Contratto non domestico: 0,4 €/Sm ³
Cee: Costo dell'energia elettrica specifico	A quanto ammonta il costo specifico dell'energia elettrica?	Contratto domestico: 0,1865 €/kWh (tariffa D2) Contratto non domestico: 0,1675 €/kWh
CC_fix: Costo fisso del combustibile	A quanto ammontano i costi fissi annuali del combustibile?	Contratto domestico: 100 €/anno Contratto non domestico: 250 €/anno
PCI: Potere Calorifico Inferiore	Valore preimpostato	9,27 kWh/Sm ³
η_s: Rendimento stagionale	Rapporto tra energia termica prodotta annualmente ed energia del combustibile sfruttato.	Caldia a condensazione: 0,93
CM: Costo di manutenzione specifico	A quanto ammontano i costi di manutenzione annuale dell'impianto?	Caldia di piccola taglia: 5 €/kW Caldia di grande taglia: 4 €/kW
I_{co2}: Intensità di emissione di CO₂	Valore preimpostato	215 g _{CO2} /kWh
C_{EUA}: Costo dei permessi di emissione	L'ETS è il sistema europeo di scambio delle quote di emissione di CO ₂ ; gli EUA sono i permessi di emissione.	Costo EUA ¹⁹ : 4,88 €/ton _{CO2}
C_{dis}: Costo di dismissione specifico	A quanto ammontano i costi di dismissione a fine vita del tuo impianto?	10% del costo di investimento: Caldia piccola taglia: 12,5 €/kW Caldia grande taglia: 10 €/kW
Pe: Potenza elettrica assorbita	Valore preimpostato	Caldia piccola taglia: 100 W Caldia grande taglia: 300 W
n: Anni di vita dell'impianto	Quanti sono gli anni di vita del tuo impianto?	Il periodo dedicato all'installazione è inglobato nel primo anno di vita: 20 anni
r: Tasso di attualizzazione	Costo del denaro previsto nel periodo di funzionamento dell'impianto.	5%

Tabella 2-30: Variabili per il calcolo del LCOH per caldaia a gas a condensazione

¹⁹ Valore riferito a dicembre 2015.

2. Estensione della metodologia Eureka a impianti termici

Caldaia a biomassa	Quesiti/Informazioni	Suggerimenti
Q_{th} : Fabbisogno termico	Qual è il fabbisogno energetico termico che vuoi soddisfare?	I suggerimenti forniti sono costituiti dalle Tabelle 2-1 e 2-2
P_n : Potenza specifica	Quale potenza scegli per il tuo impianto?	Opzioni di scelta: P _n = 32 kW (piccola taglia) P _n = 500 kW (grande taglia)
h: Ore di funzionamento	Quante sono le ore di funzionamento annuali dell'impianto?	Riscaldamento: ZONA A 600 h/anno ZONA B 850 h/anno ZONA C 1100 h/anno ZONA D 1400 h/anno ZONA E 1700 h/anno ZONA F 1800 h/anno Altro utilizzo: scelta libera
#: Numero moduli	Numero di moduli necessari a soddisfare il tuo fabbisogno energetico termico.	Calcolato: Q _{th} /(P _n *h)
CI: Costo di investimento specifico	A quanto ammontano i costi di investimento?	P _n = 24kW : 450 €/kW P _n = 500 kW: 400 €/kW
CC: Costo del combustibile specifico	A quanto ammonta il costo specifico del combustibile?	Costo materia prima (trasporto compreso): -Legno vergine 115 €/ton - Legno di scarto 65 €/ton - Scarto agricolo/forestale 55 - Scarto agriindustriale 25 €/ton - Cippato 55 €/ton - Pellet 215 €/ton
Cee: Costo dell'energia elettrica specifico	A quanto ammonta il costo specifico dell'energia elettrica?	Contratto domestico: 0,1865 €/kWh (tariffa D2) Contratto non domestico: 0,1675 €/kWh
PCI: Potere Calorifico Inferiore	Valore preimpostato	Legno vergine 3712 kWh/ton Legno di scarto 3480 kWh/ton Scarto agricolo/forestale 3596 kWh/ton Scarto agriindustriale 3596 kWh/ton Cippato 3712 kWh/ton Pellet 4756 kWh/ton
η_s: Rendimento stagionale	Rapporto tra energia termica prodotta annualmente ed energia del combustibile sfruttato.	Caldaia a biomassa: Piccola taglia: 0,91 Grande taglia: 0,89
CM: Costo di manutenzione specifico	A quanto ammontano i costi di manutenzione annuale dell'impianto?	Caldaia piccola taglia: 9 €/kW Caldaia grande taglia: 20 €/kW
Csmalt: Costo di smaltimento delle ceneri specifico	A quanto ammontano i costi di smaltimento della cenere prodotta dalla combustione?	Le ceneri prodotte dalla combustione della biomassa variano a seconda del combustibile utilizzato. Si considera un valore medio del 3% sulla sostanza secca. 75 €/ton_cenere
Cdism: Costo di dismissione specifico	A quanto ammontano i costi di dismissione a fine vita del tuo impianto?	10% del costo di investimento: Caldaia piccola taglia: 45 €/kW Caldaia grande taglia: 40 €/kW
Pe: Potenza elettrica assorbita	Valore preimpostato	Caldaia piccola taglia: 100 W Caldaia grande taglia: 300 W
n: Anni di vita dell'impianto	Quanti sono gli anni di vita del tuo impianto?	Il periodo dedicato all'installazione è inglobato nel primo anno di vita: 20 anni
r: Tasso di attualizzazione	Costo del denaro previsto nel periodo di funzionamento dell'impianto.	5%

Tabella 2-31: Variabili per il calcolo del LCOH per caldaia a biomassa

2. Estensione della metodologia Eureka a impianti termici

Pompa di calore	Quesiti	Suggerimenti
Q_{th} : Fabbisogno termico	Qual è il fabbisogno energetico termico che vuoi soddisfare?	I suggerimenti forniti sono costituiti dalle Tabelle 2-1 e 2-2
P_n : Potenza specifica	Quale potenza scegli per il tuo impianto?	Opzioni di scelta: Pn= 17 kW (piccola taglia) aerotermica Pn= 17 kW (piccola taglia) geotermica Pn= 500 kW (grande taglia) aerotermica Pn=500 kW (grande taglia) geotermica
h: Ore di funzionamento	Quante sono le ore di funzionamento annuali dell'impianto?	Riscaldamento: ZONA A 600 h/anno ZONA B 850 h/anno ZONA C 1100 h/anno ZONA D 1400 h/anno ZONA E 1700 h/anno ZONA F 1800 h/anno Altro utilizzo: scelta libera
#: Numero moduli	Numero di moduli necessari a soddisfare il tuo fabbisogno energetico termico.	Calcolato $E_{th}/(P_n \cdot h)$
CI: Costo di investimento specifico	A quanto ammontano i costi di investimento?	17 kW aerotermica: 525 €/kW 17 kW geotermica: 900 €/kW 500 kW aerotermica: 500 €/kW 500 kW geotermica: 750 €/kW
Cee: Costo dell'energia elettrica specifico	A quanto ammonta il costo specifico dell'energia elettrica?	Contratto domestico: 0,17754 €/kWh (tariffa D1) Contratto non domestico: 0,1675 €/kWh
Cee_fix: Costo fisso dell'energia elettrica	A quanto ammontano i costi fissi annuali dell'energia elettrica?	Contratto domestico: 200 €/anno (tariffa D1) Contratto non domestico: 335 €/anno
SCOP: Seasonal Coefficient Of Performance	Rapporto tra l'energia utile prodotta stagionalmente e l'energia elettrica assorbita dall'impianto.	Pompa di calore aerotermica: 3,3 Pompa di calore geotermica 3,5
CM: Costo di manutenzione specifico	A quanto ammontano i costi di manutenzione annuale dell'impianto?	17 kW aerotermica: 12 €/kW 17 kW geotermica: 13 €/kW 500 kW aerotermica: 4 €/kW 500 kW geotermica: 5 €/kW
C_{dis}: Costo di dismissione specifico	A quanto ammontano i costi di dismissione a fine vita del tuo impianto?	10% del costo di investimento: PDC_aeroth piccola taglia: 5,25 €/kW PDC_geoth piccola taglia: 9 €/kW PDC_aeroth grande taglia: 5 €/kW PDC_geoth grande taglia: 7,5 €/kW
n: Anni di vita dell'impianto	Quanti sono gli anni di vita del tuo impianto?	Il periodo dedicato all'installazione è inglobato nel primo anno di vita: 20 anni
r: Tasso di attualizzazione	Costo del denaro previsto nel periodo di funzionamento dell'impianto.	5%

Tabella 2-32: Variabili per il calcolo del LCOH per pompa di calore

2. Estensione della metodologia Eureka a impianti termici

Solare termico	Quesiti	Suggerimenti
Q_{th} : Fabbisogno termico	Qual è il fabbisogno energetico termico che vuoi soddisfare?	I suggerimenti forniti sono costituiti dalle Tabelle 2-1 e 2-2: è consigliato l'utilizzo per produzione di ACS
H_β: Irraggiamento medio annuo	Qual è il valore di irraggiamento medio annuo dell'area di installazione?	NORD ITALIA: 1100 kWh/m ² anno CENTRO ITALIA: 1250 kWh/m ² anno SUD ITALIA: 1400 kWh/m ² anno
η: Rendimento	Rapporto tra energia termica prodotta ed irraggiamento	Rendimento nominale: 0,7
A_c: Superficie captante totale dei collettori installati	Estensione della superficie captante totale dei collettori. Di norma la superficie captante rappresenta l'80% della superficie totale del collettore.	Calcolato: $Q_{th}/(\eta \cdot H_{\beta})$
CI: Costo di investimento specifico	A quanto ammontano i costi di investimento?	Ac < 20 m ² : 1000 euro/m ² Ac > 20 m ² : 600 euro/m ²
Cee: Costo dell'energia elettrica specifico	A quanto ammonta il costo specifico dell'energia elettrica?	Contratto domestico: 0,1865 €/kWh Contratto non domestico: 0,1675 €/kWh
CM: Costo di manutenzione specifico	A quanto ammontano i costi di manutenzione annuale dell'impianto?	Impianto piccola taglia: 20 €/m ² Impianto grande taglia: 12 €/m ²
Cdism: Costo di dismissione specifico	A quanto ammontano i costi di dismissione a fine vita del tuo impianto?	10% del costo di investimento: Impianto piccola taglia: 100 €/m ² Impianto grande taglia: 60 €/m ²
P_pompa: Potenza della pompa di circolazione	Potenza elaborata dalla pompa del sistema di circolazione forzata.	Calcolato: 0,005 W/# o W/m ²
n: Anni di vita dell'impianto	Quanti sono gli anni di vita del tuo impianto?	Il periodo dedicato all'installazione è inglobato nel primo anno di vita: 20 anni
r: Tasso di attualizzazione	Costo del denaro previsto nel periodo di funzionamento dell'impianto.	5%

Tabella 2-33: Variabili per il calcolo del LCOH per solare termico

2.4.5 Risultati per impianti campione

Si riportano i valori degli indici di sostenibilità ambientale, socio-istituzionale, economica e globale calcolati per impianti campione, rappresentanti i casi di minima e massima sostenibilità. Sono proposti i risultati relativi sia impianti di piccola taglia sia impianti di grande taglia.

Impianti campione	IS_{amb}		$IS_{soc-ist}$		IS_{eco}		$IS_{globale}$	
	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>LCOH</i>	<i>%</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
CG 32 kW 600 h/anno	68,3%	82,6%	13,1%	13,1%	0,1187	43,9%	46%	51%
CG 32 kW 1800 h/anno	68,3%	82,6%	13,1%	13,1%	0,0985	54,9%	50%	55%
CB_pellet 32 kW 600 h/anno	41,7%	81,9%	64,8%	64,8%	0,1187	43,9%	48%	64%
CB_cippato 32 kW 1800 h/anno	41,7%	81,9%	64,8%	64,8%	0,0402	86,4%	64%	79%
PDC_geoterm ica 17 kW 600 h/anno	66,1%	87,3%	60,5%	63,9%	0,1643	19,3%	48%	57%
PDC_aeroter mica 17 kW 1800 h/anno	75,0%	92,2%	60,5%	63,9%	0,0778	66,0%	68%	76%
ST 5 m ² Nord Italia	63,8%	95,4%	77,4%	77,5%	0,1305	37,6%	58%	70%
ST 5 m ² Sud Italia	63,8%	95,4%	77,4%	77,5%	0,1028	52,5%	63%	76%
CG 500 kW 600 h/anno	68,3%	82,6%	13,1%	13,1%	0,0682	71,2%	56%	61%
CG 500 kW 5000 h/anno	68,3%	82,6%	13,1%	13,1%	0,0500	81,1%	59%	65%
CB_pellet 500 kW 600 h/anno	41,7%	81,9%	64,8%	64,8%	0,1377	33,7%	45%	60%
CB_scarto agroind 500 kW 5000 h/anno	55,6%	80,6%	64,8%	64,8%	0,0189	97,9%	68%	83%
PDC_geoterm ica 500 kW 600 h/anno	66,1%	87,3%	60,5%	63,9%	0,1347	35,3%	54%	63%
PDC_aeroter mica 500 kW 5000 h/anno	75,0%	92,2%	60,5%	63,9%	0,0580	76,8%	72%	80%
ST 50 m ² Nord Italia	63,8%	95,4%	77,4%	77,5%	0,0788	65,5%	68%	80%
ST 50 m ² Sud Italia	63,8%	95,4%	77,4%	77,5%	0,0622	74,5%	71%	83%

Tabella 2-34: Risultati per impianti termici campione

2. Estensione della metodologia Eureka a impianti termici

2.4.6 Classificazione sostenibilità

Dai risultati presentati nel paragrafo precedente, è definita la classificazione qualitativa della sostenibilità nelle cinque categorie (insufficiente, bassa, media, alta, molto alta). La classificazione è definita attraverso la metodologia già riportata per impianti di generazione elettrica.

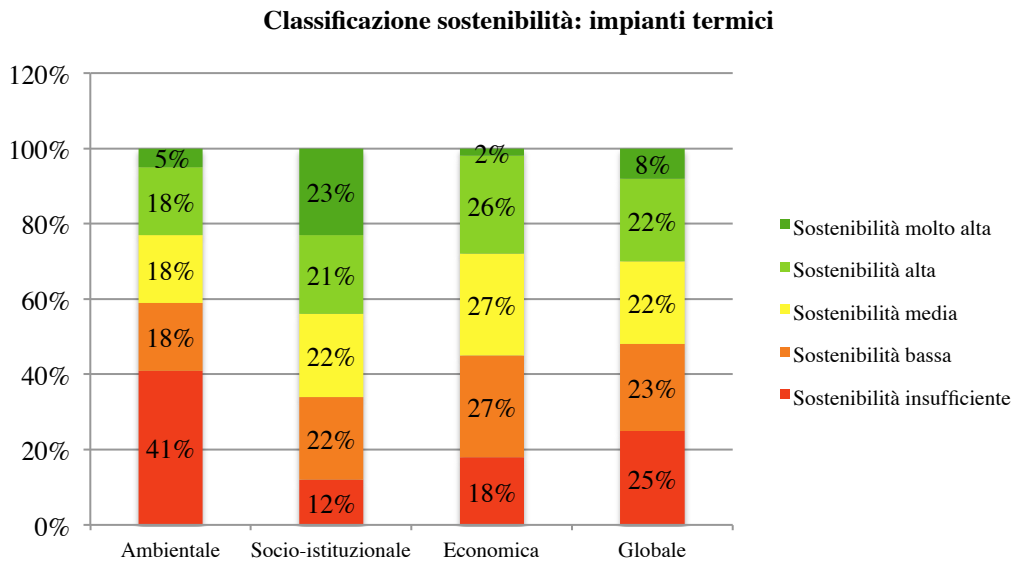


Figura 2-7: Classificazione sostenibilità: impianti termici

3. Estensione della metodologia Eureka a impianti cogenerativi

3.1 La cogenerazione

Con il termine cogenerazione s'intende la produzione combinata di energia elettrica ed energia termica a partire dalla stessa energia primaria, attraverso un processo termodinamico.

