

POLITECNICO DI TORINO

Facoltà di Ingegneria

Corso di Laurea in Ingegneria Energetica

Tesi di Laurea

**Analisi delle potenzialità di flessibilità elettrica di una unità di consumo:
sviluppo di un flexibility audit per uno stabilimento industriale**



Relatore:

Pierluigi Leone

Candidata:

Giulia Rizzo

Ringraziamenti

A conclusione di questo lavoro di tesi, è doveroso ringraziare quelle persone che più di tutte hanno contribuito alla nascita e allo sviluppo di questo elaborato.

Grazie innanzitutto al mio relatore, il Prof. Pierluigi Leone, che mi ha dato la possibilità di scrivere questa tesi permettendomi sia di conoscere ed approfondire un settore importante come quello del Demand Response, che ho trovato di enorme interesse, sia di intraprendere una vera e propria esperienza lavorativa grazie alla collaborazione con Engie, in cui ho avuto una grande crescita sia personale che professionale. Questo lo devo principalmente al mio tutor aziendale Luca, per la sua disponibilità, la sua comprensione e soprattutto per i suoi consigli, non volti solo alla tesi ma anche al mio futuro. Ringrazio anche ai miei “colleghi” di Engie, grazie ai quali lo sviluppo di questa tesi ha avuto luogo in un ambiente spensierato ed amichevole. Tra questi tengo a ringraziare particolarmente Paola (la mia Marta), Gianluca (insieme alla sua pazienza e disponibilità), Sante (che a modo suo mi ha insegnato ad essere ancora più paziente), Riccardo, Pier (che stavolta non ho dimenticato!) e Rocco (il mio consulente ingegneristico personale) che, oltre ad essere stati dei colleghi, sono stati innanzitutto degli amici con cui ho passato gran parte delle mie serate milanesi. A tal proposito ringrazio anche Ersila ed Eduarda, le mie prime coinquiline (e le migliori che avrei potuto chiedere), che hanno contribuito a rendere unica questa prima esperienza fuori casa.

Il più grande ringraziamento va ai miei genitori, il mio punto di riferimento, e al loro sostegno e alle loro coccole che non sono mai mancati sia durante i momenti di sconforto che hanno costellato questi anni al Politecnico (e che non sono stati pochi!) sia i successi che, uno dopo l'altro, mi hanno permesso di arrivare alla fine. Trovare le parole per ringraziarvi non è mai facile, specialmente in questa occasione, dal momento che è soprattutto grazie a voi ed al vostro supporto che sono arrivata alla conclusione di questi lunghi, ma allo stesso brevi, anni di università.

A Stefano, che ha sempre trovato le parole per darmi la forza e per farmi ridere quando più ne avevo bisogno. Grazie per essere il mio ragazzo e per credere in me più di quanto io creda in me stessa.

Ai miei nonni, Maria e Antonio, che con il loro immenso orgoglio mi hanno sempre fatto sentire la nipote più brava ed intelligente sulla Terra, la loro “ing.” anche quando questo traguardo era ancora lontano. A nonna Liliana, alla sua forza e alla sua allegria che non la lasciano mai e a nonno Angelo, a cui voglio dedicare questa tesi perché, anche se non è qui con me, so che sarebbe stato fiero di me e del mio percorso.

Ai miei zii e ai miei cugini, che con il loro affetto incondizionato mi hanno sempre fatto sentire il loro appoggio.

Ai miei amici, in particolare ad Alessia, la mia compagna di asilo e di avventure, Erminio, Patrick, Alessio, Francesca, Mirko e Matteo e ai miei compagni di università, con cui ho “lottato” durante questi anni di studio.

Glossario

DR – Demand Response

DSM – Demand Side Management

FER – Fonti Energia Rinnovabile

GME – Gestore Mercati Elettrici

MGP – Mercato del Giorno Prima

MI – Mercato Infragiornaliero

MPE – Mercato Elettrico a Pronti

MSD – Mercato per il Servizio di Dispacciamento

MTE – Mercato Elettrico a Termine

TSO – Transmission System Operator

UPDC – Unità Periferica di Distacco Carichi

UPMC – Unità Periferica di Modulazione Carichi

UPMG – Unità Periferica di Modulazione Generazione

UVAC – Unità Virtuali Abilitate di Consumo

UVAM – Unità Virtuali Abilitate di Miste

UVAP – Unità Virtuali Abilitate di Produzione

Indice

Ringraziamenti	1
Glossario.....	2
Indice delle figure.....	5
Indice delle tabelle.....	8
Capitolo 1 – Introduzione	10
1.1 Il sistema elettrico italiano.....	10
1.1.1 Produzione	10
1.1.2 Trasmissione e dispacciamento	13
1.1.3 Distribuzione	13
1.2 Demand Response: una soluzione per l'instabilità della rete	13
1.3 Servizio di Interrompibilità.....	16
1.4 Demand Response.....	18
1.4.1 Prestazione del servizio di dispacciamento attraverso le UVAP	23
1.5 Il mercato elettrico	25
1.5.1 Storia del mercato elettrico italiano.....	25
1.5.2 Struttura del mercato elettrico	28
1.5.3 Mercato Infragiornaliero.....	32
1.5.4 Mercato per il Servizio di Dispacciamento	32
1.6 Flexibility Audit.....	34
Capitolo 2 – Percorso metodologico.....	37
2.1 Raccolta informazioni	37
2.1.1 Unifilare elettrico	39
2.2. Studio del processo	40
2.3. Studio degli effetti.....	42
2.4. Percorso finale	44
Capitolo 3 – Utilities.....	48
3.1. Compressore	48
3.2. Generatore di Vapore	50
3.3. Caldaia ad acqua surriscaldata	52
3.4. Pompa di calore	53
3.5. Chiller elettrico	54
3.6. Pompa a vuoto.....	56
3.7. U.T.A.....	57
3.8. Illuminazione	58
Capitolo 4 – Studio di un caso reale.....	60
4.1. Processo produttivo.....	61
4.1.1. Pre-espansione	61
4.1.2. Maturazione	62
4.1.3. Stampaggio	62
4.2. Applicazione del modello	64
4.2.1. Raccolta informazioni	64

4.2.2.	Studio del processo.....	66
4.2.3.	Studio degli effetti	67
4.2.4.	Outcome finale	71
4.3.	Presentazione dell’offerta	72
4.4.	Eventuali soluzioni migliorative.....	75
4.4.1.	Flexibility Audit con cogeneratore	75
4.4.2.	Flexibility Audit con batteria	77
4.4.3.	Soluzione migliorativa con cogeneratore.....	79
4.4.4.	Soluzione migliorativa con batteria.....	81
Capitolo 5 –	Conclusioni	82
5.1.	Benefici associati all’uso di un Flexibility Audit.....	82
5.2.	Benefici associati al Demand Response	83
5.2.1.	Risultati ottenuti dal progetto pilota sulla UVAC	83
5.3.	Effetti sui costi di dispacciamento	85
Bibliografia.....	88
Sitografia	89

Indice delle figure

Figura 1 – Struttura del sistema elettrico	10
Figura 2 – Riepilogo storico della produzione di energia elettrica in Italia dal 1950	11
Figura 3 – Traguardi raggiunti dagli Stati membri	12
Figura 4 – Produzione lorda di energia elettrica nell'anno 2012 vs 2016	12
Figura 5 – Programmi di Demand Side Management	15
Figura 6 – Diffusione del servizio di Demand Response in Europa (ante del. 300/2017)	16
Figura 7 – Schema di funzionamento di un UPDC	17
Figura 8 – Requisiti per l'abilitazione al Mercato per il Servizio di Dispacciamento (ante e post delibera 300/2017/R/eel)	18
Figura 9 – Modalità di aggregazione delle risorse	20
Figura 10 – Modulazione di capacità "a salire" di una UVAC	21
Figura 11 – Modulazione di capacità "a scendere" di una UVAC	21
Figura 12 – Relazione tra UVAC e Utente di Dispacciamento	23
Figura 13 – Relazione tra UVAP e Utente del Dispacciamento	24
Figura 14 – Potenza abilitata al MSD nei primi mesi del progetto pilota	24
Figura 15 – Percentuali di utilizzo delle principali tipologie di UVAP	24
Figura 16 – Risultati raggiunti da ENEL durante i primi trent'anni di attività	26
Figura 17 – Suddivisione del Mercato Elettrico a Pronti	29
Figura 18 – Zone del mercato elettrico	30
Figura 19 – Determinazione del prezzo di equilibrio come intersezione della curva di domanda e di offerta	31
Figura 20 – Algoritmo di separazione del mercato in zone (market splitting)	32
Figura 21 – Esempio di outcome ottenuto da un modello di flexibility audit applicato ad un generico stabilimento	35
Figura 22 – Esempio di outcome ottenuto da un modello di flexibility audit applicato ad un generico stabilimento con presentazione dell'offerta	36
Figura 23 – Forme utilizzate nella costruzione dei flow diagram	37
Figura 24 – Diagramma di flusso relativo allo step "Raccolta Informazioni"	38
Figura 25 – Esempio diagramma di un processo industriale	38

Figura 26 – Esempio di file Excel contenente la prima parte di informazioni ottenute durante lo step “Raccolta informazioni”	39
Figura 27 – Esempio di schema unifilare.....	39
Figura 28 – Flow chart relativo allo step “Studio del Processo”	40
Figura 29 – Tempi di spegnimento e di riaccensione	41
Figura 30 – Esempio di file Excel contenente la seconda parte di informazioni ottenute durante lo step “Raccolta informazioni”	42
Figura 31 – Flow chart relativo allo step “Studio degli Effetti”	43
Figura 32 – Esempio di file Excel contenente informazioni raccolte durante lo step “Studio degli effetti”	44
Figura 33 – Flow chart relativo allo step “Outcome Finale”	44
Figura 34 – Esempio di matrici “Relazioni Item da Processo” e “Relazioni Item da Unifilare”	45
Figura 35 – Esempio di matrice “Relazioni Complessive Item”.....	46
Figura 36 – Esempio di calcolo per ottenere la matrice “Potenze Complessive”	46
Figura 37 – Esempio di matrice riassuntiva dei valori di potenza e costi complessivi.....	46
Figura 38 – Matrice per la costruzione della curva cumulata, prima della classificazione per merito economico	46
Figura 39 – Matrice per la costruzione della curva cumulata, dopo la classificazione per merito economico	47
Figura 40 – Esempio di curva di merito economico	47
Figura 41 – Classificazione compressori.....	49
Figura 42 – Curva aria compressa in uscita (%) vs potenza assorbita (%) in un compressore	50
Figura 43 – Curva vapore in uscita vs potenza assorbita in una caldaia.....	52
Figura 44 – Schema di funzionamento di una pompa di calore.....	54
Figura 45 – Schema di funzionamento di un chiller elettrico	55
Figura 46 – Esempio di parzializzazione di un chiller elettrico.....	55
Figura 47 – Schema funzionamento di una U.T.A.....	57
Figura 48 – Processo di polimerizzazione dello stirene.....	60
Figura 49 – Processo produttivo EPS.....	61
Figura 50 – Blocchi di EPS	63
Figura 51 – Linea di taglio	64

Figura 52 – Processo produttivo Sive	64
Figura 53 – Schema a blocchi SIVE S.p.A.	66
Figura 54 – Curva di merito economico associata all'unità di consumo preso in esame	72
Figura 55 – Curva di merito economico con presentazione dell'offerta in caso di distacco del carico associato alla macinazione	74
Figura 56 – Tabella per la costruzione della curva cumulata nel caso di autoproduzione.....	76
Figura 57 – Curva di merito economico nel caso di autoproduzione.....	77
Figura 58 – Curva capacità-numero di cicli di una batteria a piombo-acido.....	78
Figura 59 – Schema di funzionamento di una batteria	78
Figura 60 – Curva di merito economico nel caso di sistema di accumulo.....	79
Figura 61 – Cogeneratore considerato per l'analisi dell'investimento.....	80
Figura 62 – Analisi dei flussi di cassa	81
Figura 63 – Potenza abilitata al MSD vs potenza contrattualizzata.....	84
Figura 64 – Potenza abilitata alle sole Unità di Consumo e ai punti misti.....	84
Figura 65 – Quantità di energia flessibile fornita dalle UVAC sul totale.....	85
Figura 66 - Composizione del prezzo dell'energia elettrica per l'utente tipo	85
Figura 67 – Composizione costi di dispacciamento (valori espressi in €/MWh)	86

Indice delle tabelle

Tabella 1 – Tabella relativa allo step “Raccolta informazioni”	65
Tabella 2 – Tabella relativa allo step “Studio del processo”	67
Tabella 3 – Percorso ed effetti associati al pre-espansore da processo produttivo.....	68
Tabella 4 – Tabella per il calcolo del costo degli scarti.....	68
Tabella 5 – Percorsi ed effetti associati ai silos di maturazione da processo produttivo	68
Tabella 6 – Percorsi ed effetti associati alle blocchiere da processo produttivo.....	69
Tabella 7 – Percorsi ed effetti associati alle blocchiere da schema a blocchi.....	69
Tabella 8 – Percorsi ed effetti aggiornati associati alle blocchiere da processo produttivo	69
Tabella 9 – Percorsi ed effetti associati alla macinazione da processo produttivo	69
Tabella 10 – Percorsi ed effetti associati alla caldaia da processo produttivo.....	69
Tabella 11 – Percorsi ed effetti associati all’aria compressa da processo produttivo.....	70
Tabella 12 – Matrice associata alle relazioni tra componenti da processo.....	70
Tabella 13 – Matrice associata alle relazioni tra componenti da schema a blocchi.....	70
Tabella 14 – Matrice associata alle complessive relazioni tra componenti	70
Tabella 15 – Matrice riassuntiva delle potenze e dei costi complessivi associati ai componenti.....	71
Tabella 16 – Matrice riassuntiva delle potenze e dei costi complessivi associati ai componenti aggiornata.....	71
Tabella 17 – Matrice dedicata alla costruzione della curva cumulata prima della classificazione per merito economico.....	71
Tabella 18 – Matrice dedicata alla costruzione della curva cumulata dopo la classificazione per merito economico.....	72
Tabella 19 – Tabella dedicata al calcolo dei costi effettivi e dell’offerta.....	73
Tabella 20 – Tabella per l’associazione del costo associato alla potenza richiesta in caso di distacco del carico associato alla macinazione	74
Tabella 21 – Tabella riferita alla presentazione dell’offerta su MSD.....	75
Tabella 22 – Tabella per la costruzione della curva cumulata nel caso di sistema di accumulo.....	79

Capitolo 1 – Introduzione

A partire dal dopoguerra, con la diffusione di tecnologie che prevedono il consumo di elettricità, si è assistito in Italia a un processo di “elettrificazione” sempre in aumento. Ad oggi, l’impiego dell’energia elettrica è così radicato che sarebbe impensabile di rinunciarvi, dal momento che occupa una posizione di vitale importanza in tante attività della civiltà moderna: nei processi industriali, nelle attività domestiche, nell’illuminazione. L’ente che ci permette di usufruirne ogni giorno è Terna che, in qualità di **Transmission System Operator (TSO)**, ha il compito di trasmettere energia elettrica sulla rete ad alta tensione in tutta Italia, facendo da tramite tra gli enti di produzione e i clienti finali. Per arrivare nelle nostre case, infatti, l’energia elettrica deve passare attraverso tre fasi distinte: produzione, trasmissione e distribuzione.