La produzione di energia elettrica in Italia è effettuata, per una quota maggiore al 60% del totale, in impianti termoelettrici, che disperdono all'ambiente energia termica a bassa temperatura e limitato valore termodinamico. La produzione di energia termica, invece, avviene, per una quota superiore al 90% dell'intera produzione nazionale, attraverso la trasformazione di fonti primarie ad alto valore termodinamico in energia termica a basso valore termodinamico, ottenuta per mezzo della combustione. L'idea alla base della cogenerazione è di sfruttare la fonte primaria, per produrre energia elettrica ad alto valore termodinamico e gli scarti del processo, che negli impianti tradizionali sono dissipati, per produrre energia termica a basso valore termodinamico, massimizzando l'energia disponibile. Quest'approccio può essere una soluzione adatta a tutte quelle utenze che hanno un fabbisogno contemporaneo di energia elettrica e calore. È applicabile sia al settore industriale sia a quello civile. Nel primo caso l'energia termica può essere veicolata per soddisfare il fabbisogno di calore di processo, tipicamente ad alta temperatura e pressione, e il fabbisogno di calore per riscaldamento, tipicamente a bassa temperatura. Nel secondo caso, invece, l'utenza è caratteristicamente costituita da calore per riscaldamento a bassa temperatura. La variabilità dei carichi termici può indurre alla necessità di aggregazione della domanda, risultando nella costituzione di reti di teleriscaldamento (*TLR*). Le utenze aventi carichi costanti nell'arco dell'anno sono le più adatte a essere servite da un impianto cogenerativo, ad esempio:

- Ospedali;
- Case di cura;
- Piscine;
- Centri sportivi;
- Centri commerciali;
- Industrie alimentari;
- Cartiere;
- Industrie per la raffinazione del petrolio;
- Industrie chimiche.

3. Estensione della metodologia Eureka a impianti cogenerativi

La situazione italiana²⁰ circa la cogenerazione può essere illustrata dal seguente grafico:

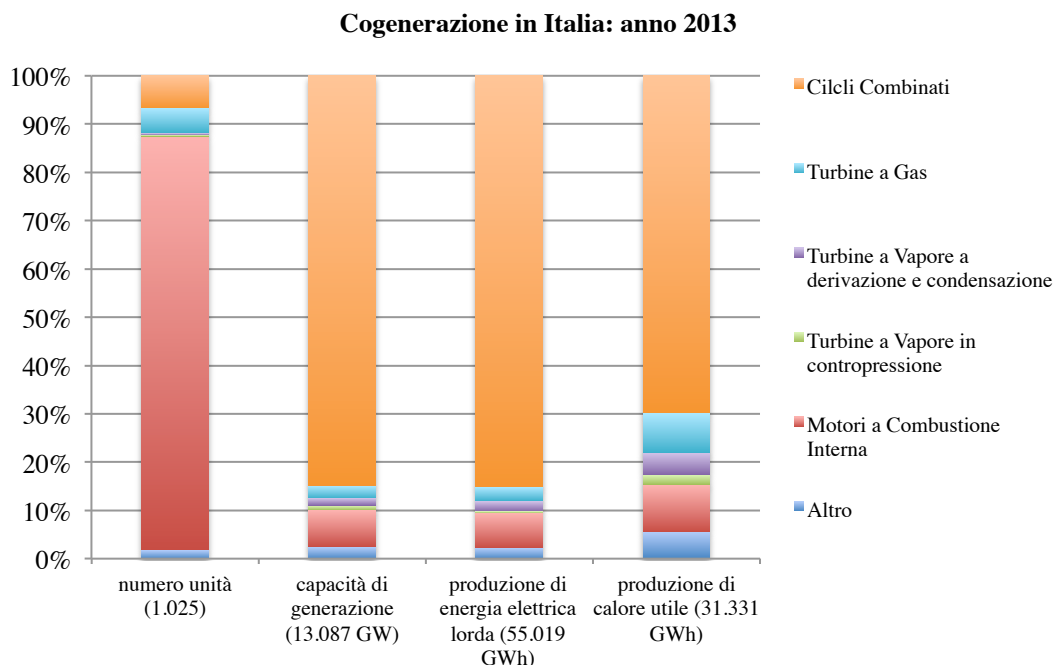


Figura 3-1: Cogenerazione in Italia: anno 2013

Alla voce “Altro” fanno riferimento gli impianti costituiti da microturbine, motori Stirling, pile a combustibile, motori a vapore, cicli Rankine a fluido organico e qualsiasi altra tecnologia operante in assetto cogenerativo. Dal grafico si può osservare che la tecnologia più diffusa (*numero unità*) è costituita da motori a combustione interna (85%), seguiti da cicli combinati (7%) e turbine a gas (5%). Per quanto riguarda la capacità di generazione, la produzione di energia elettrica e la produzione di calore utile, si nota che la quota maggiore è occupata da impianti combinati, seguiti da motori a combustione interna. Questo andamento trova ragione nella taglia classica degli impianti: laddove la capacità media di degli impianti a ciclo combinato, al 2013 installati, è di 163 MW, quella relativa la categoria motori a combustione interna è 1 MW. Per le altre tecnologie, la taglia media, degli impianti installati, varia da 5 a 50 MW.

Affinché l’energia elettrica prodotta dall’impianto possa essere considerata cogenerativa, il rendimento globale η_g (somma del rendimento elettrico e termico) dell’impianto deve essere superiore a dei valori di soglia, caratteristici delle diverse tecnologie:

- $\eta_{g,limite} = 0,80$: cicli combinati, turbine a vapore a derivazione e condensazione;
- $\eta_{g,limite} = 0,75$: ogni altro tipo di tecnologia.

Nel caso in cui il rendimento globale dell’impianto fosse inferiore al valore di soglia la contabilizzazione dell’energia elettrica cogenerativa avviene attraverso la suddivisione virtuale

²⁰ Fonte dati: GSE

dell'impianto in due sezioni: una operante in assetto cogenerativo ed una operante in assetto tradizionale.

3.1.1 CAR: Cogenerazione ad alto rendimento

All'interno della denominazione CAR (Cogenerazione ad Alto Rendimento) rientrano tutti quegli impianti che rispettano i caratteri dell'Allegato II della Direttiva 2012/27/UE:

- <<La produzione mediante cogenerazione delle unità di cogenerazione fornisce risparmi di energia primaria [...] pari ad almeno il 10 % rispetto ai valori di riferimento per la produzione separata di energia elettrica e calore>>;
- << La produzione mediante unità di piccola cogenerazione e di micro-cogenerazione che forniscono un risparmio di energia primaria può essere definita cogenerazione ad alto rendimento>>.

Il risparmio di energia primaria (*PES:Primary Energy Saving*) è definito dalla formula:

$$PES = \left(1 - \frac{1}{\frac{CHPH_{\eta}}{RefH_{\eta}} + \frac{CHPE_{\eta}}{RefE_{\eta}}} \right) \times 100\%$$

Dove:

- $CHPH_{\eta}$: rendimento termico della produzione mediante cogenerazione, definito annualmente come rapporto tra energia termica prodotta da cogenerazione e l'energia del combustibile utilizzato;
- $RefH_{\eta}$: valore di riferimento per la produzione separata di calore;
- $CHPE_{\eta}$: rendimento elettrico della produzione mediante cogenerazione, definito annualmente come rapporto tra energia elettrica prodotta da cogenerazione e l'energia del combustibile utilizzato;
- $RefE_{\eta}$: valore di riferimento per la produzione separata di energia elettrica.

Le unità, riceventi il riconoscimento CAR, possono vantare alcuni benefici:

- accesso al sistema dei TTE (*Titoli di Efficienza Energetica*);
- accesso al regime di sostegno mediante CB (*Certificati Bianchi*)
- precedenza nel dispacciamento dell'energia elettrica prodotta, rispetto gli impianti tradizionali;
- agevolazioni fiscali sull'accisa del gas metano;
- possibilità di accesso al servizio di scambio sul posto;
- possibilità di applicare condizioni tecnico-economiche semplificate per la connessione alla rete elettrica.

Di seguito, si riportano i valori statistici circa la produzione di energia elettrica riconosciuta ad alto rendimento in Italia.

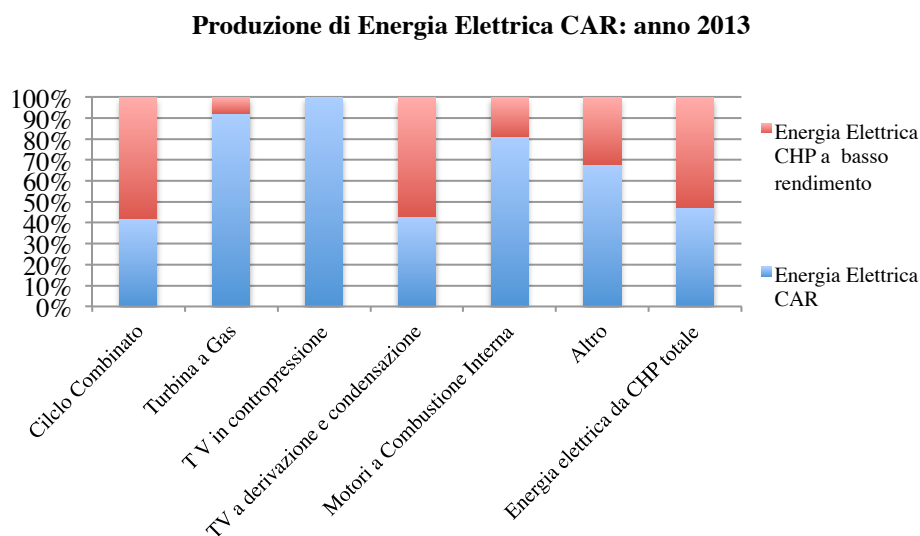


Figura 3-2: Produzione di Energia Elettrica CAR: anno 2013

3.2 Tecnologie considerate

La scelta delle tecnologie costituenti l'analisi è stata effettuata nel tentativo di presentare una buona diversificazione delle fonti energetiche e delle taglie dei singoli moduli disponibili, così come di integrare valutazioni su tecnologie largamente diffuse nello scenario cogenerativo italiano (motori a combustione interna e cicli combinati), tecnologie meno diffuse ma di grande interesse (microturbine e cicli Rankine organici alimentati a biomassa) e tecnologie attualmente in fase prototipale (cicli Rankine organici alimentati da campo solare).

3.2.1 Motore a combustione interna

I motori a combustione interna (MCI) sono apparecchi che lavorano in assetto stazionario seguendo gli stessi principi delle loro controparti utilizzate per il trasporto. Ad oggi, rappresentano la tecnologia più diffusa e consolidata nell'ambito cogenerativo, specialmente per quanto riguarda gli impianti di piccola taglia (dalle decine di kW alle decine di MW elettrici).

Per impianti cogenerativi sono tipicamente usati motori a ciclo Otto (ad accensione comandata) a 4 tempi, alimentati a gas naturale. La produzione di energia elettrica avviene per mezzo della conversione meccanica-elettrica, da parte dell'alternatore, dell'energia meccanica, sotto forma di moto di rotazione dell'albero motore.

Un grande vantaggio dei MCI è costituito dalla bassa variabilità del rendimento elettrico al variare delle condizioni di funzionamento della macchina.

Il recupero termico è disponibile dai fumi di scarico del motore ad alta temperatura (400 °C) e dal sistema di raffreddamento della macchina, operato da aria (se si opera con sovralimentazione) nell'intercooler, olio ed acqua motore, rispettivamente disponibili alle temperature di 70, 80 e 100 °C.

3. Estensione della metodologia Eureka a impianti cogenerativi

Il recupero del calore non comporta differenze prestazionali nel ciclo termodinamico del motore, in quanto il sistema di raffreddamento è una sezione della macchina necessaria al funzionamento del motore: se non recuperato, il calore disponibile è dissipato all'ambiente.

La possibilità di generare energia termica a due livelli di temperatura, uno corrispondente al circuito aria-olio-acqua e uno corrispondente al recupero dai fumi di scarico, rende questa tecnologia particolarmente interessante in ambito industriale, dove parte del recupero termico può essere dedicato al calore di processo e parte al riscaldamento degli ambienti.

Il grande svantaggio della tecnologia MCI è costituito dalle alte emissioni d'inquinanti (NO_x e CO), dovute alla combustione non stazionaria del gas naturale.

In questo lavoro è proposto il modello per il calcolo dell'indice di sostenibilità relativo motori a combustione interna di taglia *100 kW_{el}*.

3.2.2 Microturbina

Con il termine microturbine s'intende un sistema di generazione di energia elettrica e calore di piccola taglia, generalmente inferiore a 250 MW_{el}.

Le microturbine differiscono dalle tradizionali turbine a gas sia per le caratteristiche costruttive sia per il ciclo termodinamico con cui operano. La principale differenza costruttiva risiede nell'utilizzo di compressori e turbine monostadio centrifughi anziché pluristadio assiali. Per quanto riguarda il ciclo termodinamico, il rapporto di compressione relativo il compressore è inferiore rispetto a quello rilevabile nelle tradizionali turbine a gas. Inoltre, è necessario prevedere una sezione di rigenerazione, che opera uno scambio termico tra i fumi della combustione e l'aria comburente, prima dell'ingresso dell'aria in camera di combustione; l'assenza della sezione rigenerativa comporterebbe un rendimento elettrico eccessivamente basso (inferiore a 0,2), risultando in una scarsa competitività della macchina rispetto altre tecnologie.

A causa della compattezza della macchina è necessario, avere un'elevata velocità di rotazione della turbina (70.000-130.000 giri/minuto) che rende impossibile l'accoppiamento della turbomacchina con un convertitore meccanico per la produzione di energia elettrica. Per questo motivo si genera ad alta frequenza interponendo un convertitore statico e un inverter tra il generatore e la rete (o il carico elettrico). La generazione a frequenza non fissa permette di gestire la modulazione del carico in modo efficiente, evitando grandi variabilità sul rendimento elettrico della macchina allo scostarsi dalle condizioni di progetto.

Il recupero termico avviene attraverso lo scambio di calore tra un fluido termovettore, tipicamente acqua, e i fumi di combustione, disponibili, dopo la sezione di rigenerazione, a 250-300°C. La temperatura dei fumi rende questa tecnologia particolarmente adatta a utenze termiche a 60-80°C, come quelle nel settore civile (residenziale e servizi).

In questo lavoro è proposto il modello per il calcolo dell'indice di sostenibilità relativo microturbine di taglia *200 kW_e*.