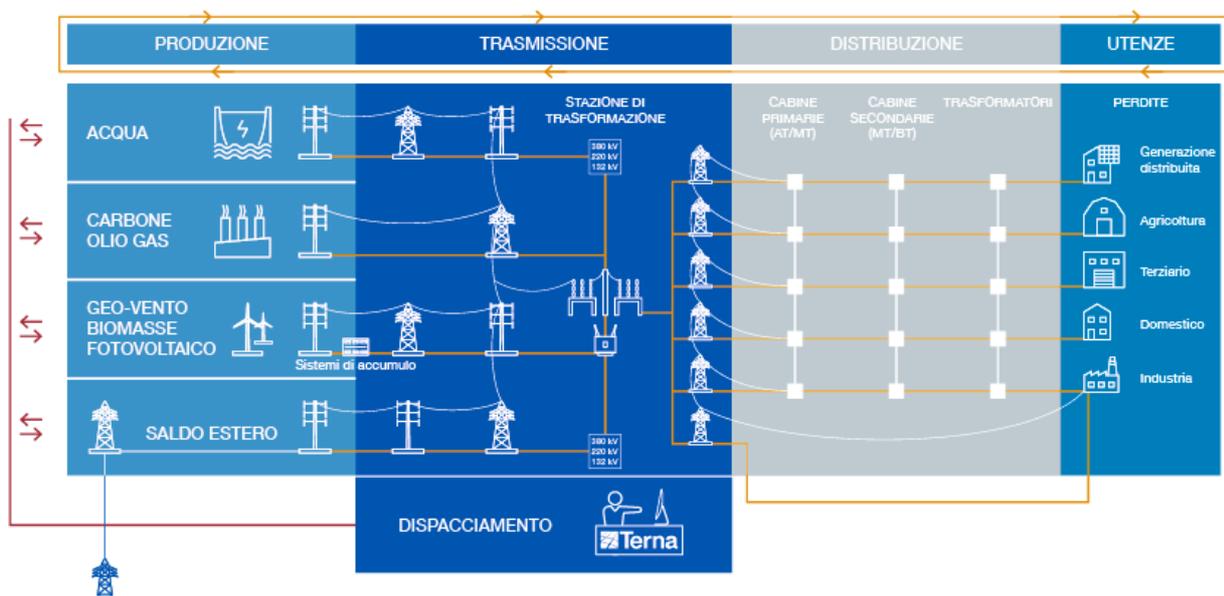


Figura 1 – Struttura del sistema elettrico
(fonte: Terna)

1.1 Il sistema elettrico italiano

1.1.1 Produzione

Dal momento che l’energia elettrica non esiste in natura, bisogna produrla a partire da fonti primarie di energia, come i combustibili fossili, il gas naturale, il vento, la caduta dell’acqua, ecc.... Durante la prima metà del ‘900, la tecnologia maggiormente impiegata per la produzione di energia fu l’**idroelettrica**, con la quale si riusciva a coprire la quasi totalità del fabbisogno energetico, all’epoca ancora molto contenuto. Furono quindi realizzate dighe, gallerie e condotte, specialmente sulle Alpi, ma ben presto l’energia idroelettrica non fu più sufficiente per coprire la domanda elettrica e si ricorse al **termoelettrico**, cioè la generazione di energia elettrica dalla combustione di petrolio, carbone o gas, che ben presto diventò la principale fonte di energia elettrica in Italia.

Riepilogo Storico della Produzione di Energia in Italia

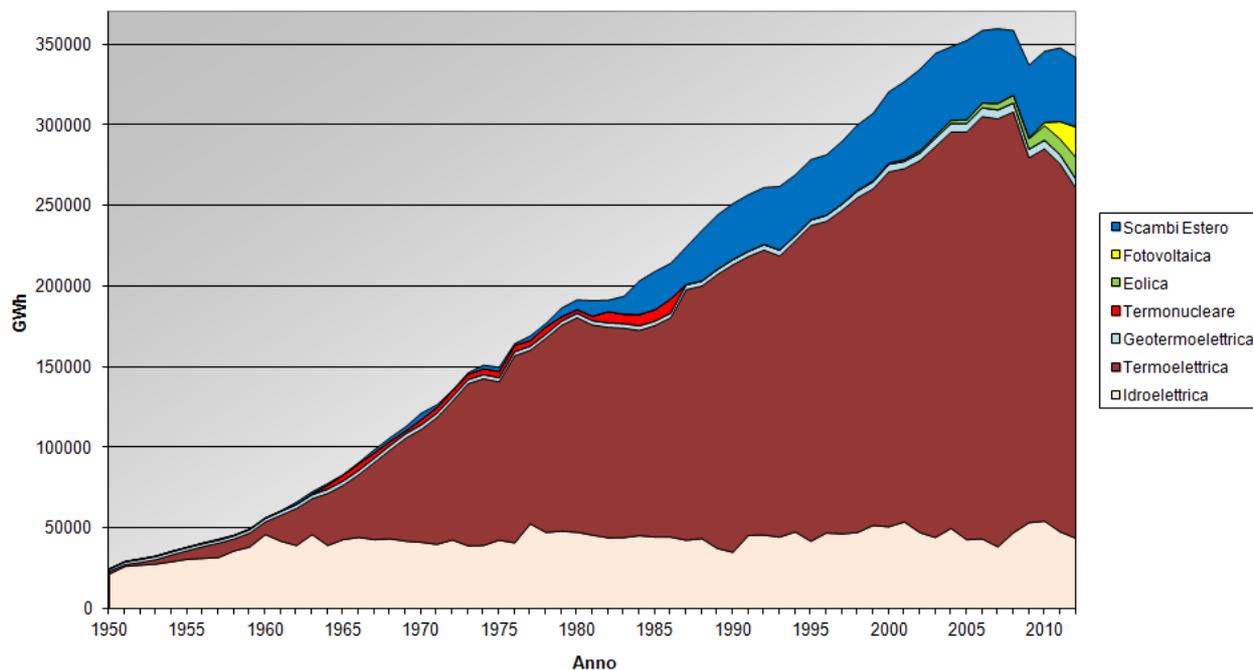


Figura 2 – Riepilogo storico della produzione di energia elettrica in Italia dal 1950

(elaborazione da dati pubblicati da Terna)¹

La diffusione del termoelettrico fu accompagnata dall'interesse verso un'altra tecnologia: l'**energia nucleare**, caratterizzata dall'assenza di emissioni inquinanti e da una buona economicità di esercizio, ma anche da altissimi standard di sicurezza e diverse difficoltà del trattamento dei rifiuti². Pur essendo una fonte di energia "pulita", alcuni Paesi tra cui l'Italia hanno preso la decisione di non usufruirne in seguito al disastro di Chernobyl del 1986 e dello tsunami giapponese nel 2011. Negli ultimi decenni del Novecento, la crescente produzione di energia elettrica da termoelettrico e nucleare ha spostato l'attenzione su tematiche ambientali, in particolare sulla quantità di sostanze inquinanti emesse per produrre energia, come CO₂, SO_x, NO_x. In seguito al maggiore interesse sul tema dei cambiamenti climatici, si è ottenuto un crescente sviluppo di **fonti di energia rinnovabile (FER)** (approfondite nel paragrafo 1.2) incentivato da accordi come il protocollo di Kyoto del 1997, redatto da oltre 180 paesi, il cui scopo fu la riduzione delle emissioni di "gas serra", in particolare di CO₂. L'Europa, in aggiunta, ha imposto il raggiungimento dei seguenti obiettivi, approvati dalla Commissione Europea nel 2009:

- 1) Un taglio dei consumi di energia primaria del 20%;
- 2) Una diminuzione delle emissioni di gas serra del 20% rispetto ai livelli del 1990;
- 3) Il raggiungimento del 20% di energia prodotta da fonti rinnovabili sul totale.

¹ La produzione di energia elettrica viene tutt'ora affiancata dall'importazione: si tratta spesso di energia acquistata da Paesi confinanti come Francia e Svizzera. Secondo la Relazione Annuale dell'Autorità per l'Energia Elettrica, il Gas e il Sistema Idrico del 2015, circa il 15% del fabbisogno interno è ancora fornito dalle importazioni.

² Da *Il Sistema Elettrico*, Redazione dell'Associazione culturale Meteormepoort.net

Nel 2016, la quota di energia prodotta da fonti rinnovabili ha raggiunto in Europa il 17%, il doppio del 2004 (8.5%)³. Tra gli Stati membri, l'Italia è tra le 11 nazioni che hanno già raggiunto i livelli richiesti, come mostrato nella Figura 3, e che si sta quindi muovendo verso gli obiettivi del 2030 che prevedono un consumo di energia da fonti rinnovabili almeno del 27%.

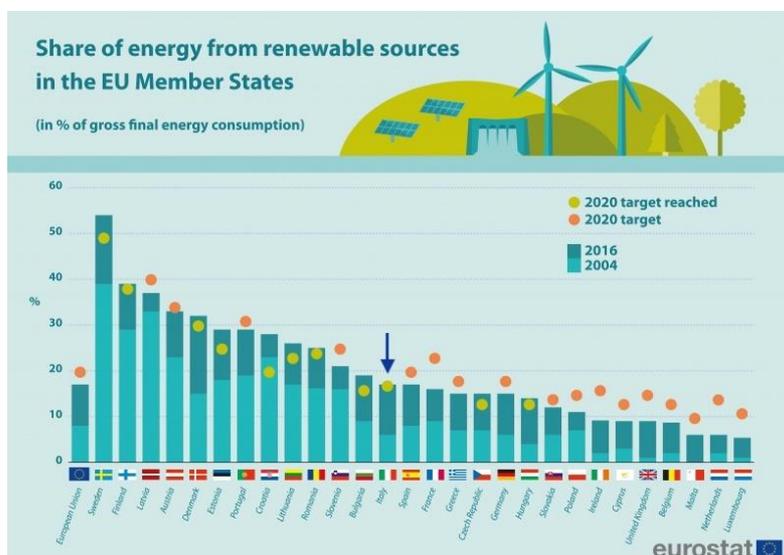


Figura 3 – Traguardi raggiunti dagli Stati membri (fonte: Redazione Banca Dati Sicuromnia)

I progressi relativi alla crescente diffusione delle fonti rinnovabile sono testimoniati dai seguenti grafici che riportano i dati di produzione di energia elettrica lorda per fonte sui dati di GRTN⁴/Terna:

FONTE	2012	2016
Produzione termoelettrica	68,52%	62,16%
Solidi	16,42%	12,31%
Gas naturale	43,12%	43,56%
Prodotti petroliferi	2,35%	1,43%
Altri	6,63%	4,87%
Idroelettrico da pompaggi	0,66%	0,63%
Produzione da fonti rinnovabili	30,82%	37,21%
Idroelettrico	13,99%	14,60%
Eolico	4,48%	6,10%
Fotovoltaico	6,30%	7,64%
Geotermico	1,87%	2,17%
Biomassa e rifiuti	4,17%	6,69%

Figura 4 – Produzione lorda di energia elettrica nell'anno 2012 vs 2016

³ Dal sito del Parlamento Europeo

⁴ Gestore della Rete di Trasmissione Nazionale (GRTN).

1.1.2 Trasmissione e dispacciamento

La rete elettrica nazionale si suddivide in *rete di trasmissione* in alta tensione (da 50 a 380 kV) e in *rete di distribuzione* in media e bassa tensione (da 0.4 a 50 kV). Terna si occupa di trasmettere la rete in alta tensione dai centri di produzione per poi arrivare, attraverso gli enti di distribuzione, alle zone di consumo.

Quando l'Italia era ancora sottoposta al processo di elettrificazione, la trasmissione di energia avveniva direttamente dalle centrali alle città e alle fabbriche che richiedevano energia. In seguito alla diffusione degli impianti di produzione e alla estensione della domanda elettrica, questo modello non era più sufficiente per gestire la trasmissione di energia. Si venne quindi a creare un nuovo modello più capillare, formato da più centri di produzione che attraverso la rete, caratterizzata da valori fissi di frequenza e tensione, arrivano ad alimentare la totalità delle utenze.

Terna, con il ruolo TSO, ha un ruolo fondamentale per il sistema elettrico nazionale, dal momento che ha il compito di garantire il corretto svolgimento delle attività di trasmissione assicurandosi che la quantità di energia prodotta e immessa in rete sia pari a quella consumata e prelevata dalla rete. L'energia elettrica, infatti, non è immagazzinabile al contrario di altre forme di energia (come l'energia chimica stoccata nelle batterie, o l'energia meccanica stoccata nei bacini idrici) e deve essere quindi prodotta istante per istante. La trasmissione avviene, perciò, bilanciando la domanda e l'offerta di energia, al fine di garantire la sicurezza della fornitura e la sua continuità. La gestione in tempo reale di questi flussi di energia si chiama **attività di dispacciamento** o balancing.

1.1.3 Distribuzione

La distribuzione è l'ultimo passo del percorso di consegna dell'energia elettrica verso l'utente finale.

Inizialmente la produzione era svolta in corrente continua e la consegna di energia avveniva dentro brevi distanze. Con il processo di elettrificazione ci fu il passaggio alla corrente alternata che consente il funzionamento di trasformatori ad alta efficienza che consentono la trasmissione anche a lunga distanza.

La distribuzione avviene inizialmente con la trasformazione della corrente in media tensione (15-20 kV) per mezzo di cabine primarie (cioè stazioni di trasformazione) e da media a bassa tensione (sotto 1 kV, solitamente 400 V) nelle cabine secondarie, per poi arrivare all'utente ad un valore di tensione applicabile (400 V per l'industriale e 230 V per il residenziale).

Mentre la gestione della rete di trasformazione è totalmente affidata a Terna, la rete di distribuzione è affidata a diverse società (Paragrafo 1.5.1).

1.2 Demand Response: una soluzione per l'instabilità della rete

Durante lo svolgimento delle attività di dispacciamento, Terna deve confrontarsi con uno scenario in cui la presenza di fonti di energia rinnovabile è sempre maggiore.

Per **fonti di energia rinnovabile** si intendono le forme di energia prodotte da fonti naturali che si rigenerano con almeno la stessa velocità con cui sono consumate e il cui utilizzo non compromette le risorse naturali per le generazioni future.

Tra queste troviamo il solare, l'eolico, l'idroelettrico, la geotermia, l'energia ricavata dal mare.

Le risorse rinnovabili costituiscono quindi una fonte di energia *inesauribile*, un vantaggio rispetto alle fonti tradizionali le quali si rigenerano in tempi molto lunghi e il cui impiego comporta un esaurimento delle risorse disponibili (tra questi il gas naturale, il carbone e il petrolio).

Ma ciò che differenzia principalmente le fonti tradizionali e rinnovabili, è il loro impatto sull'ambiente: dalle FER si ottiene energia *pulita*, cioè a bassissima emissione di sostanze nocive e climalteranti, almeno nella fase di esercizio (ossia escludendo le fasi di costruzione e di smantellamento), al contrario delle fonti tradizionali il cui utilizzo comporta la produzione di sostanze inquinanti. L'energia che si ottiene dalle FER è inoltre energia *gratuita e riciclabile*.

Le risorse rinnovabili presentano tuttavia anche degli svantaggi: esse sono infatti *non prevedibili e intermittenti*, cioè non modulabili (non modificabili su un programma predefinito). Al crescere dell'utilizzo delle risorse rinnovabili cresce, quindi, anche il rischio di instabilità della rete elettrica e la difficoltà con cui il TSO deve garantire l'equilibrio. Una delle soluzioni a questo problema è il **Demand Side Management (DSM)**, che consiste in una serie di "azioni volte a influenzare la quantità o la modalità d'uso dell'energia consumata da parte degli utenti finali, al fine, ad esempio, di "appianare" i picchi e le valli della curva di carico, distribuendo l'energia consumata dagli utenti nell'arco della giornata per garantire una maggiore stabilità della rete".⁵

I primi studi relativi al Demand Side Management risalgono all'America degli anni '70, in cui sono nati programmi con lo scopo di modificare la forma della curva di carico per andare incontro alle esigenze derivanti dalla gestione del sistema elettrico. Gli interventi sulla curva di carico avevano l'obiettivo di:

- abbassare i valori di picco
- spostare i carichi nel tempo
- riempire le valli
- ottenere una forma flessibile dei carichi

⁵ Da *OrizzontEnergia*.

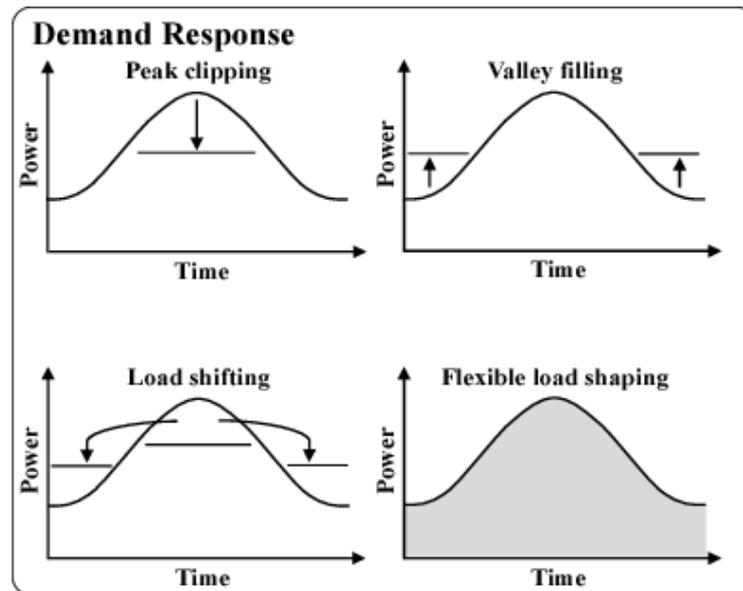


Figura 5 – Programmi di Demand Side Management

(fonte: *History of Demand Side Management and Classification of Demand Response Control Schemes*, Ioannis Lampropoulos, Wil L. Kling, Paulo F. Ribeiro)

Alcuni di questi programmi si basavano su tariffe dinamiche e variabili, al fine si appiattire il più possibile la curva di domanda, offrendo prezzi bassi nei periodi fuori picco e alzandoli nei momenti di maggiore criticità. Questo insieme di programmi prende il nome di **Dynamic Pricing** e comprende:

- *Critical Peak Pricing (CPP)*: i clienti pagano durante l'anno un prezzo costante, tranne in alcuni giorni critici, in cui la rete non è stabile, di cui sono informati con un giorno di anticipo e dove i prezzi associati sono più alti.
- *Real Time Pricing (RTP)*: si tratta della tipologia di tariffa più flessibile per lo spostamento dei carichi dell'utente. I clienti, principalmente commerciali e industriali, sono informati sull'andamento dei prezzi orari in un periodo che va da un giorno prima a un'ora prima del momento di effettivo utilizzo.
- *Time of Use (TOU)*: assegnano a diverse fasce orarie un valore tariffario. Il prezzo sarà più elevato durante i momenti di maggiore congestione della rete (di picco) e più bassi durante le ore fuori picco.

Negli anni '80 si è cominciato ad avere una maggiore attenzione alla gestione dei carichi, per evitare problemi dovuti ai sovraccarichi, e all'efficienza energetica, proponendo non solo uno spostamento temporale dei consumi ma anche una riduzione permanente. Per questo motivo inizia a diffondersi una nuova soluzione che è il **Servizio di Interrompibilità** o curtailment, il cui funzionamento verrà approfondito nel Paragrafo 1.3.

Tra la fine degli anni '90 e l'inizio degli anni 2000, dal momento che la richiesta di energia elettrica era cresciuta esponenzialmente, il concetto di DSM si è spostato in un'ottica di partecipazione della domanda, o Demand Response (DR). Con la direttiva UE sull'efficienza energetica 2012/27/EU si erano poste le basi per lo sviluppo del DR nei mercati europei, che venne ulteriormente incentivato

dalla “bozza di direttiva su regole comuni nei mercati interni dell’energia⁶” del 2016 proposta dalla Commissione Europea. Lo scopo di quest’ultima era:

- Lo sviluppo dell’utilizzo della DR nei mercati elettrici;
- La definizione della figura dell’aggregatore;
- La definizione, in caso di attivazione della DR, delle modalità di valorizzazione dell’energia e degli sbilanciamenti.

Tuttavia, fino al 2016, nel mercato elettrico italiano viene inteso come Demand Response solamente il servizio di interrompibilità, il quale però non prende parte al mercato del bilanciamento.

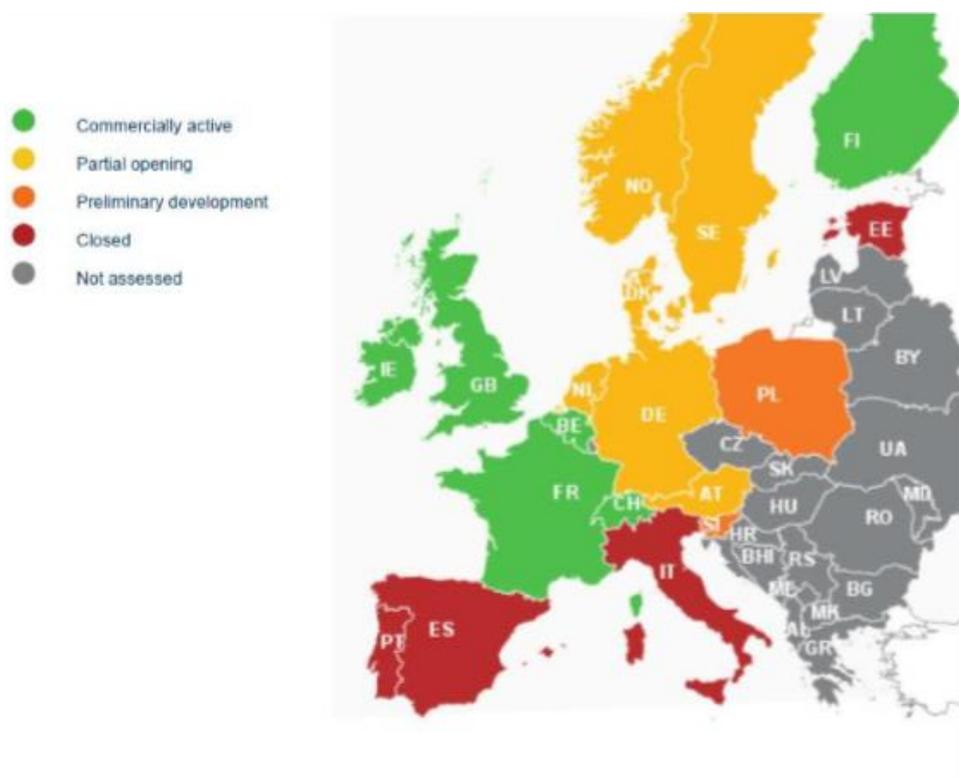


Figura 6 – Diffusione del servizio di Demand Response in Europa
(fonte: SEDC - Explicit Demand Response in Europe Mapping the Markets 2017 (ante del. 300/2017))

1.3 Servizio di Interrompibilità

Nel mese di giugno del 2007, in Italia entra il Servizio di Interrompibilità, ossia una “modalità di gestione del carico che consente di modulare la richiesta di energia elettrica attraverso un deliberato distacco di alcuni carichi della rete⁷”. Il servizio è gestito da Terna, che, attraverso

⁶ Proposal for A Directive Of The European Parliament And Of The Council on common rules for the internal market in electricity, EU Commission, 2016/0380 (COD).

⁷ Da <http://www.peaklma.com>.

dispositivi UPDC (*Unità Periferica di Distacco Carichi*), mostrato in Figura 8, procede col distacco di carichi di alcuni utenti che riescano a garantire una potenza interrompibile di almeno 1 MW, definiti *carichi interrompibili*, i quali ricevono un riconoscimento economico in base alla tipologia di Interrompibilità:

- *Interrompibilità istantanea*: consiste nel distacco istantaneo dei carichi, senza dare preavviso all'utente interrompibile, con un tempo di risposta (ossia il tempo tra l'invio dell'ordine di distacco e l'apertura dell'interruttore) minore di 200 ms.
- *Interrompibilità di emergenza*: il distacco del carico avviene con preavviso e con un tempo di risposta minore di 5 s.

Il dispositivo UPDC ha lo scopo di ottenere la misura del carico in tempo reale, attraverso una misurazione che avviene ogni 4 secondi, e di eseguire il distacco del carico interrompibile. In questo modo il TSO può verificare se l'unità di consumo sta effettivamente diminuendo il prelievo dalla rete.

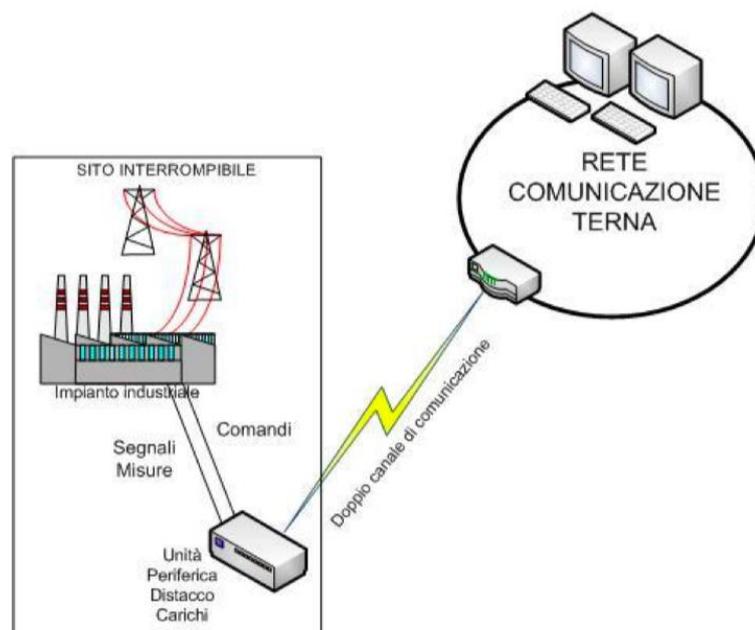


Figura 7 – Schema di funzionamento di un UPDC
(fonte: Terna)

La retribuzione avviene attraverso un'asta al ribasso con decadenza di tre anni a partire da un premio annuo del valore di 150.000 €/MW/anno. Nel caso delle isole maggiori invece, si parla di Super Interrompibilità, che prevede una remunerazione doppia (da 300.000 €/MW/anno) dovuta alla particolare criticità che presentano in termini di bilanciamento elettrico rispetto al resto d'Italia.

Durante il Servizio di Interrompibilità, le utenze contribuiscono alla prevenzione di malfunzionamenti della rete elettrica in modo *passivo* dal momento che non prendono parte ai mercati elettrici, cosa che invece avviene col Demand Response.

1.4 Demand Response

Il Demand Response prevede la partecipazione *attiva* della domanda, essendo un servizio di dispacciamento fornito dai consumatori commerciali e industriali i quali rispondono ai segnali di mercato elettrico riducendo o aumentando il proprio consumo di energia elettrica. Per aderire al servizio è necessario partecipare al Mercato per il Servizio di Dispacciamento (MSD)⁸ che, grazie alla delibera AEEGSI (Autorità per l'Energia Elettrica il Gas e il Sistema Idrico) 300/2017/R/eel del 5 maggio 2017, è stato aperto anche “alla domanda elettrica ed alle unità di produzione anche da fonti rinnovabili non già abilitate, nonché ai sistemi di accumulo”⁹ nell'ambito di progetti pilota. In questo modo è possibile per la domanda partecipare, per la prima volta in Italia, al Mercato per il Servizio di Dispacciamento per fornire servizi di bilanciamento.

Come mostrato nella Figura 8, la partecipazione al MSD in seguito alla delibera prevede:

- Unità di produzione rilevanti programmabili
- Unità di produzione rilevanti non programmabili
- Unità di produzione non rilevanti
- Unità di consumo (domanda)

Le unità di produzione vengono definite *rilevanti* quando “la potenza complessiva dei gruppi di generazione non è inferiore a 10 MVA¹⁰”, e *programmabili* quando sono caratterizzate “non dalla impossibilità di prevedere l’energia elettrica prodotta e immessa in rete, quanto piuttosto dalla difficoltà di controllare e modificare, sulla base di un programma predefinito, la quantità di energia immessa in rete”¹¹.

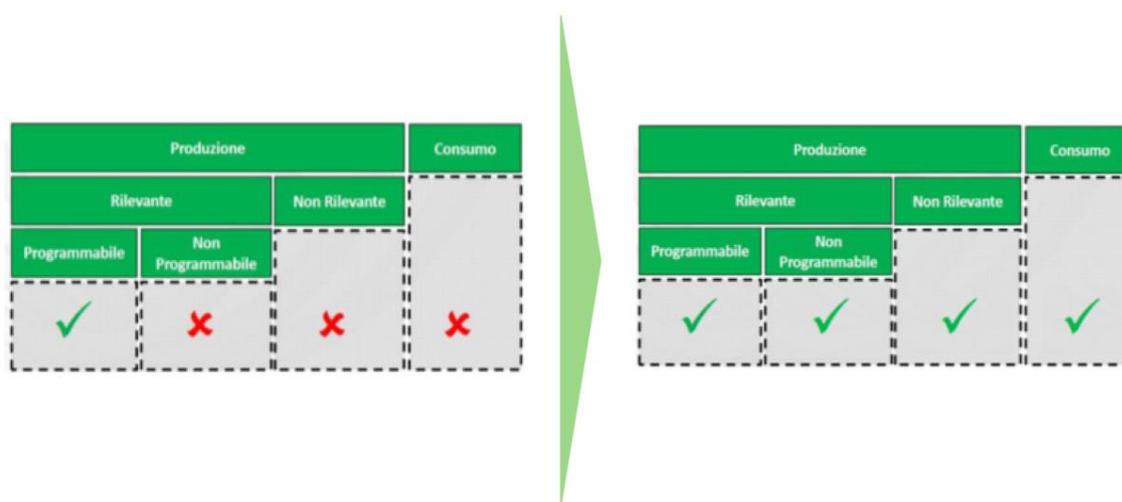


Figura 8 – Requisiti per l’abilitazione al Mercato per il Servizio di Dispacciamento (ante e post delibera 300/2017/R/eel) (fonte: Energy@home)

⁸ Argomento approfondito nel capitolo 1.5.4.