3. Estensione della metodologia Eureka a impianti cogenerativi

3.2.3 Impianto Combinato Cogenerativo

Gli impianti combinati rappresentano la tecnologia ad alta potenza più diffusa per quanto riguarda la cogenerazione.

Sono costituiti da un ciclo termodinamico principale, operante nel turbogas e un ciclo subordinato Rankine a vapore. Il vapore è prodotto in una caldaia a recupero (HRSG: Heat Recovery Steam Generator) in cui, tipicamente, i fumi della combustione del turbogas cedono calore ad acqua su tre livelli di pressione e temperatura differenti. Questo permette di effettuare il miglior accoppiamento termico tra i fumi, disponibili a 600 °C circa e il fluido operativo del ciclo sottoposto. La generazione elettrica totale è attribuibile per due terzi al turbogas e un terzo al ciclo a vapore. Le quote possono variare in base alla modalità di generazione dell'energia termica. In impianti combinati in contropressione, la generazione di calore è dovuta all'invio dell'intera portata di vapore uscente dalla turbina di bassa pressione all'utenza termica che, attraverso scambiatori di calore, ne effettua la condensazione. Le differenze nelle quote di potenza attribuibili al turbogas e al ciclo Rankine possono nascere dal grado di espansione che si effettua nella turbina di bassa pressione: più il vapore è espanso, più energia elettrica è generata e più bassa è la temperatura del vapore in uscita dalla turbina. Nel caso d'impianti funzionanti con derivazione e condensazione, invece, parte della portata di vapore non subisce l'espansione nella turbina di bassa pressione, non producendo energia elettrica, ma viene inviata all'utenza termica. La restante parte di vapore è inviata alla turbina di bassa pressione e, successivamente, al condensatore.

Il rendimento elettrico risulta maggiore per impianti a derivazione e condensazione, in quanto le ultime fasi dell'espansione nella turbina di bassa pressione sono le più efficienti. Gli impianti a contropressione possono vantare un rendimento di primo principio più elevato a causa dell'assenza della sezione di condensazione, che rappresenta una dissipazione termica evitata).

In questo lavoro è proposto il modello per il calcolo dell'indice di sostenibilità relativo cicli combinati in assetto cogenerativo di taglia *50 MW_{el}*.

3.2.4 Ciclo Rankine organico abbinato a caldaia a biomassa

I cicli Rankine organici (ORC: Organic Rankine Cycle) sono dei cicli termodinamici operati da parte di un fluido organico ad alto peso molecolare.

Nel ciclo Rankine il fluido motore subisce cinque trasformazioni: evaporazione, espansione, rigenerazione, condensazione e pompaggio. L'utilizzo di fluidi organici permette l'alimentazione della fase di evaporazione da calore a bassa temperatura (100-300 °C), ottenibile da diverse fonti termiche, come la combustione della biomassa, il solare termico, la geotermia o il recupero da processi industriali pesanti. L'uso di fluidi organici garantisce dei vantaggi aggiuntivi: scarsa usura delle pale della turbina, a causa dell'assenza di umidità agli ugelli, alto rendimento isoentropico della turbina, dovuto alla permanenza dello stato di vapore del fluido a fine espansione, bassa velocità di rotazione della turbina, dovuta all'alto peso molecolare del fluido, e conseguente possibilità di accoppiamento diretto al generatore elettrico senza l'interposizione di un riduttore di giri. Di contro, i

fluidi organici tendono a congelare a basse temperature, si decompongono ad alte temperature, e soprattutto sono infiammabili: questo comporta la necessità di avere una pressione di condensazione relativamente alta, per evitare problemi sulle tenute e conseguenti infiltrazioni di aria ambiente, andando a penalizzare le possibilità di espansione in turbina.

Gli ORC sono classificabili come cicli sottoposti: se si vuole esprimere il rendimento (elettrico, termico o globale) dell'impianto riferito all'energia primaria sfruttata è necessario considerare anche le perdite che intervengono nella produzione del calore di alimentazione.

Gli ORC sono impianti a bassa potenza (200 kWe – 3MWe) che, a causa del basso rendimento elettrico, risultano competitivi esclusivamente se funzionanti in assetto cogenerativo. La generazione dell'energia termica avviene attraverso lo scambio di calore tra fluido motore e acqua nel condensatore. Questo permette la produzione di acqua calda a bassa temperatura (60-90 °C), adatta, ad esempio, a utenze civili.

L'accoppiamento dell'ORC con caldaia a biomassa avviene, tipicamente, attraverso l'interposizione tra caldaia ed evaporatore di un circuito a olio diatermico o, più raramente, ad acqua surriscaldata o vapore saturo.

L'efficienza della trasformazione dell'energia primaria della biomassa in energia d'input all'impianto ORC è stimabile a 0,8-0,85, a seconda delle caratteristiche del circuito interposto.

Tipicamente la combustione di biomassa è in grado di sostenere il riscaldamento dell'olio diatermico fino a 300°C. I sistemi più avanzati propongono lo split del circuito diatermico su due livelli di temperatura, uno a 300 °C e uno a 200 °C, che operano lo scambio termico col fluido organico rispettivamente prima e dopo la sezione di rigenerazione.

In questo lavoro è proposto il modello per il calcolo dell'indice di sostenibilità relativo impianti ORC abbinati a caldaia a biomassa di taglia *1 MWel*.

3.2.5 Ciclo Rankine organico abbinato a impianto solare termico

Le considerazioni, circa i cicli Rankine organici adatti alla tipologia d'impianto presentata in questa sezione, sono le stesse riguardanti gli ORC precedentemente descritti. Si cerca quindi, in questo paragrafo, di presentare la tecnologia costituente un impianto solare termico e il relativo abbinamento al ciclo sottoposto ORC.

La classificazione circa le tecnologie per la conversione dell'energia solare in energia termica può essere effettuata basandosi sulla temperatura raggiunta dal fluido termovettore:

- Tecnologie a bassa temperatura²¹: fino a 80°C;
- Tecnologie a media temperatura: 80-250 °C;
- Tecnologie ad alta temperatura: oltre 250°C.

Le tecnologie a media ed alta temperatura (di interesse per l'abbinamento a impianti ORC) sono costituite da concentratori solari, ossia sistemi di specchi che riflettono la radiazione solare in una

²¹ Le tecnologie a bassa temperatura non sono discusse in questo paragrafo, in quanto già presentate al paragrafo "2.2.3 Solare termico".

3. Estensione della metodologia Eureka a impianti cogenerativi

piccola area di concentrazione. I sistemi solari a concentrazione presentano numerose differenze rispetto i collettori solari a bassa temperatura:

- sfruttano principalmente la radiazione solare diretta, concentrando solo una minima parte della radiazione diffusa;
- è richiesta maggiore manutenzione a causa della perdita di efficienza dovuta alla sporcizia accumulata sulla superficie degli specchi;
- subiscono minori perdite termiche, grazie alla limitata superficie di scambio del ricevitore con l'ambiente;
- a parità di superficie irraggiata il costo è inferiore a causa della maggior semplicità costruttiva;
- necessitano di un sistema di inseguimento solare.

I sistemi d'inseguimento sono costituiti da meccanismi che permettono il movimento dei collettori su uno o due assi, al fine di adattare la posizione del collettore alla posizione virtuale del sole nella volta celeste. Gli inseguitori a due assi sono un grado di trovare una corrispondenza relativamente sia l'altezza solare sia l'azimut del sole. I sistemi d'inseguimento a un asse più utilizzati sono quelli paralleli all'asse nord-sud o all'asse est-ovest. La scelta del sistema d'inseguimento dipende dalla tipologia di concentratore su cui deve essere installato e dalle necessità dell'impianto. L'utilizzo dell'inseguimento a asse nord-sud garantisce basse perdite nelle ore iniziali e finali del giorno ma alte perdite nelle ore centrali della giornata, così come un'alta produzione di energia estiva contrapposta a una bassa produzione invernale. L'assetto relativo un inseguimento ad asse est-ovest permette di ottenere annualmente meno energia termica ma più uniformemente distribuita durante l'anno. L'uso di sistemi a inseguimento a due assi massimizza l'energia termica trasferibile.

Di seguito si elencano le tecnologie di concentratori solari esistenti:

- collettori CPC (Compound Parabolic Collectors);
- concentratori lineari Fresnel;
- concentratori parabolici a disco;
- concentratori eliostazionari;
- collettori parabolici lineari (PTC: Parabolic Through Collector).

In questo lavoro si è scelto di concentrare l'analisi sull'ultima tipologia di concentratori.

I collettori parabolici lineari sono dei dispositivi formati da materiale riflettente a forma parabolica, costituente il ricevitore, nel cui punto focale è posizionato il tubo assorbitore composto da metallo nero, protetto da un tubo di vetro. Alcuni modelli prevedono il mantenimento del vuoto spinto tra il tubo costituito da materiale assorbente selettivo e il tubo di vetro per minimizzare le perdite convettive con l'ambiente. La radiazione solare, "entrante" nell'area di apertura della superficie parabolica, viene riflessa dal ricevitore all'assorbitore e convertita in energia termica ceduta al fluido termovettore che scorre all'interno dell'assorbitore. Tipicamente, il fluido termovettore è costituito da

olio diatermico che può operare a temperatura tra i 50 e i 400°C e prestarsi a costituire, inoltre, un accumulo termico.

Confrontando il range di temperatura di funzionamento dei PTC e quello dell'input necessario agli impianti ORC si può verificare la possibilità di abbinamento dei due impianti.

È bene sottolineare che al fine di rendere l'impianto complessivo competitivo è necessario l'interposizione tra la sezione solare e la sezione ORC di un sistema di accumulo termico che permetta l'utilizzo della fonte solare meno vincolato dalla disponibilità istantanea di radiazione solare.

Il rendimento della conversione da energia solare a energia d'input dell'impianto ORC è stimata pari a 0,6.

In questo lavoro è proposto il modello per il calcolo dell'indice di sostenibilità relativo impianti ORC abbinati a impianto solare PTC di taglia *1 MW_{el}*.

3.3 Indice di sostenibilità per impianti cogenerativi

La struttura dell'indice di sostenibilità per impianti cogenerativi è mantenuta analoga a quello per impianti di generazione elettrica:

- Sostenibilità ambientale: 39%;
- Sostenibilità socio-istituzionale: 25%;
- Sostenibilità economica: 36%.

La metodologia di calcolo relativa gli indici ambientale e socio-istituzionale è invariata rispetto l'approccio Eureka: gli indici di sostenibilità, espressi in termini percentuali e poi tradotti in classificazioni qualitative, sono determinati dalla conoscenza degli indici d'impatto e i pesi relativi delle componenti. Per quanto riguarda l'indice di sostenibilità economico, invece, il calcolo si basa sulla determinazione del LCOE, nel quale l'energia elettrica e termica prodotte sono valutate in termini exergetici, ossia facendo riferimento al valore termodinamico delle stesse.

3.3.1 Pesi relativi delle componenti

I pesi relativi delle componenti sono determinati dall'analisi dei questionari, già citati nel *paragrafo 2.4.1. Pesi relativi delle componenti*. Come per le tecnologie termiche, i pesi sono il risultato della media dei pesi relativi di ogni questionario. I risultati sono esposti nei grafici che seguono.

3. Estensione della metodologia Eureka a impianti cogenerativi

Impatto ambientale: risultati questionari sul peso relativo delle componenti

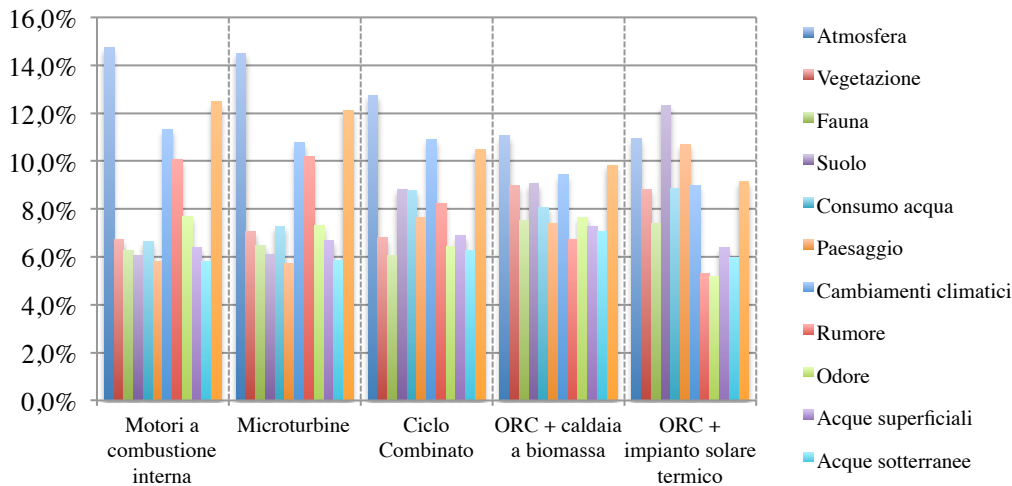


Figura 3-3: Impatto ambientale: risultati questionari sul peso relativo delle componenti

Impatto socio-istituzionale: risultati questionari sul peso relativo delle componenti

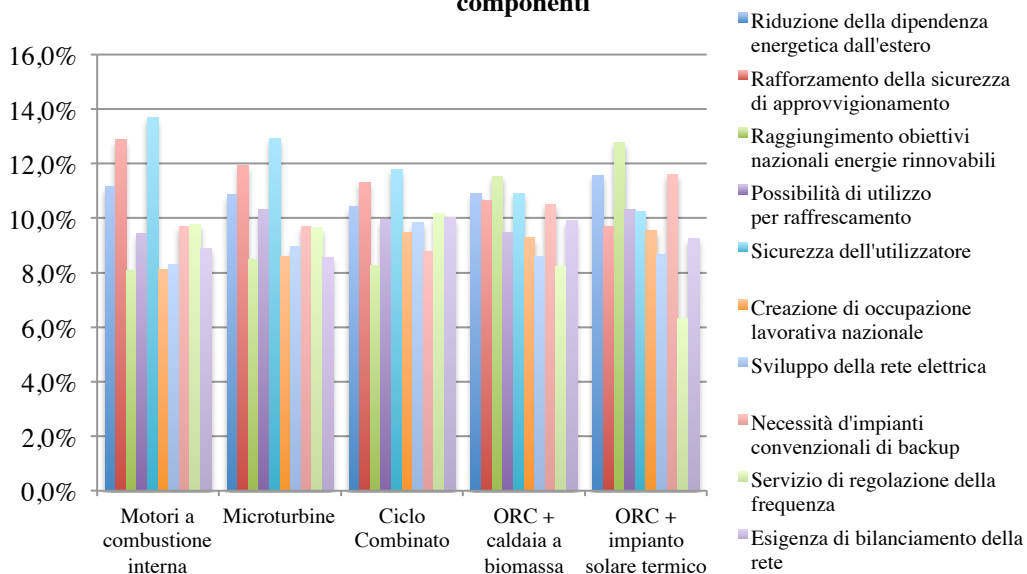


Figura 3-4: Impatto socio-istituzionale: risultati questionari sul peso relativo delle componenti

A differenza del caso termico, i risultati dei questionari sono stati applicati come pesi relativi senza ulteriori elaborazioni dei dati, a causa dell'assenza della componente Consumo di energia elettrica con peso relativo prefissato.