⁹ Dalla *Delibera 300/2017/R/EEL*.

¹⁰ Da *Terna*.

¹¹ Da *ARERA*.

L'apertura di queste nuove risorse (sia di produzione, sia di consumo) è prevista anche in forma aggregata, formando le **UVA (Unità Virtuali Abilitate)**. In particolare:

- **UVAC:** Unità Virtuali Abilitate di Consumo, caratterizzate dalla presenza di sole unità di consumo;
- **UVAP:** Unità Virtuali Abilitate di Produzione, caratterizzate dalla presenza di sole unità di produzione non rilevanti (siano esse programmabili o non programmabili) inclusi i sistemi di accumulo;
- **UVAM:** Unità Virtuali Abilitate Miste, caratterizzate dalla presenza sia di unità di produzione non rilevanti (siano esse programmabili o non programmabili), inclusi i sistemi di accumulo, sia di unità di consumo¹².

Le UVA posso partecipare solo al MSD e non ai mercati dell'energia (Mercato del Giorno Prima e Mercato Infragiornaliero) dove invece possono prendervi parte soltanto le unità di produzione e di consumo singolarmente.

Le regole di partecipazione delle UVAC al MSD sono pubblicate da Terna il 30 maggio 2017 attraverso il «Regolamento recante le modalità per la creazione, qualificazione e gestione di unità virtuali di consumo abilitate al mercato dei servizi di dispacciamento» e la «Procedura e regole per l'approvvigionamento a termine di risorse di dispacciamento per UVAC per il periodo 19 giugno - 30 settembre 2017», la quale è stata aggiornata il 22 dicembre 2017 per il periodo 15 gennaio 2018-31 marzo 2018 e l'8 giugno 2017 per il per il periodo 18 giugno-30 settembre 2018, che costituisce l'ultima versione. Durante questi aggiornamenti sono stati aggiornati i requisiti di potenza minima di distacco e la durata minima della prestazione del servizio di bilanciamento, definiti in seguito.

Secondo le regole definite dal primo progetto pilota avviato da Terna, "a ciascuna UVAC potranno essere associati uno o più impianti di consumo, connessi in alta, media o bassa tensione, purché:

- a) tutti gli impianti di consumo associati alla medesima UVAC risiedano nello **stesso perimetro di aggregazione**, costituito dalla medesima provincia o dall'insieme di più province che sarà comunicato da Terna ma, in ogni caso, appartenenti alla medesima zona di mercato;
- b) ogni impianto di consumo associato alla UVAC sia dotato di una **Unità Periferica di Monitoraggio Carichi (UPMC)** che sia in grado di rilevare e inviare le misure del consumo totale di stabilimento "¹³.

Le unità di consumo possono essere aggregate per formare una UVAC, al fine di ottenere determinati valori di potenza modulabile e di durata di prestazione del servizio, come mostrato nella Figura 9:

¹² Il 19 giugno 2018, Terna pubblica il «Regolamento recante le modalità per la creazione, qualificazione e gestione di unità virtuali abilitate miste al mercato dei servizi di dispacciamento», il quale si trova tutt'ora in fase di consultazione e in attesa di approvazione.

¹³ Da *Progetto pilota ai sensi della delibera 300/2017/R/eel dell'Autorità per l'energia elettrica il gas e il sistema idrico*, Terna.

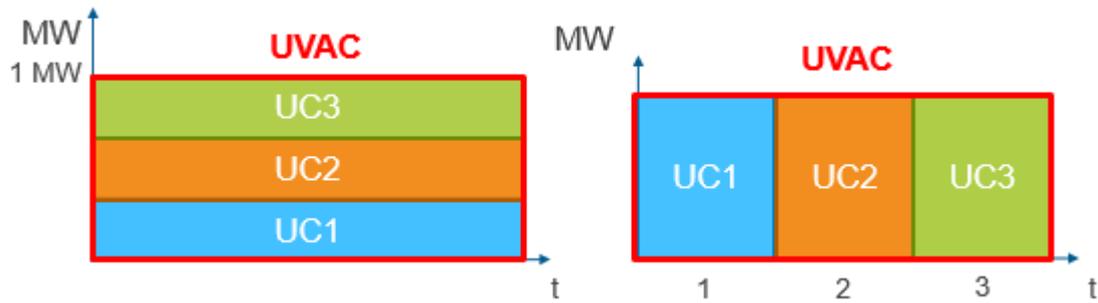


Figura 9 – Modalità di aggregazione delle risorse

La possibilità di aggregazione delle risorse è molto utile, dal momento che una UVAC, per prendere parte al MSD, deve garantire il rispetto dei seguenti vincoli¹⁴:

- Una potenza modulabile non inferiore a **1 MW**¹⁵, anche in forma aggregata;
- La modulazione del prelievo deve avvenire entro **15 minuti** dalla ricezione dell'ordine di dispacciamento di Terna;
- La capacità di incremento dell'immissione ("cioè, fisicamente, di modulare in riduzione il prelievo degli impianti di consumo associati alla UVAC¹⁶") deve essere sostenuta per un periodo almeno pari a **tre ore** consecutive tutti i giorni (dal lunedì al venerdì) dalle 14 alle 20.

La modulazione di potenza di una UVAC può avvenire secondo due modalità:

- **A salire (zona corta)**, quando il consumo supera la produzione. Si definisce "a salire" dal momento che, dal punto di vista della rete, una riduzione dei consumi da parte di una unità flessibile viene vista dalla rete come un aumento della produzione.

La riduzione di potenza richiesta può essere soddisfatta nei seguenti modi:

- o *Riduzione dei consumi*: spegnendo carichi che fanno parte del processo produttivo;
- o *Autoproduzione*: l'energia, invece di essere prelevata dalla rete viene autoprodotta, ad esempio con sistemi di cogenerazione.
- o *Accensione dei sistemi di back-up*: analogamente al caso precedente, l'energia non viene prelevata dalla rete ma dai sistemi di accumulo.

L'effetto che si ottiene sulla curva di carico, indipendentemente dalla modalità scelta, è il seguente (ipotizzando una modulazione di 1 MW):

¹⁴ Dal Regolamento recante le modalità per la creazione, qualificazione e gestione di unità virtuali di consumo abilitate al mercato dei servizi di dispacciamento (MSD) – Terna.

¹⁵ Valore che è stato portato inizialmente da 10 a 5 MW e infine da 5 a 1 MW con le ultime regole per l'approvvigionamento a termine, così come il periodo minimo di riduzione del carico che è stato portato da quattro a tre ore.

¹⁶ Da Progetto pilota ai sensi della delibera 300/2017/R/eel dell'Autorità per l'energia elettrica il gas e il sistema idrico, Terna.

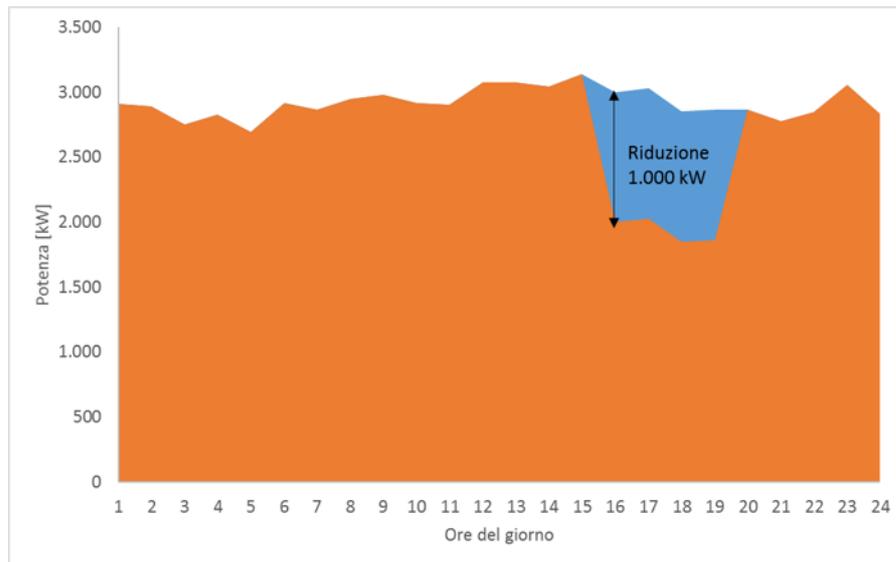


Figura 10 – Modulazione di capacità “a salire” di una UVAC

- **A scendere (zona lunga)**, quando la produzione supera il consumo. L'equilibrio può essere ristabilito attraverso:
 - o *Riduzione/spengimento autoproduzione*: la quota di energia necessaria non viene più fornita dal sistema di autoproduzione, ma attraverso il prelievo dalla rete;
 - o *Aumentando i consumi elettrici*: l'aumento dei consumi può avvenire, ad esempio, attraverso l'accensione di una pompa di calore.

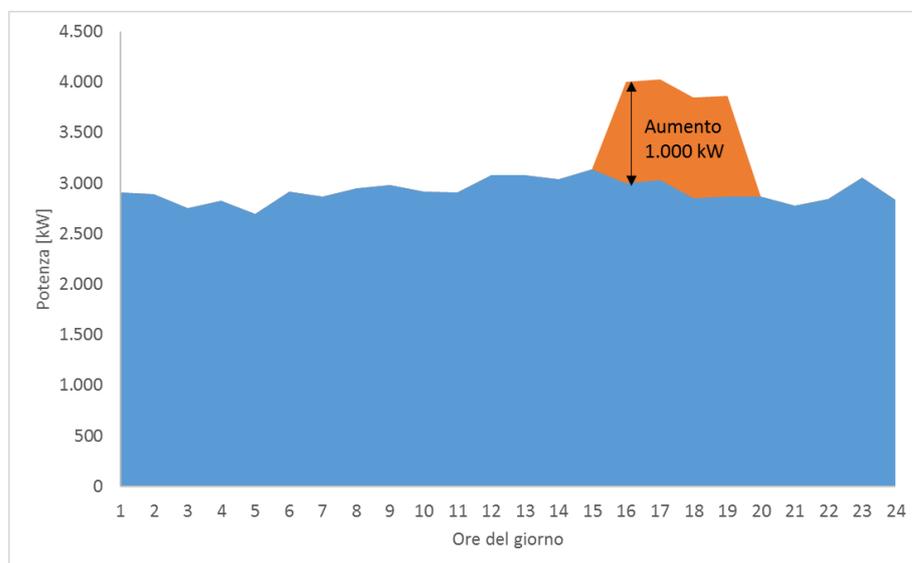


Figura 11 – Modulazione di capacità “a scendere” di una UVAC

Ad oggi, tuttavia, non è permessa la soluzione di aumento di prelievo sulla UVAC ma soltanto di riduzione.

Le unità di consumo che costituiscono una UVAC possono essere:

- Macchinari che consumano elettricità: gruppi frigoriferi, sistemi di ventilazione e aerazione, illuminazione, pompe e pompe di calore
- Sistemi di autoproduzione: cogeneratori e gruppi elettrogeni
- Sistemi di accumulo: batterie

Il servizio di dispacciamento a cui si prestano gli impianti di consumo viene richiesto ogni qualvolta Terna necessita di energia elettrica (in ingresso o in uscita) per garantire il bilancio. È necessario, quindi, che un impianto di consumo sia *flessibile*, cioè che permetta una modulazione del prelievo di energia elettrica dalla rete con effetti tollerabili dall'utenza. Le caratteristiche che influenzano la flessibilità sono:

- La durata della variazione del prelievo
- La frequenza della richiesta di variazione
- La disponibilità alla variazione
- Il tempo di intervento

L'attivazione della flessibilità può avvenire:

- *Manualmente*: lo stabilimento viene avvisato della necessità di modulazione attraverso un SMS, email o telefonata e attiva le sue risorse manualmente;
- *Automaticamente*: l'attivazione delle risorse avviene automaticamente tramite un dispositivo installato presso il sito che viene attivato da remoto. Lo stabilimento viene informato dell'attivazione tramite SMS, email o telefonata.

I soggetti coinvolti nel servizio di Demand Response sono:

- Il **Balance Service Provider (BSP)** o **aggregatore**: è il soggetto titolare della UVAC e responsabile della prestazione dei servizi negoziati su MSD. In tempo reale, il BSP seleziona la Unità di Consumo con cui eseguire l'ordine di dispacciamento. Il BSP è inoltre responsabile dell'eventuale non fornitura del servizio su MSD. "Il BSP accetta che Terna possa verificare a consuntivo, che le offerte presentate siano operativamente attuabili in caso di attivazione delle offerte stesse, con gli effettivi quantitativi di prelievo misurati dell'UVAC"¹⁷.
- Il **TSO**: acquista il servizio dal BSP per soddisfare le esigenze del sistema elettrico.
- Il **cliente**: gestore dell'impianto di consumo, che offre il servizio di flessibilità al TSO e viene remunerato dal BSP.
- Il **Balance Responsible Party (BRP)** o **fornitore**: è Utente di Dispacciamento (UdD)¹⁸ delle unità di consumo incluse all'interno dell'UVAC. Quest'ultima può essere composta da Utenti

¹⁷ Da *Procedura e regole per l'approvvigionamento a termine di risorse di dispacciamento per UVAC per il periodo 15 gennaio 2018 – 31 marzo 2018*, Terna.

¹⁸ L'Utente di Dispacciamento "è il soggetto responsabile di unità di immissione e di prelievo, che vendono e comprano energia attraverso contratti stipulati direttamente tra loro (contratti bilaterali) o alla Borsa dell'energia elettrica. Gli utenti del dispacciamento sono, dal lato delle immissioni, i produttori o loro delegati, dal lato dei prelievi, i clienti finali o loro delegati e l'Acquirente Unico." (da Terna).

di Dispacciamento diversi che a loro volta potrebbero possedere uno o più impianti di consumo, come mostrato nella seguente immagine:

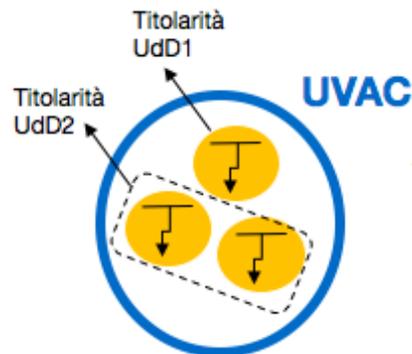


Figura 12 – Relazione tra UVAC e Utente di Dispacciamento
(fonte: Terna)

È importante sottolineare che non è scontato che il BRP sia diverso dal BSP, ma, nel caso in cui lo fosse, il BSP deve sempre controllare che le UVAC (così come i punti di prelievo che le compongono) appartengano allo stesso Utente di Dispacciamento e che rientrino nello stesso perimetro di aggregazione¹⁹.

1.4.1 Prestazione del servizio di dispacciamento attraverso le UVAP

La delibera 300/2017 sopracitata ha permesso la partecipazione al MSD anche “alle unità di produzione anche da fonti rinnovabili non già abilitate, nonché ai sistemi di accumulo”, le quali si presentano anche in forma aggregata formando le **UVAP (Unità Virtuali Abilitate alla Produzione)**.

Il 25 settembre 2017, Terna pubblica il «Regolamento recante le modalità per la creazione, qualificazione e gestione di unità virtuali di produzione abilitate al mercato dei servizi di dispacciamento» che pone le basi per la nascita di un progetto pilota anche sulle UVAP. Secondo tale regolamento, anche per le UVAP valgono i vincoli relativi all'appartenenza dello stesso perimetro di aggregazione e devono essere provviste di un dispositivo (Figura 13) di **Unità Periferica di Modulazione Generazione (UPMG)**, analogo al UPMC per le UVAC. Le uniche differenze consistono nella quantità di potenza modulabile, che deve essere almeno pari a 5 MW e nel sistema di remunerazione che non prevede la partecipazione all'asta al ribasso ma solamente la ricezione del corrispettivo variabile dal MSD.

¹⁹ Da “Regolamento recante le modalità per la creazione, qualificazione e gestione di unità virtuali di consumo abilitate al mercato dei servizi di dispacciamento – Regolamento MSD” – Terna: “tutti i punti di prelievo associati alla [...] medesima UVAC risiedano nello stesso perimetro di aggregazione. Ciascun perimetro di aggregazione è costituito da un insieme di province; la lista dei perimetri di aggregazione è pubblicata da Terna sul proprio sito web”

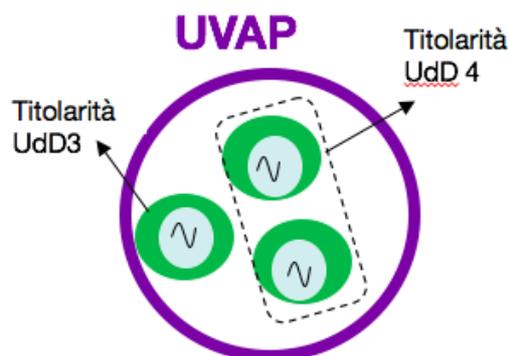


Figura 13 – Relazione tra UVAP e Utente del Dispacciamento
(fonte: Terna)

Come mostrato nelle UVAC, anche nella UVAP la modulazione può avvenire:

- A salire (zona corta): riducendo la produzione, quando la produzione supera il consumo;
- A scendere (zona lunga): aumentando la produzione, quando il consumo supera la produzione.

I primi risultati ottenuti dal progetto pilota sono i seguenti:

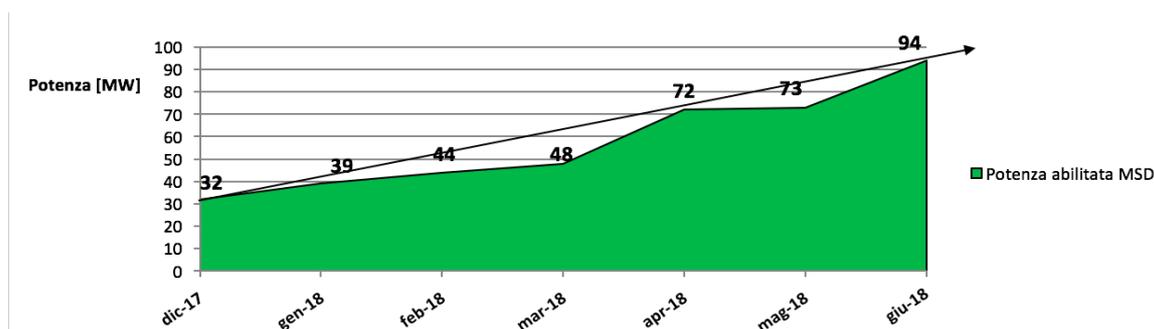


Figura 14 – Potenza abilitata al MSD nei primi mesi del progetto pilota
(fonte: Terna)

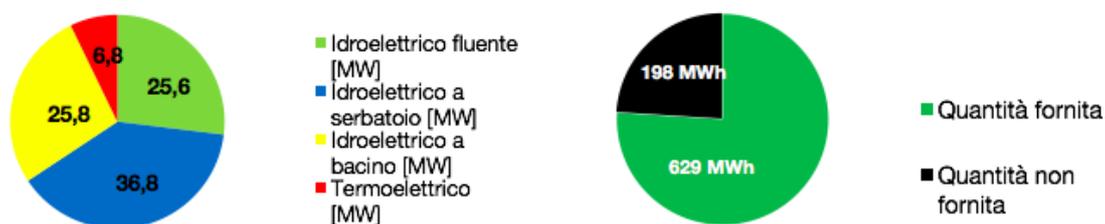


Figura 15 – Percentuali di utilizzo delle principali tipologie di UVAP
(fonte: Terna)

Dalla Figura 17 è evidente come la partecipazione è circa triplicata durante i primi sei mesi di prestazione dei servizi di dispacciamento per mezzo delle UVAP, i quali sono stati soddisfatti principalmente attraverso sistemi idroelettrici e di cogenerazione arrivando a fornire il 76% dei volumi negoziati su MSD nel periodo dicembre 2017- aprile 2018 (Figura 15). In particolar modo, circa il 27% della potenza abilitata è riconducibile a una tipologia di unità di produzione alimentata

da fonte non programmabile, l'“idroelettrico fluente”. Si tratta di una tipologia di centrale idroelettrica, le quali si suddividono in impianti idroelettrici²⁰:

- *Ad acqua fluente*: che sfruttano la portata naturale di un corso d'acqua, posto su due livelli differenti. L'acqua viene prelevata e fatta confluire in un bacino di carico e, tramite un sistema di condotte, raggiunge la centrale idroelettrica, per poi attraverso un canale di scarico e immessa nuovamente nel corso d'acqua.
- *A serbatoio (o ad accumulo)*: Questo tipo di impianti consente di incrementare la produzione di energia delle centrali idroelettriche che utilizzano un impianto a bacino. Gli impianti ad accumulo prevedono l'utilizzo di due serbatoi collocati a quote differenti, uno a monte e uno a valle. Attraverso un sistema di pompaggio, durante le ore in cui la richiesta di energia è minore (ore notturne) l'acqua viene trasferita dal bacino di valle al bacino di monte, permettendo così di far fronte in sicurezza alla maggior richiesta di energia delle ore diurne.
- *A bacino*: il funzionamento di questi sistemi si basa sull'utilizzo di un bacino idrico (serbatoio) che può essere di origine naturale come i laghi o artificiale, e che talvolta possono prevedere la creazione di sbarramenti (dighe), utilizzate per aumentare la portata dei bacini naturali.

Questo tipo di sistema di produzione permette la modulazione della potenza sia “a salire” che “a scendere” semplicemente variando la portata d'acqua nelle turbine idrauliche in base alle necessità della rete.

1.5 Il mercato elettrico

Si tratta di “un vero e proprio mercato fisico dove si definiscono i programmi di immissione e prelievo dell'energia elettrica nella (e dalla) rete secondo il criterio di merito economico²¹”.²² Nei prossimi paragrafi verrà spiegata la nascita del mercato elettrico italiano, la sua suddivisione al fine di approfondire il funzionamento del Mercato per il Servizio di Dispacciamento, dedicato alla flessibilità elettrica.

1.5.1 Storia del mercato elettrico italiano

In seguito a un lungo dibattito pubblico e politico, nel 1962 si giunge all'emanazione della Legge 6 dicembre 1962, n. 1643, chiamata anche *Legge di Nazionalizzazione*, il cui obiettivo era di porre fine alla frammentazione del mercato elettrico italiano che provocava problemi di continuità, qualità e stabilità della rete. Durante l'unificazione del sistema elettrico nazionale, circa 1250 imprese elettriche passarono dall'essere private ad essere di proprietà statale e la loro gestione fu affidata all'Ente Nazionale per l'Energia Elettrica (ENEL), che aveva la funzione di “assicurare con costi minimi di gestione una disponibilità di energia elettrica adeguata per quantità e prezzo delle esigenze di un equilibrato sviluppo economico del Paese”²³. A tale scopo, L'ENEL viene dichiarato titolare di “tutte le attività di produzione, importazione ed esportazione, trasporto, trasmissione, distribuzione e vendita dell'energia elettrica sul territorio nazionale”²⁴ e la produzione di energia

²⁰ Da everenergy.it

²¹ Per *merito economico* si intende il principio secondo cui l'ordine dei prezzi relativo alle vendite è crescente e, viceversa, quello relativo agli acquisti è decrescente.

²² Da GME.

²³ Legge n.1643 del 6 dicembre 1962, Art 1.

²⁴ Legge n.1643 del 6 dicembre 1962, Art 1.

elettrica da parte di privati era concessa solo ai fini dell'autoconsumo.

Dall'emanazione della Legge di Nazionalizzazione al 1992 il mercato elettrico è stato caratterizzato da quello che fu chiamato il "trentennio del monopolio ENEL", gestito da un servizio pubblico fornito da una unica impresa integrata verticalmente²⁵, il quale, nel periodo tra il 1963 e il 1970, fu interessato da un elevato ammodernamento e sviluppo della rete elettrica. L'elettrificazione rurale passò dall'1,27% nel 1962 allo 0,46% nel 1964 di utenti non collegati alla rete elettrica²⁶. Furono inoltre costruiti collegamenti ad alta tensione con l'estero e le isole attraverso cavi sottomarini. I progressi ottenuti da ENEL durante il trentennio sono riassunti nella seguente tabella:

	1963	1995	Variazione (%) (e variazione media annua, %)
Sviluppo linee elettriche (km)	360.000	>1.000.000	+178 (5,6)
Energia fatturata (TWh)	50	229	+358 (11)
Quota energia mezzogiorno (TWh)	10	72	+620 (19)
Potenza efficiente netta (MW)	13.000	54.000	+316 (9,9)
Produzione lorda (TWh)	48	191	+298 (9,3)
Rendimento netto termoelettriche (%)	32,8	37,7	+15 (0,47)
Perdite in rete (% P richiesta)	11,1	6,8	-39 (-1,22)
Popolazione non servita (Mpersone)	1,7	0,1	-94
Utenti/dipendente	192	296	+54 (1,68)
Costo kWh venduto (indice)	100	62	-38

Figura 16 – Risultati raggiunti da ENEL durante i primi trent'anni di attività
(fonte: La Rivoluzione Elettrica, Lazzarin R.)

Nel 1975 il Ministro dell'Industria propone il Piano Energetico Nazionale (PEN) rivolto alla realizzazione di nuove centrali elettriche e alla ricerca di nuove fonti di energia, tra cui l'energia nucleare. Tuttavia il disastro di Cernobyl del 1987 portò al bisogno di attuare nell'anno seguente un nuovo Piano Energetico Nazionale con il "fine di migliorare i processi di trasformazione dell'energia, di ridurre i consumi di energia e di migliorare le condizioni di compatibilità ambientale dell'utilizzo di energia a parità di servizio reso e di qualità della vita²⁷", adattandosi alla politica energetica della Comunità Economica Europea.

Nel corso degli anni si venne a creare un dibattito sia politico che sociale dovuto alla diffusione dell'idea che, per la generazione elettrica, la libera concorrenza sarebbe stata la migliore forma di mercato, pensiero influenzato anche dai cambiamenti in ambito energetico di alcuni Paesi europei. Ciò nonostante, la liberalizzazione impiegò ancora alcuni anni per compiersi, essendo ostacolata da un contesto europeo molto diversificato che rendeva difficile la creazione di un mercato elettrico unico. Il primo passo in Italia fu compiuto soltanto del 1991, con l'emanazione delle leggi 9 e 10. La legge 9/91 "innovò il regime della produzione di energia da fonti convenzionali e prevede interventi nel settore della produzione da fonti rinnovabili proseguendo l'azione iniziata con la Legge

²⁵ Un'impresa viene definita *verticalmente integrata* quando tutte le attività necessarie alla trasformazione della materia prima in prodotto finito consegnato al cliente sono svolte autonomamente dall'impresa stessa. In questo caso specifico le attività svolte riguardano la produzione, trasmissione, distribuzione e vendita dell'energia elettrica.

²⁶ Da *Diffusione della elettrificazione rurale*, Saba V..

²⁷ Dalle *Norme per l'attuazione del Piano Energetico Nazionale in materia di uso razionale di energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia*, Art. 1.

308/82²⁸²⁹ e aprì il settore produttivo elettrico, per la prima volta, anche ai privati, eliminando i vincoli che erano stati imposti con la Legge di nazionalizzazione elettrica del 1962. Attraverso la Legge 10/91 furono invece emanate le “norme per l’attuazione del Piano Energetico Nazionale in materia di uso razionale dell’energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia³⁰”.

Il 1992 fu l’anno che concluse il trentennio del monopolio ENEL dal momento che tutti gli enti di gestione furono convertiti in Società per Azioni. Con il Decreto Legge 11 luglio 1992, l’ENEL diventò perciò ENEL S.p.A. e passò dal possedere il diritto di gestione della rete elettrica ad averne solo la concessione.

In Europa il processo di liberalizzazione si realizzò con la Direttiva 96/92/CE del 19 dicembre 1996 approvata dalla Commissione Europea, che prevede il rispetto dei seguenti principi: “(i) il divieto di attribuire diritti esclusivi per la produzione, l’importazione e l’esportazione di energia elettrica, l’uso e la costruzione di linee di trasporto; (ii) la libertà di accesso alle reti di trasmissione; (iii) la graduale apertura del mercato tramite l’istituzione della figura di clienti liberi di scegliere il proprio fornitore”³¹. Lo scopo previsto è quello di realizzare un mercato elettrico che prevede la libera concorrenza, in modo da migliorare l’efficienza di produzione, trasmissione e distribuzione senza perdere di vista la tutela ambientale.

La Direttiva 96/92/CE della Commissione Europea fu concretizzata in Italia attraverso il Decreto Legislativo n.79 del 16 marzo 1999, meglio conosciuto come “Decreto Bersani”, disponendo che “le attività di produzione, importazione, esportazione, acquisto e vendita di energia elettrica sono libere nel rispetto degli obblighi di servizio pubblico contenuti nelle disposizioni del presente decreto. Le attività di trasmissione e dispacciamento sono riservate allo Stato ed attribuite in concessione al *gestore della rete di trasmissione nazionale*³²³³. L’effetto di questo decreto fu l’apertura del mercato elettrico agli altri operatori (con lo scopo di favorire una maggiore concorrenza e, quindi, tariffe più basse) e la fine della totale gestione del sistema elettrico da parte di ENEL. A tale scopo, il decreto dispone l’*unbundling*, cioè la separazione delle fasi del sistema elettrico che prima erano amministrate esclusivamente da ENEL, cioè la produzione, la distribuzione e la vendita. Questo tipo di disaggregazione viene definita di tipo *verticale*. La separazione avvenne anche *orizzontalmente*, in quanto le attività sopracitate sono ora affidate a nuove società separate costituite da ENEL.

Con l’Art. 2, il Decreto distingue due tipologie di cliente: il *cliente idoneo*, a cui è permesso ricorrere al mercato libero per l’acquisto di energia elettrica e quindi di “stipulare contratti di fornitura con

²⁸ La Legge 308/82 liberalizzò la produzione di energia da fonti rinnovabili senza però provvedere ad alcuna incentivazione.

²⁹ Da *Il percorso legislativo*, Vannini L., Brunetti M..

³⁰ Legge 9 gennaio 1991, n. 10.

³¹ Da *La nuova disciplina del settore elettrico ed il quadro normativo di riferimento*, Molinari G..