3.3.2 Indice di sostenibilità ambientale

Le valutazioni sulla sostenibilità ambientale degli impianti cogenerativi fanno riferimento alle stesse componenti considerate per impianti di generazione elettrica.

Il modello si differenzia da quello relativo agli impianti termici per l'assenza della componente Consumo di energia elettrica: si presuppone, infatti, che l'energia elettrica necessaria al funzionamento dell'impianto faccia parte della quota di autoconsumo dell'impianto stesso.

In seguito s'illustra la struttura del modello per le diverse componenti e tecnologie considerate.

Paesaggio

L'indagine sull'alterazione del *paesaggio* dovuta agli impianti è effettuata per mezzo di quesiti riguardanti le qualità sceniche dell'area d'installazione e la qualificazione d'uso della zona.

Per quanto riguarda la tecnologia ORC con impianto solare termico i quesiti posti all'utente sono più specifici rispetto alle altre tecnologie a causa dell'estensione maggiore dell'impianto.

Quesiti	Suggerimenti	MCI	MTG	CC	ORC+BIOM	ORC+ST
		pq_j	pq_j	pq_j	pq_j	pq_j
L'impianto sorgerà in aree destinate alla riqualificazione?	<ul style="list-style-type: none"> • Sì: impatto medio • No: impatto alto 	5	5	5	--	--
L'impianto si trova in corrispondenza di elementi strutturali del paesaggio a valore storico, culturale, ambientale o paesaggistico?	<ul style="list-style-type: none"> • Sì: impatto alto • No: impatto medio 	5	5	5	5,9	--
L'impianto sarà realizzato in aree industrializzate?	<ul style="list-style-type: none"> • Sì: impatto basso • No: impatto medio-alto 	--	--	--	4,1	--
L'impianto è visibile da punti importanti o da strade ad alta affluenza?	<ul style="list-style-type: none"> • Sì: impatto medio – alto • No: impatto medio 	--	--	--	--	1
L'impianto è realizzato su un terreno pianeggiante ed è percepibile a una distanza superiore a 200 m?	<ul style="list-style-type: none"> • Sì: impatto medio • No: impatto basso 	--	--	--	--	2
Dove sarà realizzato l'impianto?	<ul style="list-style-type: none"> • Su un terreno agricolo: impatto medio – alto • In aree di recupero industriale o in adiacenza a preesistenti corridoi tecnologici: impatto medio 	--	--	--	--	7
pc_i		5,8%	5,7%	7,6%	7,4%	10,7%

Tabella 3-1: Componente Paesaggio: impianti cogenerativi

3. Estensione della metodologia Eureka a impianti cogenerativi

Suolo

Per motori a combustione interna, microturbine e cicli combinati, la determinazione dell'impatto relativo la componente *suolo* verte esclusivamente sulla qualità dell'area d'installazione, indipendentemente dalle dimensioni dell'impianto.

Nel caso della tecnologia ORC alimentata da caldaia a biomassa è considerato anche l'impatto originato dalla presenza o meno di aree dedicate alle colture energetiche. Si valuta infatti l'impossibilità di utilizzare le aree occupate per attività alternative.

Lo stesso approccio è usato anche per la determinazione dell'impatto causato da ORC con impianto solare termico: l'impatto maggiore si ha nel caso in cui l'impianto sia installato in aree precedentemente dedicate all'agricoltura.

Quesiti	Suggerimenti	MCI	MTG	CC	ORC+BIOM	ORC+ST
		pq_j	pq_j	pq_j	pq_j	pq_j
L'impianto sarà realizzato in aree verdi?	<ul style="list-style-type: none"> • Sì: impatto alto • No: impatto medio-alto 	10	10	10	3	--
La biomassa proviene da colture dedicate ?	<ul style="list-style-type: none"> • Sì: impatto medio • Sì, ma in aree abbandonate o degradate: impatto basso • No: impatto basso 	--	--	--	7	--
Dove sarà realizzato l'impianto?	<ul style="list-style-type: none"> • Su un terreno agricolo: impatto alto • In aree di recupero industriale o in adiacenza a preesistenti corridoi tecnologici: impatto medio • Su terreno agricolo abbandonato da oltre 10 anni e/o destinato a coltivazioni no food (es tabacco) oppure in disuso da oltre 5 anni: impatto basso 	--	--	--	--	10
pc_i		6,1%	6,1%	8,8%	9,1%	12,3%

Tabella 3-2: Componente Suolo: impianti cogenerativi

Vegetazione

L'impatto ambientale relativo alla *vegetazione* è costituito dalla perdita di habitat naturale a causa della conversione dei terreni e delle emissioni degli impianti.

Per tutte le tecnologie è considerata la vicinanza ad aree protette, presupponendo una maggior vulnerabilità rispetto ad altre aree (residenziali, industriali, commerciali, urbanizzate, etc.).

Per le tecnologie ORC, rispettivamente a biomassa e solare termico, i quesiti vertono anche sulla qualità dell'area destinata alle colture dedicate, se presenti, e all'installazione dell'impianto.

3. Estensione della metodologia Eureka a impianti cogenerativi

Quesiti	Suggerimenti	MCI	MTG	CC	ORC+BIOM	ORC+ST
		pq_j	pq_j	pq_j	pq_j	pq_j
L'impianto sarà realizzato in prossimità di aree protette?	<ul style="list-style-type: none"> • Sì, in prossimità di un'area protetta di rilevanza internazionale (SIC o ZPS o RAMSAR o IBA): impatto alto • Sì, in prossimità di un'area protetta di rilevanza nazionale: impatto medio / alto • Sì, in prossimità di un'area protetta di rilevanza regionale / locale: impatto medio • No: impatto basso 	10	10	10	3,65	2
La biomassa proviene da colture dedicate ?	<ul style="list-style-type: none"> • Sì: impatto alto • Sì, ma in aree abbandonate o degradate: impatto basso • No: impatto basso 	--	--	--	6,35	--
Su che tipo di terreno sarà realizzato l'impianto?	<ul style="list-style-type: none"> • Su un terreno agricolo: impatto medio • In aree di recupero industriale o in adiacenza a preesistenti corridoi tecnologici: impatto basso 	--	--	--	--	8
pc_i		6,7%	7,0%	6,8%	9,0%	8,8%

Tabella 3-3: Componente Vegetazione: impianti cogenerativi

Fauna

L'impatto relativo la componente *fauna* si manifesta nella perdita di habitat e biodiversità conseguente l'occupazione del suolo, le emissioni inquinanti e la generazione di rumore da parte degli impianti.

I quesiti posti all'utente si basano sugli stessi principi di quelli esposti per la componente vegetazione.

3. Estensione della metodologia Eureka a impianti cogenerativi

Quesiti	Suggerimenti	MCI	MTG	CC	ORC+BIOM	ORC+ST
		pq_j	pq_j	pq_j	pq_j	pq_j
L'impianto sarà realizzato in prossimità di aree protette?	<ul style="list-style-type: none"> • Sì, in prossimità di un'area protetta di rilevanza internazionale (SIC o ZPS o RAMSAR o IBA): impatto alto • Sì, in prossimità di un'area protetta di rilevanza nazionale: impatto medio / alto • Sì, in prossimità di un'area protetta di rilevanza regionale / locale: impatto medio • No: impatto basso 	10	10	10	4,2	10
L'impianto sarà alimentato da residui (agricoli, agroindustriali, agroforestali) oppure da colture energetiche?	<ul style="list-style-type: none"> • Residui: impatto medio • Colture dedicate: impatto alto 	--	--	--	5,8	--
pc_i		6,2%	6,5%	6,1%	7,5%	7,4%

Tabella 3-4: Componente Fauna: impianti cogenerativi

Consumo d'acqua

Nel caso d'impianti per la generazione elettrica che prevedono la combustione, la componente *consumo d'acqua* rappresenta una categoria d'impatto che può incidere fortemente nella determinazione dell'indice di impatto ambientale. Questo trova ragione nel fatto che il consumo d'acqua sia dovuto al sistema di raffreddamento degli impianti e, più in dettaglio, alla fase di condensazione. Basandosi sul presupposto che, per impianti cogenerativi, il sistema di raffreddamento dell'impianto e/o la fase di condensazione rappresentano la possibilità di generazione di energia termica, si può considerare tale componente trascurabile.

L'unica tecnologia che prevede un quesito riguardante il funzionamento dell'impianto è il ciclo combinato a derivazione e condensazione: per questa tipologia d'impianti il vapore in uscita dalla turbina di bassa pressione è condensato all'interno del ciclo e non in sede di utenza termica. Il valore d'impatto suggerito risulta contenuto perché confrontato con quelli proposti per la generazione elettrica in cicli combinati, nei quali tutto il vapore generato dal HRSG deve subire la condensazione. Per la tecnologia ORC a biomassa si considera l'acqua consumata ai fini dell'irrigazione delle colture dedicate, se presenti.

3. Estensione della metodologia Eureka a impianti cogenerativi

Tecnologia	Quesiti	Suggerimenti	pc_i
MCI	Componente trascurabile	Impatto trascurabile	6,7%
MTG	Componente trascurabile	Impatto trascurabile	7,3%
CC	Sono previsti sistemi di ricircolo delle acque di raffreddamento a ciclo chiuso?	Impianti a derivazione e condensazione: <ul style="list-style-type: none"> • Sì: impatto basso • No: impatto medio-basso Impianti in contropressione: <ul style="list-style-type: none"> • Impatto trascurabile 	8,8%
ORC+BIOM	L'impianto sarà alimentato da residui (agricoli, agroindustriali, agroforestali) oppure da colture energetiche?	<ul style="list-style-type: none"> • Residui: impatto medio • Colture che utilizzano poca acqua (cardo, robinia, miscanto): impatto medio/basso • Colture dedicate: impatto alto 	8,1%
ORC+ST	Componente trascurabile	Impatto trascurabile	8,9%

Tabella 3-5: Componente Consumo d'acqua: impianti cogenerativi

Rumore

Per la componente *rumore* si prende in considerazione l'impatto causato dalle emissioni acustiche dovute alla fase operativa dell'impianto.

I quesiti proposti all'utente hanno lo scopo di identificare l'entità sia delle emissioni sia dell'effetto della loro presenza. Particolare attenzione è infatti posta alle valutazioni relative le caratteristiche dell'area di impianto e la presenza di ostacoli tra impianto e possibili centri abitati.

Per la tecnologia ORC a biomassa è, in aggiunta, presentato un quesito relativo le emissioni acustiche dovute al trasporto pesante su strada del combustibile.

3. Estensione della metodologia Eureka a impianti cogenerativi

		MCI	MTG	CC	ORC+BIOM	ORC+ST
Quesiti	Suggerimenti	pq_j	pq_j	pq_j	pq_j	pq_j
Sono presenti barriere o ostacoli artificiali o naturali tra l'impianto e abitazioni e/o centri abitati?	<ul style="list-style-type: none"> • Sì: impatto basso • No: impatto alto 	2	2	2	1,43	1,4
Quali sono le caratteristiche dell'area d'installazione dell'impianto?	<ul style="list-style-type: none"> • Area prevalentemente residenziale: impatto alto • Area residenziale e commerciale: impatto medio • Area prevalentemente commerciale e industriale: impatto medio-basso • Area industriale: impatto basso 	4	4	4	4,28	3,6
Qual è il rapporto tra le emissioni sonore dell'impianto e quello complessivo delle altre sorgenti di rumore presenti nell'area d'impatto?	<ul style="list-style-type: none"> • Inferiore al 20%: impatto basso • Tra il 20% ed il 50%: impatto medio-basso • Tra il 50% e l'80%: impatto medio • Tra l'80% e il 130%: impatto medio-alto • Superiore al 130%: impatto alto 	4	4	4	2,43	5
E' rilevante l'aumento del traffico pesante dovuto al trasporto delle biomasse rispetto al traffico attuale dell'area di impatto?	<ul style="list-style-type: none"> • No: impatto basso • È confrontabile con quello dell'area di impatto, caratterizzata prevalentemente da traffico leggero: impatto medio-basso • È confrontabile con quello dell'area di impatto, caratterizzata prevalentemente da traffico pesante: impatto medio • Sì, l'area è comunque caratterizzata da traffico pesante: impatto medio-alto • Sì, l'area è caratterizzata prevalentemente da traffico leggero: impatto alto 	--	--	--	1,86	--
pc_i		10,1%	10,2%	8,2%	6,7%	5,3%

Tabella 3-6: Componente Rumore: impianti cogenerativi

3. Estensione della metodologia Eureka a impianti cogenerativi

Atmosfera

L'impatto ambientale relativo la componente *atmosfera* è dovuto alle emissioni inquinanti degli impianti e il conseguente peggioramento della qualità dell'aria nelle aree di installazione.

Come nel caso d'impianti termici, si è inserita una sezione indipendente dalla compilazione da parte dell'utente. Tale sezione opera un confronto tra le emissioni delle diverse tecnologie. Sebbene per alcune tecnologie, il quesito sul raggiungimento dei limiti della qualità dell'aria possa risultare significativo, si è ritenuto importante presentare un confronto diretto tra le tecnologie a causa delle differenze sulle taglie degli impianti presi in analisi. Per gli impianti ORC accoppiati a solare termico, non funzionanti attraverso la combustione, si sono considerate delle emissioni fittizie pari a 0 mg/Nm^3 . Per la metodologia di calcolo dei valori d'impatto si rimanda al paragrafo 2.2.2 Indice di impatto ambientale.

Di seguito si propone una tabella presentante il confronto sulle emissioni inquinanti.

Tecnologia	mg_{NOx}/Nm^3	V_{NOx}	mg_{CO}/Nm^3	V_{CO}	mg_{PM}/Nm^3	V_{PM}
MCI	94	10	113	10	0	0
MTG	39	4,15	24	2,12	0	0
CC	51	5,43	31	2,74	0	0
ORC+BIOM	90	9,57	60	5,31	19	10
ORC+ST	0	0	0	0	0	0

Tabella 3-7: Confronto sulle emissioni inquinanti: impianti cogenerativi

Per la tecnologia ORC alimentata a caldaia a biomassa è presente un ulteriore quesito relativo le emissioni dovute al trasporto della biomassa.

3. Estensione della metodologia Eureka a impianti cogenerativi

Quesiti	Suggerimenti	MCI	MTG	CC	ORC+BIOM	ORC+ST
		pq_j	pq_j	pq_j	pq_j	pq_j
In che misura le emissioni dell'impianto contribuiscono al raggiungimento dei valori limite di qualità dell'aria nell'area interessata?	<ul style="list-style-type: none"> Da 0% a 20%: impatto basso Da 21% a 40%: impatto medio-basso Da 41% a 60%: impatto medio Da 61% a 80%: impatto medio-alto Da 81% a 100%: impatto alto 	5	5	5	2,35	--
Emissioni di NOx	Si veda Tabella 3-7	1,667	1,667	1,667	1,667	3,33
Emissioni di CO	Si veda Tabella 3-7	1,667	1,667	1,667	1,667	3,33
Emissioni di Polveri	Si veda Tabella 3-7	1,667	1,667	1,667	1,667	3,33
L'impianto sarà alimentato da una filiera corta (raccolta delle biomasse da convertire, entro un raggio di 70 km di distanza dall'impianto)?	<ul style="list-style-type: none"> Si: impatto medio No: impatto alto 	--	--	--	2,65	--
pc_i		14,7%	14,5%	12,7%	11,1%	10,9%

Tabella 3-8: Componente Atmosfera: impianti cogenerativi

Acque superficiali

La componente *acque superficiali* è trascurata per tutte le tecnologie, ad eccezione degli impianti ORC alimentati attraverso caldaia a biomassa.