³² “Il gestore della rete di trasmissione nazionale esercita le attività di trasmissione e dispacciamento dell’energia elettrica, compresa la gestione unificata della rete di trasmissione nazionale” (dall’Art. 3 del Decreto 16 marzo 1999, n. 79). In questo Articolo si rende il Gestore della Rete di Trasmissione Nazionale (GRTN) responsabile della trasmissione e del dispacciamento dell’energia elettrica sulla rete ad alta e ad altissima tensione, attività che dal 2005 è affidata a Terna S.p.A. (società del gruppo ENEL).

³³ Dal Decreto Legislativo 16 marzo 1999, n. 79, *Attuazione della direttiva 96/92/CE recante norme comuni per il mercato interno dell’energia elettrica*, Art.1.

qualsiasi produttore, distributore o grossista, sia in Italia che all'Estero", e il *cliente vincolato* che invece stipula contratti solamente con il distributore presente nella sua area territoriale, come avveniva prima della liberalizzazione.

Il decreto ha inoltre disposto che, in tutela di questi ultimi, il GRTN costituisca l'**Acquirente Unico (AU)**, una S.p.A. che "stipula e gestisce contratti di fornitura al fine di garantire ai clienti vincolati la disponibilità della capacità produttiva di energia elettrica necessaria e la fornitura di energia elettrica in condizioni di continuità, sicurezza ed efficienza del servizio nonché di parità del trattamento, anche tariffario"³⁴, e del **Gestore Mercato Elettrico (GME S.p.A)** che "organizza il mercato secondo criteri di neutralità, trasparenza, obiettività, nonché di concorrenza tra produttori"³⁵, affidandone la totale gestione del mercato elettrico.

Il decreto prevede inoltre l'istituzione della **Borsa Elettrica o Italia Power Exchange (IPEX)**, operativa dal 2005, col dovere di "favorire l'emergere di prezzi di equilibrio efficienti che consentono agli operatori, produttori e grossisti di vendere e comprare con sicurezza e trasparenza energia elettrica nella maggiore convenienza economica"³⁶. Si tratta di un marketplace telematico che ospita le offerte di acquisto e di vendita dell'energia elettrica.

Infine, il decreto propone, in linea con i principali obiettivi della Commissione Europea, incentivi all'uso delle fonti rinnovabili disponendo che "al fine di incentivare l'uso delle energie rinnovabili, il risparmio energetico, la riduzione delle emissioni di anidride carbonica e l'utilizzo delle risorse energetiche nazionali, gli importatori e i soggetti responsabili degli impianti che, in ciascun anno, importano o producono energia elettrica da fonti non rinnovabili hanno l'obbligo di immettere nel sistema elettrico nazionale, nell'anno successivo, una quota prodotta da impianti da fonti rinnovabili entrati in esercizio o ripotenziati, limitatamente alla producibilità aggiuntiva"³⁷. La suddetta quota è stata fissata pari al 2% dell'energia prodotta o importata, che ad oggi è aumentata dello 0,75%.

1.5.2 Struttura del mercato elettrico

Il mercato elettrico è composto da una serie di sessioni di mercato, cioè di attività finalizzate alla gestione le offerte. Si suddivide in due grandi categorie:

- Mercato elettrico *a termine (MTE)*³⁸: consiste in accordi (*deal*) bilaterali tra operatori di settore, dove i prodotti scambiati sono tendenzialmente standardizzati e a prezzo fisso.
- Mercato elettrico *a pronti (MPE)*: a differenza del precedente non si basa sull'incontro di due parti distinte, ma ogni operatore ha come controparte il mercato stesso, il quale prevede l'incontro tra l'offerta e la domanda.

Quest'ultimo è a sua volta suddiviso in:

- Mercato del Giorno Prima (MGP)

³⁴ Dal Decreto Legislativo n. 79/99, Art. 4.

³⁵ Dal Decreto Legislativo n. 79/99, Art. 5.

³⁶ Da *Vademecum della borsa elettrica*, GME

³⁷ Dal Decreto Legislativo n. 79/99, Art. 2.

³⁸ È stato introdotto dal GME nel 2009 al fine di consentire la consentire la compravendita di energia elettrica su intervalli di tempo più estesi rispetto a quelli giornalieri.

- Mercato Infragiornaliero (MI)
- Mercato per il Servizio di Dispacciamento (MSD)

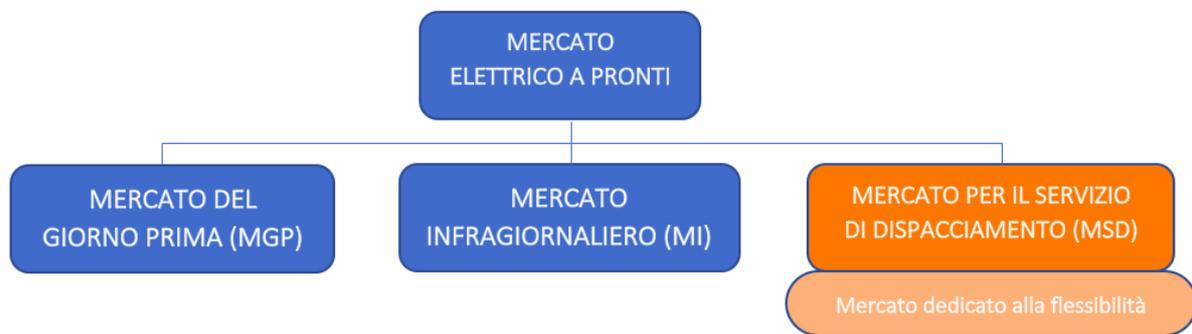


Figura 17 – Suddivisione del Mercato Elettrico a Pronti

1.5.2.1 Mercato del Giorno Prima

Il **Mercato del Giorno Prima (MGP)** “è un mercato per lo scambio di energia elettrica all’ingrosso dove si negoziano blocchi orari di energia elettrica per il giorno successivo, nel quale si definiscono i prezzi e le quantità scambiate e i programmi di immissione e prelievo per il giorno dopo. La controparte centrale per le operazioni di acquisto e vendita sul MGP è il GME”³⁹.

Al fine di individuare ed eliminare eventuali congestioni determinate dai programmi di prelievo e immissione, il GME si serve di una rappresentazione semplificata della rete che mostra unicamente i limiti di transito più rilevanti⁴⁰:

- *Zone geografiche*: porzioni della rete elettrica nazionale per le quali esistono, ai fini della sicurezza del sistema elettrico, limiti fisici di scambio di energia con altre zone geografiche limitrofe (Nord, Centro-Nord, Centro- Sud, Sud, Sicilia, Sardegna).
- *Zone virtuali*: Punto di interconnessione con l’estero (Francia, Svizzera, Austria, Slovenia, Corsica, Grecia) o con un polo di produzione limitato
- *Poli di produzione limitata*: zone costituite da sole unità di produzione, la cui capacità di interconnessione con la rete è inferiore alla potenza installata alle unità stesse.

³⁹ Da *La riforma del mercato elettrico*, ENEA.

⁴⁰ Definizioni tratte da *Il mercato dell’energia elettrica in Italia*, Dicorato M..

zone			
nome zona	acronimo	tipo	dettaglio
Centro Nord	CNOR	geografica	Toscana, Umbria, Marche
Centro Sud	CSUD	geografica	Lazio, Abruzzo, Campania
Nord	NORD	geografica	Val D'Aosta, Piemonte, Liguria, Lombardia, Trentino, Veneto, Friuli Venezia Giulia, Emilia Romagna
Sardegna	SARD	geografica	
Sicilia	SICI	geografica	
Sud	SUD	geografica	Molise, Puglia, Basilicata, Calabria
Brindisi	BRNN	polo di produzione limitato	
Foggia	FOGN	polo di produzione limitato	
Monfalcone	MFTV	polo di produzione limitato	
Priolo G.	PRGP	polo di produzione limitato	
Rossano	ROSN	polo di produzione limitato	
Austria	AUST	virtuale estera	
Slovenia coupling	BSP	virtuale estera	Zona rappresentativa dell'interconnessione dedicata al market coupling tra Italia e Slovenia
Corsica	CORS	virtuale estera	
Corsica AC	COAC	virtuale estera	
Francia	FRAN	virtuale estera	
Grecia	GREC	virtuale estera	
Slovenia	SLOV	virtuale estera	
Svizzera	SVIZ	virtuale estera	
Francia Coupling	XFRA	virtuale estera	Zona rappresentativa dell'interconnessione dedicata al market coupling tra Italia e Francia
Austria Coupling	XAUS	virtuale estera	Zona rappresentativa dell'interconnessione dedicata al market coupling tra Italia e Austria
Malta	MALT	virtuale estera	

Figura 18 – Zone del mercato elettrico
(fonte: GME)

Il giorno che precede la seduta del MGP, il GME rende accessibili agli operatori le informazioni relative al fabbisogno di energia in ogni ora e i limiti di transito che sono consentiti ogni ora tra zone limitrofe in ogni coppia di zona. Il giorno della seduta, gli operatori vi partecipano presentando le proprie offerte su cui vengono indicati la quantità e il prezzo massimo/minimo cui sono disposti a acquistare/vendere. Si tratta quindi di un mercato ad asta in cui tutte le offerte di acquisto ricevute sono ordinate per prezzo *decrescente* in una curva aggregata di domanda, mentre le offerte di vendita ricevute sono ordinate per prezzo *crecente* in una curva aggregata di offerta. Dalla loro intersezione viene determinato il **prezzo marginale di equilibrio** o **Market Clearing Price (MCP)**, la quantità complessivamente scambiata a tale prezzo e le offerte accettate (Figura 19). Questa metodologia per stabilire il prezzo finale di mercato, impiegato in tutte le borse elettriche nel mondo, è conosciuto come *system marginal pricing* e in Italia viene impiegato sia nel MGP sia nel MI.

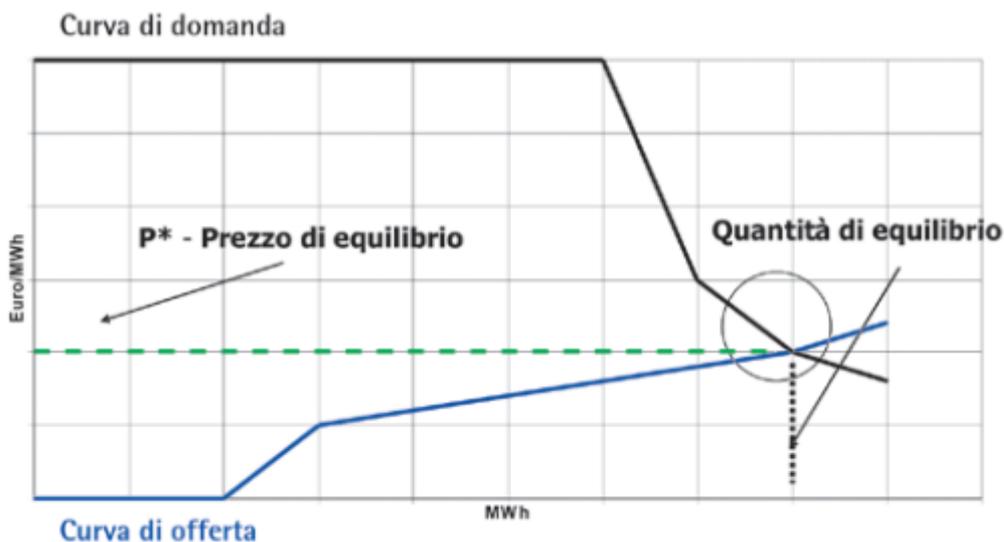


Figura 19 – Determinazione del prezzo di equilibrio come intersezione della curva di domanda e di offerta
(fonte: Il Mercato Elettrico – Enea.pdf)

Se non sono presenti violazioni sui limiti di transito, il prezzo di equilibrio è lo stesso in tutte le zone ed è pari a P^* . In caso contrario, le offerte accettate sono quelle che presentano un prezzo di acquisto che non sia minore di P^* e un prezzo di vendita non maggiore di P^* .

Se invece anche solo un limite di transito viene violato, allora l'algoritmo, noto come **market splitting**, divide il mercato in due zone: una che racchiude tutte le offerte che si trovano a monte del limite, detta di *esportazione*, e un'altra che racchiude invece tutte le offerte a valle del limite, detta di *importazione*. Dopo aver individuato le due zone di mercato, per ognuna si procede costruendo la curva di offerta e di acquisto, come mostrato in precedenza, e individuando il *prezzo di equilibrio zonale* (P_z) che sarà maggiore nella zona di mercato importatrice e minore nella zona di mercato esportatrice. Se continuano ad essere presenti violazioni di limiti di transito nelle zone di mercato si procede nel medesimo modo applicando il processo di suddivisione per ciascuna area.

Il GME ha definito il prezzo di energia elettrica destinata al consumo come un "**Prezzo Unico di acquisto su base Nazionale (PUN)** pari alla media dei prezzi di vendita zonali ponderati per i consumi zonali"⁴¹. Se non sono presenti violazioni sui limiti di transito e tutte le zone presentano un prezzo di equilibrio pari a P^* , allora esso costituisce il valore del PUN.

Il processo seguito dall'algoritmo di market splitting è mostrato nella figura seguente:

⁴¹ Da *La riforma del mercato elettrico* – ENEA.

Separazione del mercato in zone

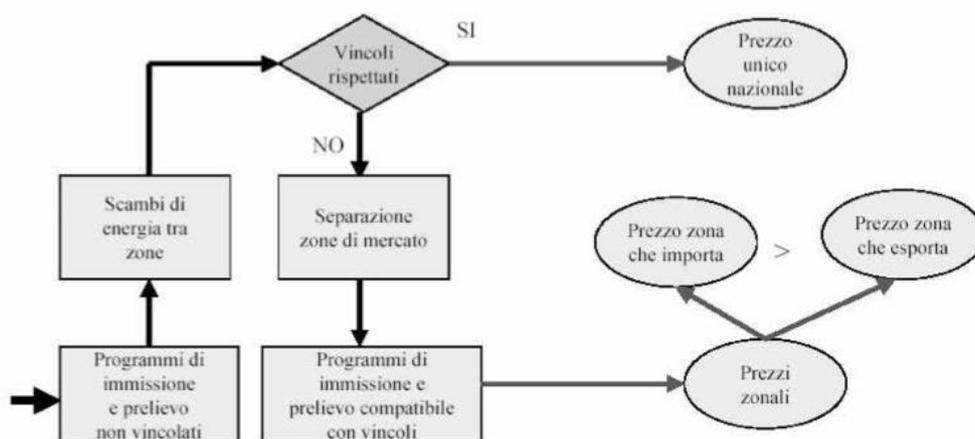


Figura 20 – Algoritmo di separazione del mercato in zone (market splitting)
(fonte: Energy Team Work)

1.5.3 Mercato Infragiornaliero

Il **Mercato Infragiornaliero (MI)**⁴² si articola in 4 sessioni e consente di apportare modifiche ai programmi definiti nel Mercato del Giorno Prima, attraverso ulteriori offerte di acquisto oppure di vendita. Il GME agisce come controparte principale e le offerte di vendita e di acquisto sono scelte in base al medesimo criterio descritto per il Mercato del Giorno Prima, ma, a differenza di esso, le offerte di acquisto sono valorizzate al prezzo zonale.

1.5.4 Mercato per il Servizio di Dispacciamento

Il **Mercato per il Servizio di Dispacciamento (MSD)** è la sezione del mercato elettrico italiano in cui vengono scambiate le risorse che Terna, responsabile della gestione della rete, impiega al fine di garantire lo svolgimento delle attività di dispacciamento descritte precedentemente.

Si articola in due fasi di programmazione:

- *Ex ante*: si svolge in una unica seduta, divisa in tre sessioni, che precede il giorno di consegna in cui “vengono selezionate da Terna le offerte di vendita e di acquisto ai fini della risoluzione delle congestioni residue e della costituzione dei Margini di Riserva”⁴³.
- *Mercato di Bilanciamento (MB)*: si svolge in cinque sessioni, durante il giorno di consegna. Durante la prima sessione vengono prese in considerazione le offerte che sono state presentate dagli operatori nella precedente sessione del MSD ex-ante. “Sul MB Terna accetta offerte di acquisto e vendita di energia al fine di svolgere il servizio di regolazione secondaria e mantenere il bilanciamento, nel tempo reale, tra immissione e prelievi di energia sulla rete”⁴⁴.

⁴² Istituito, ai sensi della Decreto Legislativo n. 79/99 Art.5, in sostituzione del Mercato di Aggiustamento (MA).

⁴³ Da GME.

⁴⁴ Da GME.

Al contrario di quanto avviene con il *system marginal price* impiegato nei mercati MGP e MI, il meccanismo di remunerazione nel MSD funziona attraverso un metodo di fissazione di prezzo: il *pay as bid*. Secondo questo sistema, le offerte accettate (sia per il giorno dopo, in fase ex-ante per la riserva o per le congestioni intra-zonali, sia in tempo reale, in fase di MB per il bilanciamento ed altre eventuali congestioni) sono vendute/acquistate dai produttori ai prezzi da essi presentati.

1.5.4.1 Remunerazioni sui servizi di Demand Response

In ottica di Demand Response, il sistema di remunerazione previsto dal progetto pilota di Terna⁴⁵ prevede:

- Un *premio fisso sulla capacità*, espresso in €/MW/anno: viene definito attraverso un'asta al ribasso di tipo pay-as-bid rispetto a un CAP (valore massimo) pari a 30.000 €/anno per ogni MW reso disponibile, da suddividere su tutte le unità aggregate nell'UVAC. Le aste sono periodicamente istituite dal TSO per l'approvvigionamento a termine delle risorse di dispacciamento, la cui aggregazione è sempre a termine e dura di norma un trimestre. La remunerazione raddoppia nel caso di prestazione del servizio esteso a 6 ore e avviene sempre in relazione capacità resa disponibile, indipendentemente dall'attivazione delle risorse.
- Un *premio variabile sull'energia*, espresso in €/MWh: al contrario del caso precedente, "il corrispettivo variabile verrà riconosciuto con riferimento alle sole quantità accettate su MSD e solo in caso di attivazione delle risorse. In particolare, il corrispettivo variabile sarà pari al prezzo offerto dal titolare dell'UVAC e dovrà essere in ogni caso non superiore allo *strike price*⁴⁶. In caso di presentazione da parte del titolare di una UVAC di una offerta di riduzione del prelievo a un prezzo superiore allo strike price e di selezione dell'offerta, Terna riconoscerà al titolare della UVAC un corrispettivo variabile unitario comunque pari allo strike price"⁴⁷. Lo strike price è stato fissato a un valore pari a 400 €/MWh.

In seguito alla selezione di un'offerta, il TSO verificherà ogni quarto d'ora il livello di consumi, al fine di controllare l'effettiva riduzione del prelievo dalla rete. La prestazione è eseguita con successo se è verificata la seguente formula:

$$P_i \leq P_0 - P_d$$

dove:

- P_i è la totale potenza assorbita dagli impianti di sottostanti l'UVAC, misurata ogni quattro secondi e integrata nel quarto d'ora;
- P_0 è la totale potenza assorbita, misurata ogni quattro secondi e integrata nel quarto d'ora che precede l'invio dell'ordine di dispacciamento;
- P_d è potenza richiesta nell'ordine di dispacciamento.

In base al servizio fornito dall'UVAC, la remunerazione può avvenire secondo quattro casistiche:

⁴⁵ Progetto pilota ai sensi della delibera 300/2017 dell'Autorità per l'energia elettrica il gas e il sistema idrico.

⁴⁶ Valore massimo di offerta sul MSD.

⁴⁷ Dal *Progetto pilota per la partecipazione della domanda al mercato per il servizio di dispacciamento*, Terna.

- *Piena esecuzione del servizio*: se l'ordine di dispacciamento è stato pienamente rispettato, il BSP viene remunerato al prezzo offerto su MSD moltiplicato per la quantità accettata ed eseguita.
- *Parziale esecuzione del servizio*: se l'ordine è stato rispettato solo parzialmente, cioè la riduzione dei consumi avviene in quantità inferiori a quanto previsto dall'offerta accettata da Terna, il BSP viene remunerato a prezzo MSD offerto moltiplicato per la quantità accettata, ma restituisce a Terna la quantità che non ha ridotto, moltiplicata per il prezzo MSD stesso. Il mancato rispetto dell'ordine di dispacciamento prende il nome di **sbilanciamento**.
- *Mancata esecuzione*: se l'ordine viene totalmente non rispettato il BSP viene pagato a prezzo MSD offerto moltiplicato per la quantità accettata ma è tenuto a pagare una penale pari al prodotto tra la quantità di energia non fornita e il prezzo offerto sul MSD maggiorato del 50%.
- *Piena esecuzione, ma oltre quanto richiesto*: se l'ordine viene rispettato oltre quanto richiesto, cioè riduco per quantità superiori rispetto a quelle previste dall'ordine accettato da Terna, il BSP riceve sia la remunerazione sulla quantità accettata che sulla quantità in eccesso la quale, però, non viene pagata al cliente.

1.6 Flexibility Audit

Come già spiegato nel paragrafo 1.4, la prestazione di un servizio di dispacciamento da parte di una unità di consumo avviene spegnendo i carichi associati a macchinari che ne compongono il processo, generando un impatto a livello produttivo. Il corrispettivo variabile di cui sopra è un importo che deve quindi essere stabilito in base al costo di attivazione del servizio e deve coprire i costi variabili dell'impianto dovuti all'interruzione del prelievo elettrico (o al costo di autoproduzione se la riduzione del prelievo dalla rete avviene attraverso l'accensione di un cogeneratore).

A tale scopo si è pensato di sviluppare uno strumento che permetta di stimare il reale costo variabile in modo da presentare al MSD un'offerta adeguata, che copra i costi e garantisca un guadagno: il **flexibility audit**, il cui sviluppo sarà il tema principale di questa tesi. Con questo strumento è possibile scegliere di staccare carichi che permettono di ottenere un limitato impatto sul sito.

Il costo variabile viene espresso in forma oraria, in modo da poterlo estendere per la durata dell'evento. Il costo orario può definirsi:

- **Diretto**: direttamente imputabile al distacco di un carico. Gli esempi di costi orari diretti più frequenti in un impianto produttivo sono, ad esempio:
 - *Costo materie prime*: lo spegnimento di un componente dedicato alla lavorazione di materie prime può provocare la formazione di scarti;
 - *Costo manodopera*: il personale associato a un componente che non sta lavorando è visto come uno spreco di risorse e, quindi, un costo.
- **Indiretto**: che consegue il distacco del carico, ma che non è direttamente imputabile ad esso. Si tratta di una tipologia di costi difficilmente stimabili, dal momento che molto spesso si realizzano nel lungo periodo. Tra questi, i più comuni sono:
 - *Costi di perdita di immagine*: lo spegnimento di un macchinario può provocare ritardi nella lavorazione e, quindi, nelle consegne. Questo si traduce in una potenziale

perdita del cliente, specialmente nel caso di aziende che operano prevalentemente su commessa.

- *Costo di manutenzione*: il continuo spegnimento e riaccensione può causare un deterioramento del componente, che negli anni può tradursi nella necessità di un intervento di manutenzione.

Tutti i costi sono quindi associati a un componente (item), e perciò a una quota di potenza che non viene più prelevata dalla rete. Questi valori vengono riportati in un diagramma cumulativo (come mostrato in Figura 21), chiamata **curva di merito economico**, che mostra nell'asse delle ascisse la potenza cumulata e nell'asse delle ordinate il relativo costo orario associato:

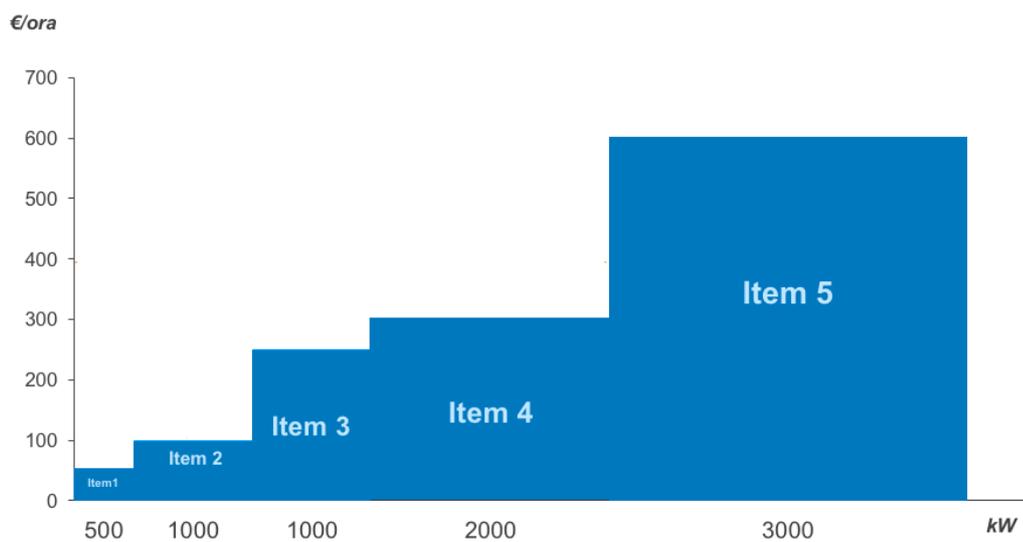


Figura 21 – Esempio di outcome ottenuto da un modello di flexibility audit applicato ad un generico stabilimento

Una volta definiti i costi orari di interruzione per ogni componente, sarà più chiaro associarvi un valore di offerta da portare su MSD che riesca a coprire tali costi e portare un guadagno. L'offerta viene espressa come:

$$\text{Offerta} = \text{costo}_{\text{componente}} + \Delta_{\text{guadagno}}$$

La scelta del valore di guadagno che si vuole ottenere determina il valore dell'offerta da proporre su MSD, il quale viene riportato sul suddetto grafico:

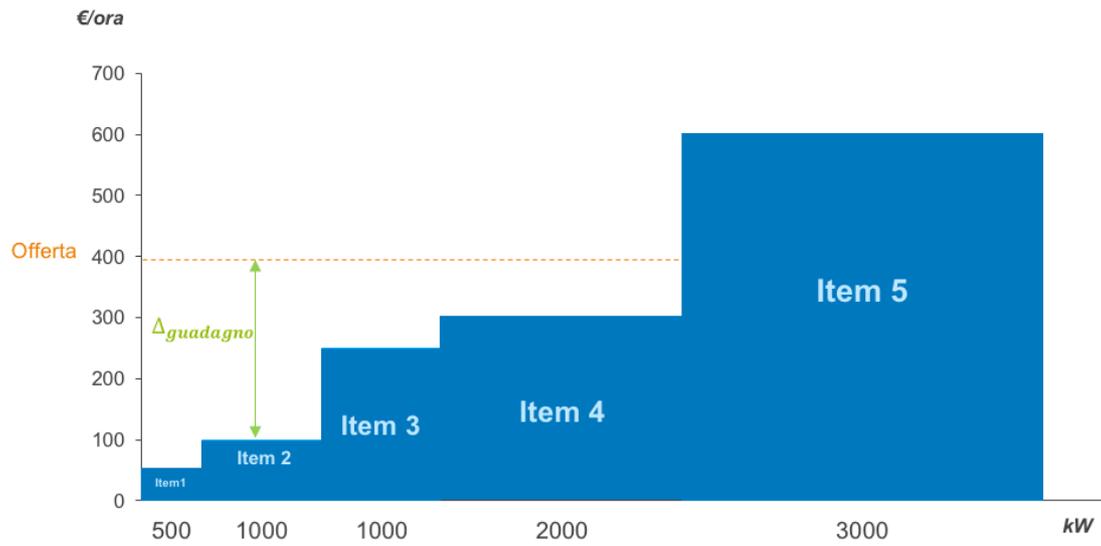


Figura 22 – Esempio di outcome ottenuto da un modello di flexibility audit applicato ad un generico stabilimento con presentazione dell'offerta

I passaggi seguiti per arrivare ad ottenere la curva di merito desiderata sono mostrati nel prossimo capitolo "Percorso metodologico".

Capitolo 2 – Percorso metodologico

Per partire con la creazione di un modello è sicuramente necessario procedere con la raccolta di informazioni necessarie ad ottenere l'outcome desiderato. Nel caso di un Flexibiliy Audit è opportuno avere dati relativi all'unità di consumo in oggetto, permettendo di conoscerla sotto diversi aspetti:

- **Produttivo:** al fine di conoscerne il settore produttivo e comprendere la sua struttura interna a livello di componenti;
- **Elettrico:** per comprendere i legami tra gli interruttori e i componenti del processo;
- **Economico:** per conoscere il vero impatto economico, oltre che produttivo, sull'impianto di consumo, nonché il principale obiettivo di un Flexibility Audit.

Le informazioni ottenute saranno impiegate per comprendere le relazioni tra i componenti che compongono il processo, in modo da poter quantificare l'impatto, sia produttivo che economico, che deriva dal distacco dei carichi durante lo svolgimento di un ordine di dispacciamento.

Al fine di perseguire gli obiettivi descritti, il percorso metodologico che sta alla base dello sviluppo del modello si svolge seguendo i seguenti step:

- *Raccolta informazioni:* per ricavare tutti i dati necessari alla costruzione del modello;
- *Studio del processo:* per conoscere tutte le relazioni presenti all'interno del processo;
- *Studio degli effetti:* per ottenere una consapevolezza sul reale impatto dovuto al distacco dei carichi;
- *Output finale:* per realizzare la *curva di merito economico*, nonché output del modello stesso.

Per ottenere questi obiettivi, ad ogni step corrisponde un diagramma di flusso da seguire che permette di riempire il relativo file Excel che permetterà di ottenere l'output finale.

Nella costruzione del diagramma di flusso, vengono utilizzate le seguenti forme:

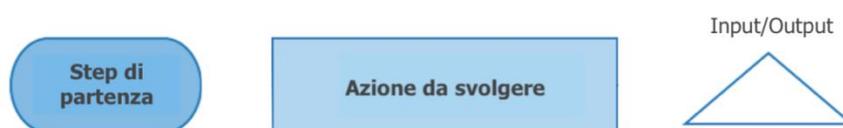


Figura 23 – Forme utilizzate nella costruzione dei flow diagram

Se il triangolo è volto verso l'azione da compiere (o l'informazione da ricavare) significa che ha bisogno di un *input* per essere svolto (o ottenuto); se invece è volto in direzione opposta, significa che da tale azione/informazione si è ricavato un *output*.