L'impatto ambientale è dovuto all'eccessivo accrescimento delle piante acquatiche nei corsi d'acqua e alla contaminazione delle acque da parte dei pesticidi usati per la coltura della biomassa.

Tecnologia	Quesiti	Suggerimenti	pc_i
MCI	Componente trascurabile	Impatto trascurabile	6,4%
MTG	Componente trascurabile	Impatto trascurabile	6,7%
CC	Componente trascurabile	Impatto trascurabile	6,9%
ORC+BIOM	L'impianto sarà alimentato da residui (agricoli, agroindustriali, agroforestali) oppure da colture energetiche?	Residui: impatto medio Colture dedicate: impatto alto	7,2%
ORC+ST	Componente trascurabile	Impatto trascurabile	6,4%

Tabella 3-9: Componente Acque Superficiali: impianti cogenerativi

3. Estensione della metodologia Eureka a impianti cogenerativi

Acque sotterranee

La componente *acque sotterranee* è valutata trascurabile per tutte le tecnologie analizzate.

Di seguito si propongono esclusivamente i pesi relativi della componente.

Tecnologia	pc_i
MCI	5,8%
MTG	5,8%
CC	6,3%
ORC+BIOM	7,1%
ORC+ST	6,0%

Tabella 3-10: Componente Acque Sotterranee: impianti cogenerativi

Odore

La componente *odore* è valutata trascurabile per tutte le tecnologie analizzate.

Di seguito si propongono esclusivamente i pesi relativi della componente.

Tecnologia	pc_i
MCI	7,7%
MTG	7,3%
CC	6,4%
ORC+BIOM	7,6%
ORC+ST	5,2%

Tabella 3-11: Componente Odore: impianti cogenerativi

Salute umana

La componente *salute umana* prevede l'inserimento da parte dell'utente del numero di abitanti presenti nel raggio di 4 km dal luogo di installazione dell'impianto.

Il metodo di calcolo, seguito per la determinazione dell'indice d'impatto, è lo stesso già presentato nel capitolo 1. Metodologia Eureka.

Tecnologia	Quesiti	Suggerimenti	pc_i
MCI	Definire la classe di popolazione relativa il numero di abitanti entro 4 km dal luogo d'installazione dell'impianto	• Abitanti = 0 : 0	12,5%
MTG		• 0 < Abitanti < 100 : 1	12,1%
CC		• 100 < Abitanti < 500 : 2	10,5%
ORC+BIOM		• 500 < Abitanti < 1.000 : 3	9,8%
ORC+ST		• 1.000 < Abitanti < 5.000 : 4	9,2%
		• 5.000 < Abitanti < 10.000 : 5	
		• Abitanti > 10.000 : 6	

Tabella 3-12: Componente Salute umana: impianti cogenerativi

3. Estensione della metodologia Eureka a impianti cogenerativi

Cambiamenti climatici

L'indice d'impatto relativo la componente *cambiamenti climatici* è il risultato del confronto effettuato tra le emissioni di CO_2 *equivalente* imputabili a un'unità di energia costituita per un terzo da energia elettrica e due terzi da energia termica.

I valori di emissione considerati costituiscono delle approssimazioni: non tutte le tecnologie analizzate presentano un indice elettrico-termico C^{22} pari a 0,5.

Per la metodologia di calcolo dell'indice d'impatto si rimanda al paragrafo 2.2.2 Indice di impatto ambientale. Di seguito si propone la tabella relativa al confronto tra le tecnologie.

Tecnologia	$g_{CO_2,eq}/(0,33el+0,66th)kWh$	$In_{camb\ clim}$
MCI	372	10
MTG	319	8,58
CC	355	9,54
ORC+BIOM	119	3,2
ORC+ST	27,4	0,74

Tabella 3-13: Confronto emissioni CO2 equivalente: impianti cogenerativi

La componente cambiamenti climatici non presenta quesiti all'utente, bensì informazioni sulle tecnologie analizzate e indicazioni sui relativi indici di impatto.

Tecnologia	Informazioni	Indicazioni	pc_i
MCI	Analisi LCA: 372 $g_{CO_2,eq}/(0,33el+0,66th)kWh$	Confronto con gli altri impianti: impatto alto	11,3%
MTG	Analisi LCA: 319 $g_{CO_2,eq}/(0,33el+0,66th)kWh$	Confronto con gli altri impianti: impatto alto	10,8%
CC	Analisi LCA: 329 $g_{CO_2,eq}/(0,33el+0,66th)kWh$	Confronto con gli altri impianti: impatto alto	10,9%
ORC+BIOM	Analisi LCA: 119 $g_{CO_2,eq}/(0,33el+0,66th)kWh$	Confronto con gli altri impianti: impatto medio-basso	9,4%
ORC+ST	Analisi LCA: 27,4 $g_{CO_2,eq}/(0,33el+0,66th)kWh$	Confronto con gli altri impianti: impatto basso	9,0%

Tabella 3-14: Componente Cambiamenti climatici: impianti cogenerativi

²² L'indice elettrico-termico è il parametro che esprime il rapporto tra l'energia elettrica e l'energia termica prodotta dall'impianto: $C = E_{el}/Q_{th}$

3.3.3 Indice di sostenibilità socio-istituzionale

Le valutazioni sulla sostenibilità socio-istituzionale degli impianti cogenerativi comprendono le componenti già citate per impianti elettrici e impianti termici. A causa della presenza dell'energia termica come prodotto dell'impianto e nel tentativo di offrire una valutazione esaustiva, si è ritenuto necessario includere anche le componenti presenti esclusivamente per impianti termici: *possibilità di utilizzo per raffrescamento, sicurezza dell'utente, raggiungimento obiettivi nazionali sull'energie rinnovabili*.

Il modello si differenzia da quello relativo agli impianti termici per l'assenza della componente Consumo di energia elettrica: si presuppone, infatti, che l'energia elettrica necessaria al funzionamento dell'impianto faccia parte della quota di autoconsumo dell'impianto.

La maggior parte dei calcoli per la determinazione degli indici d'impatto relativi alle componenti socio-istituzionali si basano sul confronto tra le tecnologie: in questi confronti sono incluse solo le tecnologie cogenerative.

Si presenta il modello relativo le tecnologie prese in esame, suddividendo le diverse componenti.

Sviluppo della rete elettrica

L'indice d'impatto relativo la componente *sviluppo della rete elettrica* è determinato attraverso i valori d'impatto espressi dall'utente relativamente la distanza dell'impianto dalla rete elettrica e le caratteristiche della rete di trasmissione dell'area di installazione dell'impianto.

Il metodo di calcolo dell'indice d'impatto è presentato nel capitolo 1. Metodologia Eureka.

Quesiti	Suggerimenti	MCI	MTG	CC	ORC+BIOM	ORC+ST
		pq_j	pq_j	pq_j	pq_j	pq_j
Quanto dista l'impianto dalla rete elettrica?	<ul style="list-style-type: none"> > 15 km: impatto alto 10 -15 km: impatto medio/alto 5 -10 km: impatto medio < 5 km: impatto medio/basso 	5	5	5	5	5
La rete di trasmissione elettrica del sito necessita di essere sviluppata per poter supportare il nuovo impianto?	<ul style="list-style-type: none"> Area con rete di trasmissione debole e produzione che eccede la domanda: impatto alto Area con rete di trasmissione debole e produzione in equilibrio con la domanda: impatto medio Area con rete di trasmissione con buona capacità di trasporto: impatto medio/basso Area con rete di trasmissione con ottima capacità di trasporto: impatto trascurabile 	5	5	5	5	5
pc_i		8,3%	9%	9,8%	8,6%	8,7%

Tabella 3-15: Componente Sviluppo della rete elettrica: impianti cogenerativi

3. Estensione della metodologia Eureka a impianti cogenerativi

Servizio di regolazione della frequenza

Il servizio di regolazione della frequenza è obbligatorio per tutti gli impianti aventi potenza apparente superiore a 10 MVA.

Tra le tecnologie proposte l'unica a presentare questa caratteristica, anche considerando un singolo modulo, è il ciclo combinato: l'indice d'impatto risulta quindi essere trascurabile.

Per le altre tecnologie è previsto un quesito che, indirettamente, chiede il numero di moduli installati e l'entità della totale potenza apparente dell'impianto. Nel caso in cui gli impianti non partecipassero obbligatoriamente al servizio di regolazione della frequenza è considerato un contributo parziale.

Tecnologia	Quesiti	Suggerimenti	pc_i
MCI	L'impianto ha potenza apparente superiore a 10 MVA?	<ul style="list-style-type: none">• Si: impatto trascurabile• No: impatto medio-basso	9,7%
MTG	L'impianto ha potenza apparente superiore a 10 MVA?	<ul style="list-style-type: none">• Si: impatto trascurabile• No: impatto medio-basso	9,6%
CC	L'impianto ha potenza apparente superiore a 10 MVA: partecipa al servizio di regolazione della frequenza	Impatto trascurabile	10,2%
ORC+BIOM	L'impianto ha potenza apparente superiore a 10 MVA?	<ul style="list-style-type: none">• Si: impatto trascurabile• No: impatto medio-basso	8,2%
ORC+ST	L'impianto ha potenza apparente superiore a 10 MVA?	<ul style="list-style-type: none">• Si: impatto trascurabile• No: impatto medio-basso	6,3%

Tabella 3-16: Componente Servizio di regolazione della frequenza: impianti cogenerativi

Esigenza di bilanciamento della rete

La valutazione dell'indice d'impatto relativo la componente *esigenza di bilanciamento della rete* fa riferimento alla prevedibilità della produzione garantita dalle diverse tecnologie.

I profili di produzione delle tecnologie motori a combustione interna, microturbine, cicli combinati e ORC alimentati a biomassa sono determinati dalla disponibilità di combustibile, di conseguenza garantiscono un'ottima prevedibilità.

Gli impianti ORC associati al solare termico sono alimentati da una fonte classificabile come imprevedibile ed intermittente. La presenza del sistema di accumulo termico interposto tra l'impianto solare e l'ORC è in grado di mitigare la variabilità della fonte solare e garantire un livello accettabile di prevedibilità.

3. Estensione della metodologia Eureka a impianti cogenerativi

Tecnologia	Informazioni	pc_i
MCI	Ottima prevedibilità della produzione: impatto trascurabile	8,9%
MTG	Ottima prevedibilità della produzione: impatto trascurabile	8,6%
CC	Ottima prevedibilità della produzione: impatto trascurabile	10,0%
ORC+BIOM	Ottima prevedibilità della produzione: impatto trascurabile	9,9%
ORC+ST	La prevedibilità dell'impianto non è garantita dalla fonte solare: impatto medio	9,3%

Tabella 3-17: Componente Esigenza di bilanciamento della rete: impianti cogenerativi

Necessità d'impianti convenzionali di backup

L'indice d'impatto relativo la *necessità d'impianti convenzionali di backup* è determinato attraverso la valutazione della prevedibilità della produzione e la disponibilità della fonte energetica utilizzata. Circa la prevedibilità della produzione valgono le stesse considerazioni esposte nel paragrafo precedente. Per gli impianti alimentati a gas, è proposto all'utente un quesito relativo la penetrazione della generazione da fonte gas naturale nell'area di interesse, in modo da prendere in considerazione gli effetti di una possibile crisi degli approvvigionamenti. Gli impianti ORC a biomassa hanno un'ottima disponibilità.

La disponibilità della fonte solare per gli impianti ORC dipende dal luogo d'installazione dell'impianto, si considera quindi un valore medio.

Tecnologia	Quesiti	Suggerimenti	pc_i
MCI	Gli impianti a gas offrono ottima disponibilità. Potrebbero necessitare di back-up in caso di crisi del mercato degli approvvigionamenti se la penetrazione della generazione da fonte gas nell'area è importante. A quanto ammonta la penetrazione della generazione elettrica da fonte gas?	<ul style="list-style-type: none"> Da 0 a 40%: impatto trascurabile Da 40 a 100%: impatto medio 	9,7%
MTG	Gli impianti a gas offrono ottima disponibilità. Potrebbero necessitare di back-up in caso di crisi del mercato degli approvvigionamenti se la penetrazione della generazione da fonte gas nell'area è importante. A quanto ammonta la penetrazione della generazione elettrica da fonte gas?	<ul style="list-style-type: none"> Da 0 a 40%: impatto trascurabile Da 40 a 100%: impatto medio 	9,7%
CC	Gli impianti a gas offrono ottima disponibilità. Potrebbero necessitare di back-up in caso di crisi del mercato degli approvvigionamenti se la penetrazione della generazione da fonte gas nell'area è importante. A quanto ammonta la penetrazione della generazione elettrica da fonte gas?	<ul style="list-style-type: none"> Da 0 a 40%: impatto trascurabile Da 40 a 100%: impatto medio 	8,8%
ORC+BIOM	Gli impianti a biomassa offrono ottima disponibilità.	Impatto trascurabile	10,5%
ORC+ST	La prevedibilità dell'impianto non è garantita dalla fonte solare.	Impatto medio	11,6%

Tabella 3-18: Componente Necessità d'impianti convenzionali di backup: impianti cogenerativi

3. Estensione della metodologia Eureka a impianti cogenerativi

Riduzione della dipendenza energetica dall'estero

L'indice d'impatto relativo la *riduzione della dipendenza energetica dall'estero* è attribuito facendo riferimento alla quota di produzione nazionale della fonte primaria utilizzata dalle singole tecnologie. Le quote di produzione nazionali sono già state illustrate nei precedenti capitoli, pertanto di seguito si presenta esclusivamente una tabella esplicativa della struttura del modello e delle informazioni proposte all'utente, al quale non è richiesta alcuna compilazione per la componente.

Tecnologia	Informazioni	pc_i
MCI	Circa il 90% del gas proviene dall'estero: impatto alto	11,1%
MTG	Circa il 90% del gas proviene dall'estero: impatto alto	10,8%
CC	Circa il 90% del gas proviene dall'estero: impatto alto	10,4%
ORC+BIOM	La biomassa è considerata al 100% produzione nazionale: impatto trascurabile	10,9%
ORC+ST	L'energia solare è considerata al 100% produzione nazionale: impatto trascurabile	11,6%

Tabella 3-19: Componente Riduzione della dipendenza energetica dall'estero: impianti cogenerativi

Rafforzamento della sicurezza di approvvigionamento

L'indice d'impatto relativo la componente *rafforzamento della sicurezza di approvvigionamento* è valutato dal confronto degli *indici di sicurezza S* relativi le fonti primarie utilizzate dalle diverse tecnologie.

Tecnologia	P_r	$Import$	HHI_{import}	A	M	S	In_{app}
MCI	0,11	0,89	0,69	0,72	0,5	0,36	10
MTG	0,11	0,89	0,69	0,72	0,5	0,36	10
CC	0,11	0,89	0,69	0,72	0,5	0,36	10
ORC+BIOM	-	-	-	-	-	0,85	3,12
ORC+ST	1	0	-	1	-	1	1

Tabella 3-20: Calcolo dell'indice di impatto relativo il rafforzamento della sicurezza di approvvigionamento: impianti cogenerativi

3. Estensione della metodologia Eureka a impianti cogenerativi

Di seguito si propongono le informazioni fornite all'utente circa il rafforzamento della sicurezza di approvvigionamento.

Tecnologia	Informazioni	pc_i
MCI	I bacini di approvvigionamento del gas sono per la maggioranza concentrati in Russia e Algeria: impatto alto	12,9%
MTG	I bacini di approvvigionamento del gas sono per la maggioranza concentrati in Russia e Algeria: impatto alto	11,9%
CC	I bacini di approvvigionamento del gas sono per la maggioranza concentrati in Russia e Algeria: impatto alto	11,3%
ORC+BIOM	Il ricorso alle biomasse consente di operare una diversificazione geografica degli approvvigionamenti energetici e ridurre il rischio geopolitico spesso correlato all'importazione di materie prime.	10,6%
ORC+ST	Il ricorso al solare consente di operare una diversificazione geografica degli approvvigionamenti energetici e ridurre il rischio geopolitico spesso correlato all'importazione di materie prime.	9,7%

Tabella 3-21: Componente Rafforzamento della sicurezza di approvvigionamento: impianti cogenerativi

Creazione di occupazione lavorativa nazionale

Nella determinazione dell'indice d'impatto relativo la componente *creazione di occupazione lavorativa nazionale* è utilizzato lo stesso approccio presentato per le tecnologie termiche. Il parametro O_c per ogni tecnologia è calcolato facendo riferimento al numero di occupati (diretti e indiretti) totale per unità di potenza installata.

$$O_{c_t} = \frac{\left(\frac{Occ_{tot}}{MW}\right)_t}{\left(\frac{Occ_{tot}}{MW}\right)_{max}}$$

Per le tecnologie motori a combustione interna e microturbine è considerata l'assenza di occupati diretti.

Per la tecnologia ciclo combinato si è considerato lo stesso numero di occupati al MW installato definito per la generazione elettrica.

Per quanto riguarda la tecnologia ORC sia alimentato a biomassa sia per mezzo d'impianto solare termico è stato considerato un numero di occupati a tempo pieno diretti al MW installato pari a 2.

3. Estensione della metodologia Eureka a impianti cogenerativi

Il numero di occupati indiretti è calcolato come prodotto tra il costo d'investimento unitario di ogni tecnologia e il parametro occupati per unità di fatturato per la categoria *Beni strumentali* ($3,74 * 10^{-6}$ occupati/€)²³.

Tecnologia	€/kW	Occ_dir/MW	Occ_tot/MW	Oc	In _{occ}
MCI	1000	--	3,74	0,14	9,74
MTG	1200	--	4,49	0,17	9,45
CC	800	0,083	3,08	0,12	10
ORC+BIOM	4000	2	16,97	0,64	4,62
ORC+ST	6500	2	26,32	1	1

Tabella 3-22: Calcolo dell'indice di impatto relativo la Creazione di occupazione lavorativa: impianti cogenerativi

Come per le precedenti componenti, non è prevista l'immissione di input da parte dell'utente.

Tecnologia	Informazioni	pc _i
MCI	3,74 occupati/MW installato: impatto alto	8,1%
MTG	4,49 occupati/MW installato: impatto alto	8,6%
CC	3,08 occupati/MW installato: impatto alto	9,5%
ORC+BIOM	16,97 occupati/MW installato: impatto medio	9,3%
ORC+ST	26,32 occupati/MW installato: impatto basso	9,6%

Tabella 3-23: Componente Creazione di occupazione lavorativa nazionale

Raggiungimento degli obiettivi nazionali sulle energie rinnovabili

L'indice d'impatto relativo il *raggiungimento degli obiettivi nazionali sulle energie rinnovabili* è determinato dalla quota di energia rinnovabile utilizzata dalle diverse tecnologie ai fini produttivi.

Le tecnologie motore a combustione interna, microturbina e ciclo combinato sono alimentati a gas naturale: il loro contributo è pari allo 0% dell'energia prodotta.

Per entrambe le tecnologie ORC tutta l'energia prodotta può essere contabilizzata come energia da fonte rinnovabile.

²³ Elaborazione dati: Bureau Van Dijk

3. Estensione della metodologia Eureka a impianti cogenerativi

Tecnologia	Informazioni	pc_i
MCI	L'impianto non contribuisce attraverso l'uso di fonti rinnovabili: impatto alto	8,1%
MTG	L'impianto non contribuisce attraverso l'uso di fonti rinnovabili: impatto alto	8,5%
CC	L'impianto non contribuisce attraverso l'uso di fonti rinnovabili: impatto alto	8,2%
ORC+BIOM	L'impianto contribuisce al 100% attraverso l'uso di fonti rinnovabili: impatto trascurabile	11,5%
ORC+ST	L'impianto contribuisce al 100% attraverso l'uso di fonti rinnovabili: impatto trascurabile	12,8%

Tabella 3-24: Componente Raggiungimento degli obiettivi nazionali sull'energie rinnovabili: impianti cogenerativi

Possibilità di utilizzo per raffrescamento

Gli impianti di cogenerazione, come presentati in questo lavoro, non hanno la possibilità di utilizzo per il raffrescamento.

La produzione combinata di elettricità, calore e freddo è chiamata trigenerazione: può essere ottenuta convertendo parte dell'energia prodotta in energia frigorifera, ad esempio attraverso l'uso di pompe di calore ed energia elettrica o l'uso di cicli ad assorbimento ed energia termica.

In questo lavoro non sono incluse considerazione circa la trigenerazione, pertanto si è assegnato ad ogni tecnologia un indice di impatto alto.

Tecnologia	Informazioni	pc_i
MCI	L'impianto non consente l'utilizzo per raffrescamento: impatto alto	9,4%
MTG	L'impianto non consente l'utilizzo per raffrescamento: impatto alto	10,3%
CC	L'impianto non consente l'utilizzo per raffrescamento: impatto alto	9,9%
ORC+BIOM	L'impianto non consente l'utilizzo per raffrescamento: impatto alto	9,5%
ORC+ST	L'impianto non consente l'utilizzo per raffrescamento: impatto alto	10,3%

Tabella 3-25: Componente Possibilità di utilizzo per raffrescamento: impianti cogenerativi

Sicurezza dell'utente

La componente *sicurezza dell'utente* o, in alcuni casi, del lavoratore è valutata come per gli impianti termici attraverso l'assegnazione degli indici di impatto in base alla presenza o meno del processo di combustione e alla tipologia di combustibile utilizzato dalle diverse tecnologie.

Si evidenzia che l'indice d'impatto massimo è limitato alla classificazione *impatto medio*, in quanto l'avvenimento di incidenti, incendi o esplosioni rappresenta un rischio e non un evento certo dovuto al funzionamento dell'impianto.

3. Estensione della metodologia Eureka a impianti cogenerativi

Tecnologia	Informazioni	pc_i
MCI	L'impianto prevede l'utilizzo di gas naturale come combustibile: impatto medio	13,7%
MTG	L'impianto prevede l'utilizzo di gas naturale come combustibile: impatto medio	12,9%
CC	L'impianto prevede l'utilizzo di gas naturale come combustibile: impatto medio	11,8%
ORC+BIOM	L'impianto prevede l'utilizzo di biomassa come combustibile: impatto medio/basso	10,9%
ORC+ST	L'impianto non prevede la combustione: impatto basso	10,2%

Tabella 3-26: Componente Sicurezza dell'utente: impianti cogenerativi

3.3.4 Indice di sostenibilità economica

L'indice di sostenibilità economica, come già sostenuto, è calcolato per mezzo della valutazione del LCOE, modificato in termini exergetici.

L'exergia è una proprietà estensiva che misura l'allontanamento di un sistema da un sistema di riferimento chiamato Ambiente, solitamente considerato a $T_0=25\text{ °C}$ e $p_0=1\text{ atm}$. L'exergia del sistema è il massimo lavoro teorico ottenibile dal processo che porta i due sistemi in uno stato di equilibrio meccanico termico e chimico. Attraverso i bilanci exergetici è possibile attribuire a qualsiasi flusso, che attraversa i confini del volume di controllo del sistema considerato, un flusso exergetico.

Nei casi esaminati in questo lavoro, il volume di controllo è definito dall'intero impianto. La potenza elettrica e termica sono dei flussi di lavoro e calore ai quali è possibile associare i relativi flussi exergetici attraverso le seguenti formule:

$$\dot{E}x_{el,k} = P_{el,k}$$

$$\dot{E}x_{th,k} = P_{th,k} \times \left(1 - \frac{T_0}{T_k}\right)$$

Dove:

- $P_{el,k}$: potenza elettrica generata dal k-esimo componente;
- $\dot{E}x_{el,k}$: flusso exergetico associato alla potenza elettrica del k-esimo componente;
- $P_{th,k}$: scambio termico avvenuto nel k-esimo componente;

3. Estensione della metodologia Eureka a impianti cogenerativi

- T_k : temperatura del punto del volume di controllo in cui viene effettuato lo scambio termico;
- T_0 : temperatura di riferimento del sistema ambiente (25 °C);
- $\dot{E}x_{th,k}$: flusso exergetico associato allo scambio termico avvenuto nel k-esimo componente.

Definendo i flussi exergetici associati alle potenze, è possibile definire l'exergia dei prodotti dell'impianto:

$$Ex_{el} = E_{el}$$

$$Ex_{th} = Q_{th} \times \left(1 - \frac{T_0}{T_{ut}}\right)$$

Dove:

- E_{el} : energia elettrica prodotta annualmente;
- Ex_{el} : exergia riferita all'energia elettrica prodotta annualmente;
- Q_{th} : energia termica prodotta annualmente;
- T_{ut} : temperatura dell'utenza termica;
- Ex_{th} : exergia riferita all'energia termica prodotta annualmente.

L'uso dell'exergia come grandezza di riferimento per il calcolo del LCOE permette il confronto tra i prodotti elettrici e termici, caratterizzati da valori termodinamici diversi.

$$LCOE = \frac{\sum_n \left(\frac{(C_{inv} + C_{manut} + C_{comb} + C_{co2} + C_{smalt} + C_{dism})}{(1+r)^n} \right)}{\sum_n \left(\frac{Ex_{el} + Ex_{th}}{(1+r)^n} \right)} \quad \left[\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$$

L'indice di sostenibilità è attribuito confrontando il LCOE con i valori di LCOE minimo e massimo, ai quali è stato aggiunto un grado di tolleranza, definiti dall'analisi economica per impianti campione di generazione elettrica, già presentati nel capitolo 1. Metodologia Eureka.

3. Estensione della metodologia Eureka a impianti cogenerativi

Motori a combustione interna	Quesiti	Suggerimenti
Q_{th} : Fabbisogno termico	Qual è il fabbisogno energetico termico che vuoi soddisfare?	I suggerimenti forniti sono costituiti dalle Tabelle 2-1 e 2-2
P_n : Potenza specifica	Valore preimpostato	P _n =100 kW _{el}
h: Ore di funzionamento	Quante sono le ore di funzionamento annuali dell'impianto?	4000-7000 h/anno
#: Numero moduli	Numero di moduli necessari a soddisfare il tuo fabbisogno termico. Valore calcolato.	$\# = Q_{th} * (\eta_{el} / \eta_{th}) / (P_n * h)$
CI: Costo di investimento specifico	A quanto ammontano i costi d'investimento?	CI=1000 €/kW
CC: Costo del combustibile specifico	A quanto ammonta il costo specifico del combustibile?	Contratto non domestico: 0,4 €/Sm ³
CC_{fix}: Costo fisso del combustibile	A quanto ammontano i costi fissi annuali del combustibile?	Contratto non domestico: 250 €/anno
PCI: Potere Calorifico Inferiore	Valore preimpostato	9,27 kWh/ Sm ³
η_{el}: Rendimento elettrico	Rapporto tra energia elettrica prodotta annualmente ed energia del combustibile sfruttato.	0,32
η_{th}: Rendimento termico	Rapporto tra energia termica prodotta annualmente ed energia del combustibile sfruttato.	0,48
CM: Costo di manutenzione specifico	A quanto ammontano i costi di manutenzione annuali dell'impianto?	CM= 0,016 €/kWh _{el}
I_{co2}: Intensità di emissione di CO₂	Valore preimpostato	627,3 g _{co2} /kWh _{el}
C_{EUA}: Costo dei permessi di emissione	L'ETS è il sistema europeo di scambio delle quote d'emissione di CO ₂ : gli EUA sono i permessi di emissione.	Costo EUA: 4,88 €/ton _{co2}
C_{dism}: Costo di dismissione specifico	A quanto ammontano i costi di dismissione a fine vita del tuo impianto?	10% del costo d'investimento: 100 €/kW
T_{ut}: Temperatura utenza termica	A che livello di temperatura è necessaria l'utenza termica?	120 °C = 393,15 K 100 °C = 373,15 K 80 °C = 353,17 K
D_v: Durata vita impianto	Quante sono le ore di vita dell'impianto?	80.000 ore
n: Anni di vita dell'impianto	Valore calcolato	$n = D_v / h$
r: Tasso di attualizzazione	Costo del denaro previsto nel periodo di funzionamento dell'impianto.	5%

Tabella 3-27: Variabili per il calcolo del LCOE per motori a combustione interna

3. Estensione della metodologia Eureka a impianti cogenerativi

Microturbine	Quesiti	Suggerimenti
Q_{th} : Fabbisogno termico	Qual è il fabbisogno energetico termico che vuoi soddisfare?	I suggerimenti forniti sono costituiti dalle Tabelle 2-1 e 2-2
P_n : Potenza specifica	Valore preimpostato	P _n =200 kWel
h: Ore di funzionamento	Quante sono le ore di funzionamento annuali dell'impianto?	4000-7000 h/anno
#: Numero moduli	Numero di moduli necessari a soddisfare il tuo fabbisogno termico. Valore calcolato.	$\# = Q_{th} * (\eta_{el} / \eta_{th}) / (P_n * h)$
CI: Costo di investimento specifico	A quanto ammontano i costi d'investimento?	CI=1200 €/kW
CC: Costo del combustibile specifico	A quanto ammonta il costo specifico del combustibile?	Contratto non domestico: 0,4 €/Sm ³
CC_fix: Costo fisso del combustibile	A quanto ammontano i costi fissi annuali del combustibile?	Contratto non domestico: 250 €/anno
PCI: Potere Calorifico Inferiore	Valore preimpostato	9,27 kWh/ Sm ³
η_{el}: Rendimento elettrico	Rapporto tra energia elettrica prodotta annualmente ed energia del combustibile sfruttato.	0,3
η_{th}: Rendimento termico	Rapporto tra energia termica prodotta annualmente ed energia del combustibile sfruttato.	0,6
CM: Costo di manutenzione specifico	A quanto ammontano i costi di manutenzione annuali dell'impianto?	CM= 0,01 €/kWhe _l
I_{co2}: Intensità di emissione di CO₂	Valore preimpostato	669,12 gco2/kWhe _l
C_{EUA}: Costo dei permessi di emissione	L'ETS è il sistema europeo di scambio delle quote d'emissione di CO ₂ : gli EUA sono i permessi di emissione.	Costo EUA: 4,88 €/tonco ₂
C_{dism}: Costo di dismissione specifico	A quanto ammontano i costi di dismissione a fine vita del tuo impianto?	10% del costo d'investimento: 120 €/kW
T_{ut}: Temperatura utenza termica	A che livello di temperatura è necessaria l'utenza termica?	90 °C = 363,15 K 80 °C = 353,17 K
D_v: Durata vita impianto	Quante sono le ore di vita dell'impianto?	80.000 ore
n: Anni di vita dell'impianto	Valore calcolato	$n = D_v / h$
r: Tasso di attualizzazione	Costo del denaro previsto nel periodo di funzionamento dell'impianto.	5%

Tabella 3-28: Variabili per il calcolo del LCOE per microturbine

3. Estensione della metodologia Eureka a impianti cogenerativi

Cicli Combinati	Quesiti	Suggerimenti
Q_{th} : Fabbisogno termico	Qual è il fabbisogno energetico termico che vuoi soddisfare?	I suggerimenti forniti sono costituiti dalle Tabelle 2-1 e 2-2
P_n : Potenza specifica	Valore preimpostato	P _n =50000 kW _{el}
h: Ore di funzionamento	Quante sono le ore di funzionamento annuali dell'impianto?	4000-7000 h/anno
#: Numero moduli	Numero di moduli necessari a soddisfare il tuo fabbisogno termico. Valore calcolato.	$\# = Q_{th} * (\eta_{el} / \eta_{th}) / (P_n * h)$
CI: Costo di investimento specifico	A quanto ammontano i costi d'investimento?	CI=800 €/kW
CC: Costo del combustibile specifico	A quanto ammonta il costo specifico del combustibile?	Contratto non domestico: 0,4 €/Sm ³ Prezzo produttori energia: 0,25 €/Sm ³
CC_{fix}: Costo fisso del combustibile	A quanto ammontano i costi fissi annuali del combustibile?	Contratto non domestico: 250 €/anno
PCI: Potere Calorifico Inferiore	Valore preimpostato	9,27 kWh/Sm ³
η_{el}: Rendimento elettrico	Rapporto tra energia elettrica prodotta annualmente ed energia del combustibile sfruttato.	0,5
η_{th}: Rendimento termico	Rapporto tra energia termica prodotta annualmente ed energia del combustibile sfruttato.	0,38
CM: Costo di manutenzione specifico	A quanto ammontano i costi di manutenzione annuali dell'impianto?	CM= 0,006 €/kWh _{el}
I_{co2}: Intensità di emissione di CO₂	Valore preimpostato	400 gco ₂ /kWh _{el}
C_{EUA}: Costo dei permessi di emissione	L'ETS è il sistema europeo di scambio delle quote d'emissione di CO ₂ : gli EUA sono i permessi di emissione.	Costo EUA: 4,88 €/tonco ₂
C_{dis}: Costo di dismissione specifico	A quanto ammontano i costi di dismissione a fine vita del tuo impianto?	10% del costo d'investimento: 80 €/kW
T_{ut}: Temperatura utenza termica	A che livello di temperatura è necessaria l'utenza termica?	120 °C = 393,15 K 100 °C = 373,15 K 80 °C = 353,17 K
n: Anni di vita dell'impianto	Quanti sono gli anni di vita dell'impianto?	20 anni
r: Tasso di attualizzazione	Costo del denaro previsto nel periodo di funzionamento dell'impianto.	5%

Tabella 3-29: Valori per il calcolo del LCOE per cicli combinati

3. Estensione della metodologia Eureka a impianti cogenerativi

ORC abbinati a caldaia a biomassa	Quesiti	Suggerimenti
Q_{th} : Fabbisogno termico	Qual è il fabbisogno energetico termico che vuoi soddisfare?	I suggerimenti forniti sono costituiti dalle Tabelle 2-1 e 2-2
P_n: Potenza specifica	Valore preimpostato	Pn=1000 kW _{el}
h: Ore di funzionamento	Quante sono le ore di funzionamento annuali dell'impianto?	4000-7000 h/anno
#: Numero moduli	Numero di moduli necessari a soddisfare il tuo fabbisogno termico. Valore calcolato.	$\# = Q_{th} * (\eta_{el} / \eta_{th}) / (P_n * h)$
CI: Costo di investimento specifico	A quanto ammontano i costi d'investimento?	CI=4000 €/kW
CC: Costo del combustibile specifico	A quanto ammonta il costo specifico del combustibile?	Costo materia prima (trasporto compreso): - Legno vergine 115 €/ton - Legno di scarto 65 €/ton - Scarto agricolo/forestale 55 - Scarto agriindustriale 25 €/ton - Cippato 55 €/ton - Pellet 215 €/ton
PCI: Potere Calorifico Inferiore	Valore preimpostato	- Legno vergine 3712 kWh/ton - Legno di scarto 3480 kWh/ton - Scarto agricolo/forestale 3596 kWh/ton - Scarto agroindustriale 3596 kWh/ton - Cippato 3712 kWh/ton - Pellet 4756 kWh/ton
η_{el}: Rendimento elettrico	Rapporto tra energia elettrica prodotta annualmente ed energia del combustibile sfruttato.	0,165
η_{th}: Rendimento termico	Rapporto tra energia termica prodotta annualmente ed energia del combustibile sfruttato.	0,7
CM: Costo di manutenzione specifico	A quanto ammontano i costi di manutenzione annuali dell'impianto?	CM= 0,01 €/kWh _{el}
Csmalt: Costo di smaltimento delle ceneri specifico	A quanto ammontano i costi di smaltimento della cenere prodotta dalla combustione?	Le ceneri prodotte dalla combustione della biomassa variano a seconda del combustibile utilizzato. Si considera un valore medio del 3% sulla sostanza secca. 75 €/ton _{cenere}
Cdism: Costo di dismissione specifico	A quanto ammontano i costi di dismissione a fine vita del tuo impianto?	10% del costo d'investimento: 400 €/kW
T_{ut}: Temperatura utenza termica	A che livello di temperatura è necessaria l'utenza termica?	80 °C = 353,17 K
D_v: Durata vita impianto	Quante sono le ore di vita dell'impianto?	80.000 ore
n: Anni di vita dell'impianto	Valore calcolato	$n = D_v / h$
r: Tasso di attualizzazione	Costo del denaro previsto nel periodo di funzionamento dell'impianto.	5%

Tabella 3-30: Valori per il calcolo del LCOE per ORC abbinati a caldaia a biomassa

3. Estensione della metodologia Eureka a impianti cogenerativi

ORC abbinato a impianto solare termico	Quesiti	Suggerimenti
Q_{th} : Fabbisogno termico	Qual è il fabbisogno energetico termico che vuoi soddisfare?	I suggerimenti forniti sono costituiti dalle Tabelle 2-1 e 2-2
H_β: Irraggiamento medio annuo	Qual è il valore d'irraggiamento medio annuo dell'area d'installazione?	NORD ITALIA: 1100 kWh/m ² anno CENTRO ITALIA: 1250 kWh/m ² anno SUD ITALIA: 1400 kWh/m ² anno
P_n: Potenza specifica	Valore preimpostato	P _n =1000 kW _{el}
h: Ore di funzionamento	L'accumulo termico permette il funzionamento dell'impianto per durate superiori alle ore d'irraggiamento annuali.	2200 h/anno
#: Numero moduli	Numero di moduli necessari a soddisfare il tuo fabbisogno termico. Valore calcolato.	$\# = Q_{th} * (\eta_{el} / \eta_{th}) / (P_n * h)$
CI_ORC: Costo di investimento specifico relativo l'impianto ORC	A quanto ammontano i costi d'investimento relativi l'impianto ORC?	CI=2000 €/kW
CI_PS: Costo di investimento specifico relativo il parco solare	A quanto ammontano i costi d'investimento relativi i concentratori solari?	CI_PS= 300 €/m ²
A_c: Superficie captante totale dei collettori installati	L'estensione del parco solare per un impianto da 1 MW è di circa 3 ettari, considerando la totale superficie captante e gli spazi necessari tra le file di concentratori. Valore calcolato.	Calcolato: $(\# * P_n / \eta_{el}) / H_{\beta}$
η_{el}: Rendimento elettrico	Rapporto tra energia elettrica prodotta annualmente ed energia del combustibile sfruttato.	0,11
η_{th}: Rendimento termico	Rapporto tra energia termica prodotta annualmente ed energia del combustibile sfruttato.	0,44
CM: Costo di manutenzione specifico	A quanto ammontano i costi di manutenzione annuali dell'impianto?	CM= 120 €/kW
C_{dism}: Costo di dismissione specifico	Valore calcolato	10% del costo d'investimento totale (ORC+Parco solare)
T_{ut}: Temperatura utenza termica	A che livello di temperatura è necessaria l'utenza termica?	80 °C = 353,17 K
n: Anni di vita dell'impianto	Quanti sono gli anni di vita dell'impianto?	20 anni
r: Tasso di attualizzazione	Costo del denaro previsto nel periodo di funzionamento dell'impianto.	5%

Tabella 3-31: Valori per il calcolo del LCOE per ORC abbinati a impianto solare termico

3.3.5 Risultati impianti campione

Si riportano i valori degli indici di sostenibilità ambientale, socio-istituzionale, economica e globale calcolati per impianti campione, rappresentati i casi di minima e massima sostenibilità.

Impianti campione	IS_{amb}		$IS_{soc-ist}$		IS_{eco}		$IS_{globale}$	
	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	LCOE	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>
MCI 100 kW 4000 h/anno Tut=80°C	31,5%	74,2%	27,6%	40,4%	0,1302	61,1%	41,2%	61,0%
MCI 100 kW 7000 h/anno Tut= 120°C	31,5%	74,2%	27,6%	40,4%	0,1163	66,1%	43,0%	62,8%
MTG 200 kW 4000 h/anno Tut=80°C	38,4%	79,0%	27,1%	40,5%	0,1247	63,1%	44,5%	63,7%
MTG 200 kW 7000 h/anno Tut=90°C	38,4%	79,0%	27,1%	40,5%	0,1175	65,7%	45,4%	64,6%
CC 50 MW 4000 h/anno Tut=80°C	34,9%	74,6%	30,5%	44,2%	0,0670	83,9%	51,4%	70,3%
CC 50 MW 7000 h/anno Tut=120°C	34,9%	74,6%	30,5%	44,2%	0,0580	87,1%	52,6%	71,5%
ORC+BIOM 1 MW 4000 h/anno pellet	27,6%	77,3%	68,6%	76,7%	0,1842	41,7%	42,9%	64,3%
ORC+BIOM 1 MW 7000 h/anno scarto agroind	45,1%	77,3%	68,6%	76,7%	0,0562	87,8%	66,3%	80,9%
ORC+ST 1 MW Nord Italia	59,2%	91,5%	65,7%	74,0%	0,1629	49,4%	57,3%	71,9%
ORC+ST 1 MW Sud Italia	59,2%	91,5%	65,7%	74,0%	0,1375	58,5%	60,6%	75,2%

Tabella 3-32: Risultati impianti cogenerativi campione

3. Estensione della metodologia Eureka a impianti cogenerativi

3.3.6 Classificazione sostenibilità

Dai risultati presentati nel paragrafo precedente, è definita la classificazione qualitativa della sostenibilità nelle cinque categorie (insufficiente, bassa, media, alta, molto alta).

La classificazione è definita attraverso la metodologia già riportata per impianti di generazione elettrica.

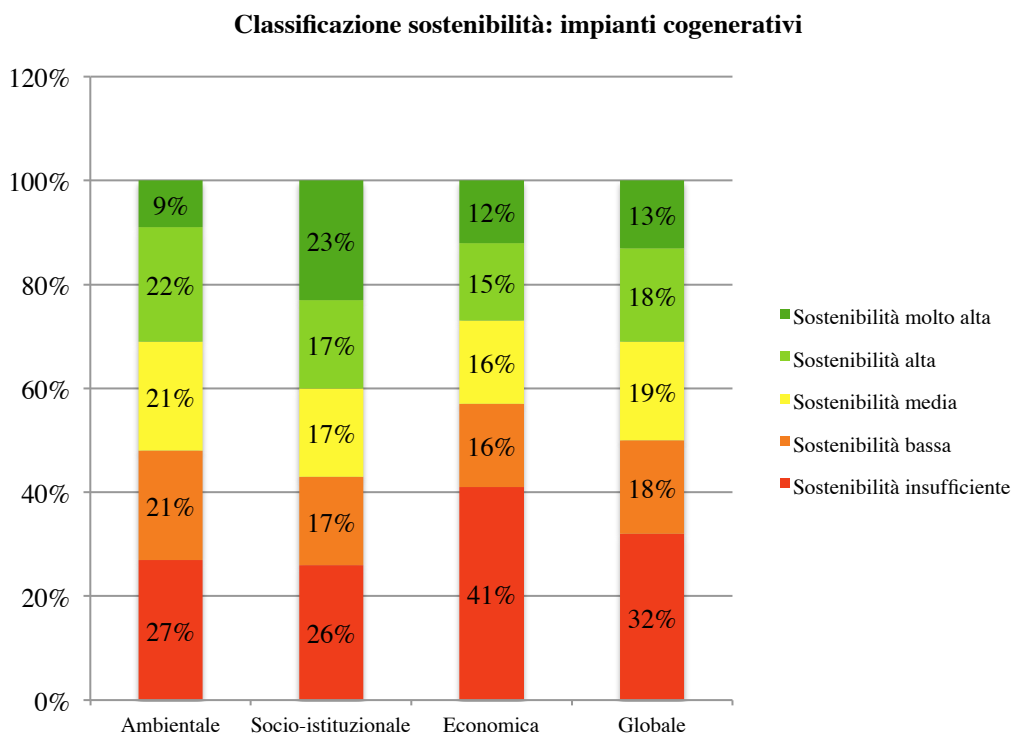


Figura 3-5: Classificazione sostenibilità: impianti cogenerativi

Conclusioni e sviluppi futuri

In questo lavoro si sono presentati i modelli per il calcolo dell'indice di sostenibilità relativamente impianti termici e cogenerativi, seguendo l'approccio Eureka. I risultati ottenuti dall'applicazione del modello a impianti campione hanno evidenziato l'interdipendenza delle variabili prese in considerazione e la necessità di approfondire le valutazioni riguardanti le condizioni collegate all'utilizzo di una tecnologia, soprattutto in sede di scelta degli investimenti.

Nessuna tecnologia analizzata ha riportato indici di sostenibilità globali bassi in termini assoluti, ossia considerando l'intero range definito tra il valore minimo e massimo. Queste considerazioni portano a rinfrancare il concetto alla base dell'intero lavoro: nessuna tecnologia può essere definita assolutamente "buona" o "cattiva" a priori, ma risultano di estrema importanza le contestualizzazioni ambientali, socio-istituzionali ed economiche all'interno delle quali operano gli impianti.

Considerando lo studio proposto come un primo livello di approccio all'estensione della simulazione Eureka a impianti termici e cogenerativi, si propone un'ulteriore analisi relativa la componente sicurezza dell'utente per trasformare le valutazioni qualitative in quantitative, come naturale sviluppo del progetto. Un altro spunto d'implementazione potrebbe essere l'estensione del modello alla trigenerazione e alla produzione di energia frigorifera.

Nell'ottica di mantenere la valenza futura dello studio effettuato, si consiglia la revisione delle quote di produzione di energia elettrica nazionale e l'aggiornamento dei parametri operativi consigliati.

Questo studio rappresenta quindi il punto di partenza per lo sviluppo futuro di un *energy game*, analogo a quello già esistente per l'energia elettrica; tutto ciò in collaborazione con il team Eureka, che ha da sempre gestito il progetto con dinamicità, apertura a revisioni ed aggiornamenti e forte spirito di cooperazione.

Indice Figure

Figura 1-1: Logo progetto Eureka!	9
Figura 1-2: associazione ed università patrocinatori il progetto Eureka!	9
Figura 1-3: Simulazione Eureka! per impianto fotovoltaico (sezione introduttiva)	11
Figura 1-4: Simulazione Eureka! impianto fotovoltaico (sezione economica, parte 1).....	12
Figura 1-5: Simulazione Eureka! impianto fotovoltaico (sezione economica, parte 2).....	13
Figura 1-6: Simulazione Eureka! impianto fotovoltaico (sezione economica, parte 3).....	14
Figura 1-7: Simulazione Eureka! impianto fotovoltaico (sezione socio-istituzionale, parte 1).....	15
Figura 1-8: Simulazione Eureka! impianto fotovoltaico (sezione socio-istituzionale, parte 3).....	16
Figura 1-9: Simulazione Eureka! impianto fotovoltaico (sezione ambientale, parte 1)	17
Figura 1-10: Simulazione Eureka! impianto fotovoltaico (sezione economica, parte 2).....	18
Figura 1-11: Simulazione Eureka! impianto fotovoltaico (sezione ambientale, parte 3)	19
Figura 1-12: Simulazione Eureka! impianto fotovoltaico (sezione ambientale, parte 4)	20
Figura 1-13: Simulazione Eureka! impianto fotovoltaico (sezione risultati)	21
Figura 1-14: Tecnologie disponibili per la simulazione Eureka!	22
Figura 1-15: Composizione indice Eureka.....	23
Figura 1-16: Peso componenti ambientali per tecnologie tradizionali.....	28
Figura 1-17: Peso componenti ambientali per tecnologie rinnovabili	28
Figura 1-18: Peso componenti (impatto socio-istituzionale)	39
Figura 1-19: Classificazione Sostenibilità	42
Figura 2-1: Consumi termici in Italia per fonte energetica: anno 2013	45
Figura 2-2: Bilancio energia elettrica nazionale: anno 2014	50
Figura 2-3: Produzione nazionale di energia elettrica per fonte: anno 2014	50
Figura 2-4: Impatto ambientale: risultati questionari sul peso relativo delle componenti	53
Figura 2-5: Impatto socio-istituzionale: risultati questionari sul peso relativo delle componenti	54
Figura 2-6: Composizione dell'indice di Herfindhal-Hirschmann per l'energia elettrica di importazione	65
Figura 2-7: Classificazione sostenibilità: impianti termici	76
Figura 3-1: Cogenerazione in Italia: anno 2013	78
Figura 3-2: Produzione di Energia Elettrica CAR: anno 2013	80
Figura 3-3: Impatto ambientale: risultati questionari sul peso relativo delle componenti	86
Figura 3-4: Impatto socio-istituzionale: risultati questionari sul peso relativo delle componenti	86
Figura 3-5: Classificazione sostenibilità: impianti cogenerativi	112

Indice Tabelle

Tabella 1-1: Corrispondenza classificazione-valore	24
Tabella 1-2: Esempio componente <i>Vegetazione</i> : Indice d'impatto.....	25
Tabella 1-3: Classe di popolazione	26
Tabella 1-4: Indici d'impatto <i>Cambiamenti Climatici</i>	26
Tabella 1-5: Esempio Impatto Ambientale	27
Tabella 1-6: Indici di sostenibilità ambientale	29
Tabella 1-7: Esempio componente <i>sviluppo rete elettrica</i> : indice d'impatto	31
Tabella 1-8: Indici d'impatto <i>regolazione della frequenza</i>	31
Tabella 1-9: Indici d'impatto <i>esigenza di bilanciamento della rete</i>	32
Tabella 1-10: Indici d'impatto <i>necessità impianti convenzionali di backup</i>	33
Tabella 1-11: Indici d'impatto <i>riduzione della dipendenza energetica dall'estero</i>	34
Tabella 1-12: Indice d'impatto <i>rafforzamento della sicurezza di approvvigionamento</i>	35
Tabella 1-13: Indici d'impatto <i>creazione occupazione lavorativa nazionale</i>	37
Tabella 1-14: Esempio Impatto Socio-Istituzionale.....	38
Tabella 1-15: Indici di sostenibilità socio-istituzionale	39
Tabella 1-16: Indici di sostenibilità economica	41
Tabella 2-1: Fabbisogno termico annuale - parte 1	43
Tabella 2-2: Fabbisogno termico annuale – parte 2	44
Tabella 2-3: Fabbisogno ACS	44
Tabella 2-4: Impatti ambientali della produzione elettrica nazionale	52
Tabella 2-5: Impatti socio-istituzionali della produzione elettrica nazionale	52
Tabella 2-6: Componente Paesaggio: impianti termici	55
Tabella 2-7: Componente Suolo: impianti termici.....	56
Tabella 2-8: Componente Vegetazione: impianti termici	57
Tabella 2-9: Componente Fauna: impianti termici	57
Tabella 2-10: Componente Consumo d'acqua: impianti termici	58
Tabella 2-11: Componente Rumore: impianti termici	58
Tabella 2-12: Confronto sulle emissioni: impianti termici	59
Tabella 2-13: Componente Atmosfera: impianti termici	60
Tabella 2-14: Componente Acque superficiali: impianti termici.....	61
Tabella 2-15: Componente Acque sotterranee: impianti termici	61
Tabella 2-16: Componente Odore: impianti termici	61
Tabella 2-17: Componente Salute umana: impianti termici	62
Tabella 2-18: Confronto emissioni CO _{2,eq} : impianti termici	63
Tabella 2-19: Componente Cambiamenti climatici: impianti termici.....	63

Indice Tabelle

Tabella 2-20: Componente Consumo energia elettrica: impianti termici	63
Tabella 2-21: Componente Riduzione della dipendenza energetica dall'estero: impianti termici	64
Tabella 2-22: Calcolo dell'indice di impatto relativo il rafforzamento della sicurezza di approvvigionamento: impianti termici	65
Tabella 2-23: Componente Rafforzamento delle sicurezza di approvvigionamento: impianti termici	66
Tabella 2-24: Calcolo dell'indice di impatto relativo la creazione di occupazione lavorativa: impianti termici	66
Tabella 2-25: Componente Aumento dell'occupazione lavorativa: impianti termici.....	67
Tabella 2-26: Componente Raggiungimento obiettivi nazionali sulle energie rinnovabili: impianti termici	68
Tabella 2-27: Componente Possibilità di utilizzo per raffrescamento: impianti termici	68
Tabella 2-28: Componente Sicurezza utente: impianti termici	69
Tabella 2-29: Componente Consumo di energia elettrica: impianti termici	70
Tabella 2-30: Variabili per il calcolo del LCOH per caldaia a gas a condensazione	71
Tabella 2-31: Variabili per il calcolo del LCOH per caldaia a biomassa	72
Tabella 2-32: Variabili per il calcolo del LCOH per pompa di calore	73
Tabella 2-33: Variabili per il calcolo del LCOH per solare termico.....	74
Tabella 2-34: Risultati per impianti termici campione.....	75
Tabella 3-1: Componente Paesaggio: impianti cogenerativi.....	87
Tabella 3-2: Componente Suolo: impianti cogenerativi	88
Tabella 3-3: Componente Vegetazione: impianti cogenerativi	89
Tabella 3-4: Componente Fauna: impianti cogenerativi	90
Tabella 3-5: Componente Consumo d'acqua: impianti cogenerativi	91
Tabella 3-6: Componente Rumore: impianti cogenerativi	92
Tabella 3-7: Confronto sulle emissioni inquinanti: impianti cogenerativi.....	93
Tabella 3-8: Componente Atmosfera: impianti cogenerativi	94
Tabella 3-9: Componente Acque Superficiali: impianti cogenerativi.....	94
Tabella 3-10: Componente Acque Sotterranee: impianti cogenerativi	95
Tabella 3-11: Componente Odore: impianti cogenerativi	95
Tabella 3-12: Componente Salute umana: impianti cogenerativi	95
Tabella 3-13: Confronto emissioni CO2 equivalente: impianti cogenerativi	96
Tabella 3-14: Componente Cambiamenti climatici: impianti cogenerativi	96
Tabella 3-15: Componente Sviluppo della rete elettrica: impianti cogenerativi.....	97
Tabella 3-16: Componente Servizio di regolazione della frequenza: impianti cogenerativi	98
Tabella 3-17: Componente Esigenza di bilanciamento della rete: impianti cogenerativi.....	99
Tabella 3-18: Componente Necessità d'impianti convenzionali di backup: impianti cogenerativi.....	99
Tabella 3-19: Componente Riduzione della dipendenza energetica dall'estero: impianti cogenerativi	100

Tabella 3-20: Calcolo dell'indice di impatto relativo il rafforzamento della sicurezza di approvvigionamento: impianti cogenerativi	100
Tabella 3-21: Componente Rafforzamento della sicurezza di approvvigionamento: impianti cogenerativi	101
Tabella 3-22: Calcolo dell'indice di impatto relativo la Creazione di occupazione lavorativa: impianti cogenerativi	102
Tabella 3-23: Componente Creazione di occupazione lavorativa nazionale	102
Tabella 3-24: Componente Raggiungimento degli obiettivi nazionali sull'energie rinnovabili: impianti cogenerativi	103
Tabella 3-25: Componente Possibilità di utilizzo per raffrescamento: impianti cogenerativi	103
Tabella 3-26: Componente Sicurezza dell'utente: impianti cogenerativi.....	104
Tabella 3-27: Variabili per il calcolo del LCOE per motori a combustione interna	106
Tabella 3-28: Variabili per il calcolo del LCOE per microturbine	107
Tabella 3-29: Valori per il calcolo del LCOE per cicli combinati	108
Tabella 3-30: Valori per il calcolo del LCOE per ORC abbinati a caldaia a biomassa	109
Tabella 3-31: Valori per il calcolo del LCOE per ORC abbinati a impianto solare termico	110
Tabella 3-32: Risultati impianti cogenerativi campione	111

Bibliografia

- Autorità per l'energia elettrica il gas e il sistema idrico, Relazione annuale sullo stato dei servizi e sull'attività svolta, 2015
- M Beccarello et al., Smart energy project, Confindustria, 2013
- F. Bianchi et al., Definizione degli indici e livelli di fabbisogno dei cari centri di consumo energetico degli edifici adibiti a scuole- consumi energetici delle scuole primarie e secondarie, Report RSE, 2009
- M. Aprile, Caratterizzazione energetica del settore alberghiero in Italia, Report RSE, 2009
- F. Calise et al., Design and simulation of a prototype of a small-scale solar CHP system based on evacuated flat-plate solar collectors and Organic Rankine Cycle, Energy Conversion and Management 90, 2015, 347-363
- F. Cherubini et al., Energy- and greenhouse gas-based LCA of biofuel and bioenergy systems: Key issue, ranges and raccomandations, Resources, Conservation and Recycling 53, 2009, 434-447
- C. Chiavetta et al., Comparative life cycle assessment of renewable energy system for heating and cooling, Procedia Engineering 21, 2011, 591 – 597
- M. Citterio, G. Fasano, Indagine sui consumi degli edifici pubblici (direzionale e scuole) e potenzialità degli interventi di efficienza energetica, Report RSE, 2009
- C. Copeta et al., Potenzialità della co-generazione e tri-generazione per via solare, Report RdS, 2013
- Fontanella et al., Quaderno solare termodinamico, ENEA, 2011
- V. Francescato et al., Biocombustibili agroforestali, AIEL, 2014
- V. Francescato et al., Apparecchi e caldaie a biocombustibili agroforestali, AIEL, 2014
- N. Di Franco, Quaderno l'efficienza energetica nel settore industria, ENEA, 2011
- F. Di Mario et al., Quaderno biomasse e bioenergie, ENEA, 2011
- EurObserv'ER, Concentrated solar power and solar thermal barometer, 15th EurObserv'ER Report, 2015
- EurObserv'ER, Heat pumps barometer, 15th EurObserv'ER Report, 2015
- EurObserv'ER, Solid biomass barometer, 15th EurObserv'ER Report, 2015
- EurObserv'ER, The state of renewable energies in Europe, 15th EurObserv'ER Report, 2015
- D. Forni, G. Tommasetti, D. Di Santo, Analisi dei dati di funzionamento di macchine cogenerative e linee guida per il dimensionamento e la gestione, Report RSE, 2012
- Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, Direttiva 2009/28/CE del parlamento europeo e del consiglio del 23 aprile 2009 sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE, 2009
- GSE S.p.A., Guida alla cogenerazione ad alto rendimento, Edizione n.1, 2012

Bibliografia

- GSE S.p.A., Rapporto statistico energia da fonti rinnovabili anno 2014, 2015
- GSE S.p.A., Rapporto statistico sulla cogenerazione, 2014
- GSE S.p.A., Terza relazione dell'Italia in merito ai progressi ai sensi della direttiva 2009/28/CE, 2015
- GSE S.p.A., Valutazione del potenziale nazionale di applicazione della cogenerazione ad alto rendimento e del teleriscaldamento efficiente, 2015
- Istat, Annuario statistico italiano 2015, 2015
- A Molocchi, D. Aspromonte, Pompe di calore elettriche a vantaggio dell'ambiente (e si risparmia energia), Nuova Energia 1, 2014, 58 – 63
- Ministro dello sviluppo economico, Bilancio energetico nazionale 2014, 2015
- NREL, Life Cycle Greenhouse Gas Emissions from Concentrating Solar Power, 2012
- Nucleo investigativo antincendi di Roma, Le cause d'incendio e/o di esplosioni nelle caldaie e generatori di calore in ambienti domestici, Corpo nazionale dei vigili del fuoco, 2016-06-16
- L. Rubini, G. Habib, M.Lavra, Tecnologie solari a concentrazione – Produzione di calore a media temperatura, Report RdS, ENEA, 2011
- RSE S.p.A., La pompa di calore per un comfort sostenibile, Editrice Alkes, 2013
- G. Tommasetti, Il calore nel bilancio energetico italiano, 2015
- H. Schweiger, G. Jugmeier, Fuel CHP Systems, Conference “Cogénération biomasse dans l'industrie et sur les réseaux de chaleur opportunités – retours d'expérience – perspectives”, Strasburg, 2007

Sitografia

- <http://www.autorità.energia.it>
- <http://ec.europa.eu/eurostat>
- <http://www.gse.it>
- <http://www.istat.it>
- <http://www.mercatoelettrico.org>
- <http://www.orizzontenergia.it>
- <http://www.progettoeureka.it>

Ringraziamenti

Innanzitutto vorrei ringraziare il Professor Lorenzoni per aver reso possibile la collaborazione a questo progetto, per le parole incoraggianti e per aver sempre dato una risposta ai miei dubbi.

In secondo luogo, vorrei porgere un ringraziamento particolare all'Ing. Ruscito, per avermi dato la possibilità di lavorare al suo progetto ed essersi sempre dimostrato molto disponibile ed interessato agli sviluppi dello studio. Le sue parole si sono sempre rivelate piene di fiducia e un incentivo allo svolgimento di questo lavoro.

Si ringrazia la Prof.ssa Stoppato per la disponibilità nel concedermi del tempo durante le ore di lezione e gli studenti del corso "Impianti Combinati e Cogenerativi" per essersi prestati alla compilazione del questionario.

Ringrazio inoltre il Dr. Pettorossi per la gentilezza dimostrata nell'incontrarsi e confrontarsi.