2.1 Raccolta informazioni

Il flow chart relativo allo step in questione è il seguente:

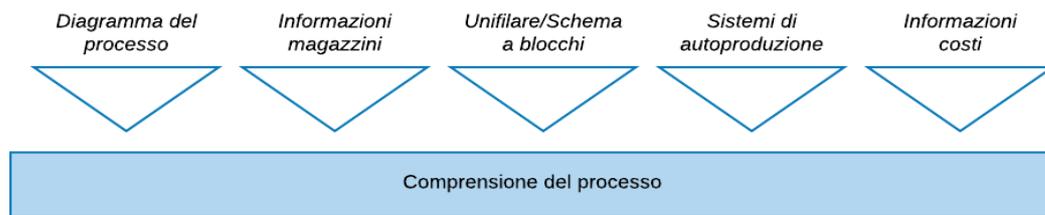


Figura 24 – Diagramma di flusso relativo allo step "Raccolta Informazioni"

Il flow diagram associato allo step "Raccolta informazioni" prevede in ingresso cinque informazioni:

- *Diagramma del processo*: per comprendere al meglio un processo produttivo, è fondamentale sapere di cosa si occupa la produzione, quali sono i componenti che compongono il processo, come sono relazionati tra loro e la posizione di eventuali magazzini, come mostrato nel seguente esempio:

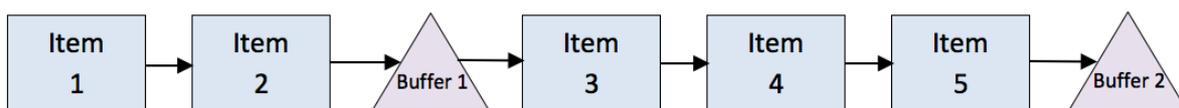


Figura 25 – Esempio diagramma di un processo industriale

Ottenuto il diagramma relativo al processo produttivo è possibile ricavare, per ogni componente, le seguenti informazioni che saranno riportate sul relativo file Excel:

- *Settore*: ogni item fa parte a sua volta di un sotto-processo (ad es: trattamento materie prime);
- *Process category*: "primario" se il componente è strettamente collegato al processo (solitamente linee di produzione) o "secondario" se non è strettamente collegato al processo (ad es: sistemi di raffreddamento, illuminazione...);
- *Asset category*: i sotto-processi definiti precedentemente possono essere costituiti da diverse categorie di processo;
- *Componente*: nome del componente;
- *Componente ausiliario associato*: spesso i macchinari necessitano il collegamento con una tipologia di utility (come verrà approfondito nel Capitolo 3);
- *Quantità componente*: riporta il numero di macchinari presenti della stessa tipologia;
- *Potenza di taglia*: valore relativo alla potenza elettrica consumata dall'item;
- *Note*: eventuali notazioni da riportare utili alla comprensione del processo.

Queste informazioni vengono riportate nella tabella mostrata in Figura 26 per ogni componente.

Settore	Process Category	Asset Category	Componente	Componente Ausiliario Associato	Quantità componente	Potenza Assorbita (kW)	Note
Area trattamento MP	Primario	Pre-espansione	Item 1	Aria Compressa	2	50	800 kg-ora l'uno
Area trattamento MP	Primario	Pre-espansione	Item 2	Aria Compressa	1	45	400 kg-ora
Area trattamento MP	Primario	Stoccaggio	Item 3	Aria Compressa	3	5	37 x 70 m ³ l'uno

Figura 26 – Esempio di file Excel contenente la prima parte di informazioni ottenute durante lo step “Raccolta informazioni”

Ogni componente riportato nella tabella sovrastante, verrà approfondito secondo le informazioni appartenenti al prossimo step “studio del processo”.

- *Magazzini*: è importante conoscere la presenza di magazzini all’interno del processo e la loro capacità, dal momento che consentono di coprire temporaneamente la produzione e limitarne l’impatto;
- *Presenza di sistemi di autoproduzione*: come cogenerazione, gruppi elettrogeni o sistemi di accumulo. La loro presenza permette di eseguire l’ordine di dispacciamento agendo unicamente sul sistema di autoproduzione, senza dover intervenire sulla produzione;
- *Informazioni di costo*: si stimano i costi di manodopera, delle materie prime e l’eventuale presenza di altri costi non considerati;
- *Unifilare associato al processo*: spiegato nel Paragrafo 2.1.1.

2.1.1 Unifilare elettrico

Si tratta di uno schema dell’impianto elettrico che mostra i componenti del circuito elettrico e i collegamenti tra gli stessi, dove possono essere riportati i valori di tensione o di intensità di corrente che lo caratterizzano. Spesso nello schema non vengono rispettate le reali posizioni fisiche dei componenti nell’impianto, né le loro effettive dimensioni.

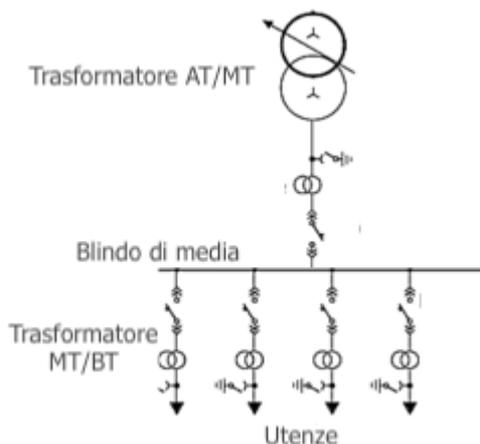


Figura 27 – Esempio di schema unifilare

I principali elementi che caratterizzano uno schema unifilare sono:

- Trasformatore AT/MT che converte la tensione da alta a media;
- Trasformatore MT/BT che converte la tensione da media a bassa e la porta alle utenze.

È necessario munirsi di uno schema unifilare in modo da definire i legami “elettrici” che presentano tra loro i componenti. Il distacco del carico elettrico di un componente potrebbe causare lo

spegnimento di un altro item, collegato al suo stesso interruttore, provocando un effetto a cascata. Questo tipo di relazioni tra componenti vengono chiamate *percorsi*.

2.2. Studio del processo

Dopo la raccolta delle principali informazioni relative agli item che costituiscono il processo produttivo di un sito industriale, si procede percorrendo il seguente flow diagram che colleziona dati più specifici e attinenti al servizio di DSM:

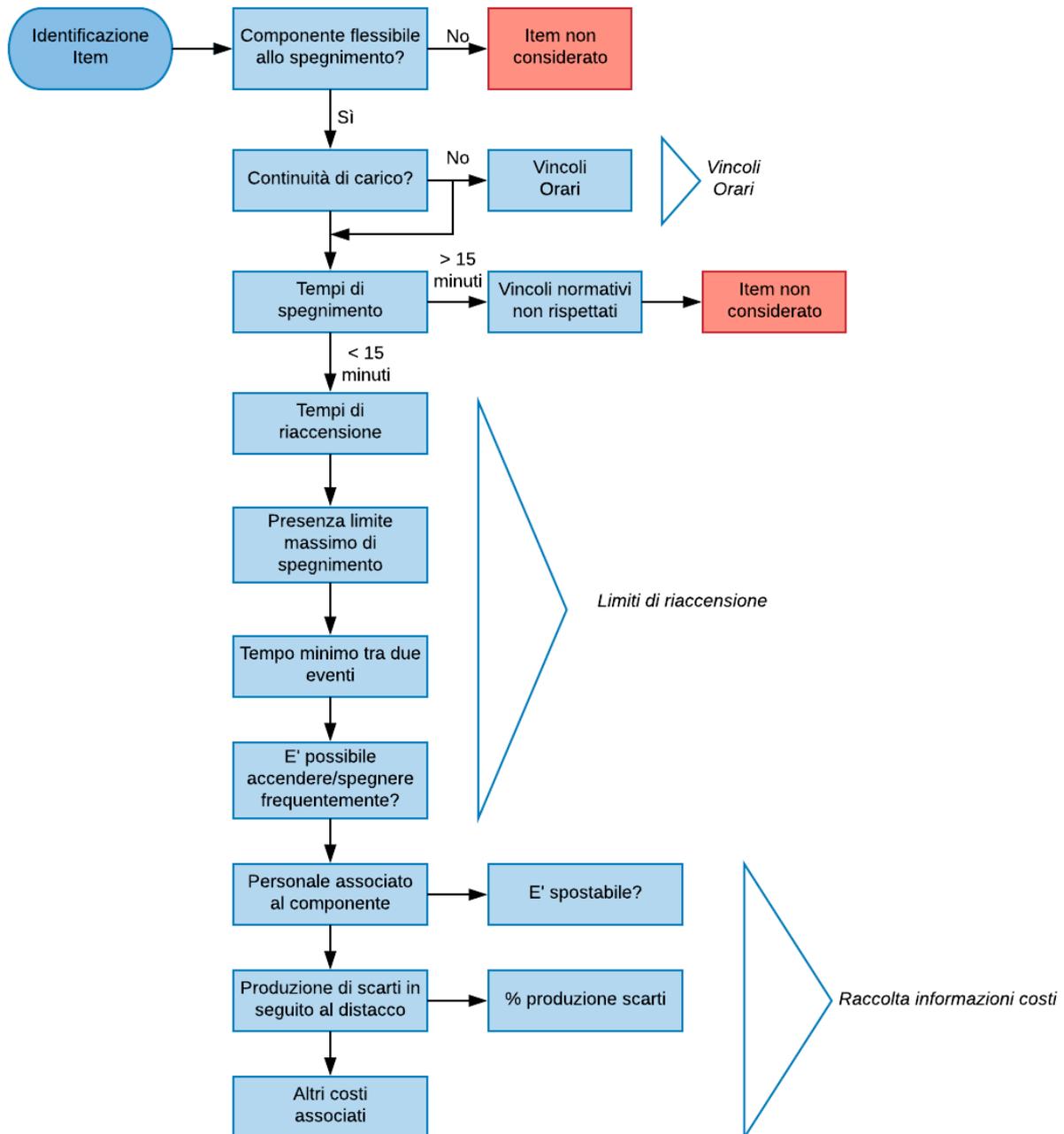


Figura 28 – Flow chart relativo allo step “Studio del Processo”

I passaggi da seguire e le informazioni da ottenere sono le seguenti:

- *Identificazione item*: il percorso comincia considerando lo spegnimento di un componente del processo (ad esempio, riferendosi all'esempio in Figura 25: Item 1).
- *Componente flessibile allo spegnimento?*: a questo punto ci si chiede se il proprietario dell'impianto di consumo sia disposto a spegnere l'item considerato. Se, ad esempio per motivi di sostenibilità del processo, non è possibile proseguire con lo spegnimento, si segue il percorso tracciato dall'uscita "No", si esce dal flow diagram e si ricomincia considerando il prossimo componente (il componente in questione, quindi, non verrà preso in considerazione nell'eventuale richiesta di riduzione dei consumi).
- *Tempi di spegnimento*: si tratta di un'altra informazione che, insieme alla precedente, può portare a non considerare il componente nel modello di Flexibility Audit. Infatti, oltre la disponibilità al distacco, è necessario che il **tempo di spegnimento** (inteso come il tempo che passa dalla ricezione dell'ordine di dispacciamento all'effettivo spegnimento del componente) non siano superiori ai 15 minuti, secondo le richieste di Terna spiegate nel Capitolo 1. In caso contrario, si esce dal diagramma di flusso e si ricomincia considerando un altro componente.
- *Continuità di carico*: a questo punto di individua l'eventuale continuità di funzionamento del componente nell'arco della giornata. Se l'item non lavora in modo continuativo, vengono richieste le fasce orarie di funzionamento (costituendo l'output "vincoli orari"), in modo che, se l'ordine di dispacciamento richiede il suo spegnimento, prima di procedere col distacco si verifica che sia effettivamente disponibile.
- *Tempo di riaccensione*: quanto impiega il componente a tornare operativo, dopo aver prestato il servizio di Demand Response. Solitamente i macchinari impiegano poco tempo per riaccendersi completamente, ma per alcuni potrebbe trattarsi di un tempo più significativo: in tal caso si valuta insieme al proprietario dello stabilimento qual è l'impatto che questo ulteriore ritardo, insieme a quello dovuto allo spegnimento durante la sessione di Demand Response, può comportare sulla produzione e se viene ritenuto accettabile. In caso contrario il componente non viene considerato nel modello di Flexibility Audit.

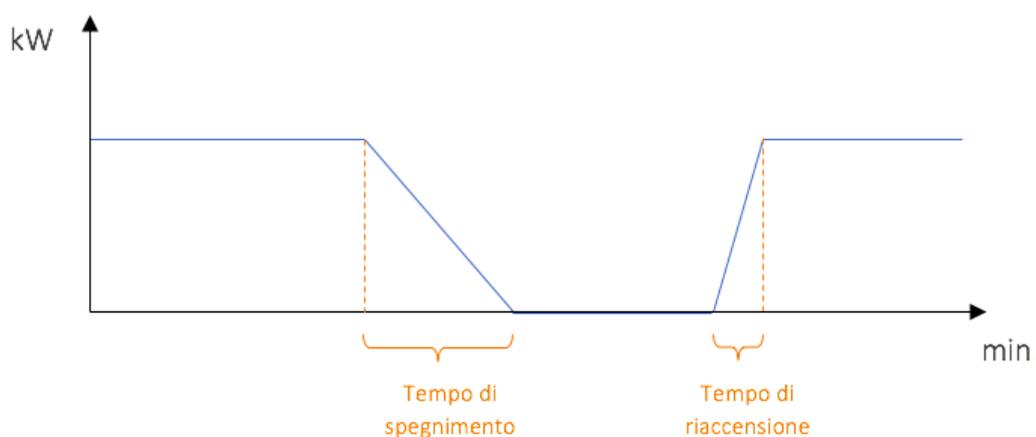


Figura 29 – Tempi di spegnimento e di riaccensione

- *Presenza di un limite massimo di spegnimento*: il proprietario dello stabilimento potrebbe richiedere lo spegnimento di un componente per un periodo massimo di tempo. Come nel

caso dei vincoli orari, si tratta di una informazione che verrà considerata nel caso in cui venga richiesto lo spegnimento di tale item in seguito alla chiamata di Terna.

- *Tempo minimo tra due eventi*: viene richiesto il tempo minimo che può intercorrere tra due richieste di spegnimento dello stesso item.
- *E' possibile accendere/spegnere frequentemente?*: il distacco frequente del carico associato al componente comporta danni allo stesso? Questo dato, insieme alla “presenza di un limite massimo di spegnimento”, al “tempo di riaccensione” e agli eventuali “vincoli orari”, rientrano in una unica categoria di output (“**limiti di riaccensione**”), che vengono prese in considerazione nel caso in cui l’item in questione debba essere spento in seguito alla richiesta di Terna per valutare l’impatto che comportano a livello produttivo.
- *Personale associato al componente*: numero di risorse che lavorano presso il componente considerato.
- *Personale spostabile?*: se un item viene spento, le risorse associate ad esso possono essere spostate ad un altro componente (in questo modo da evitare di incorrere in costi di manodopera).
- *Produzione degli scarti in seguito al distacco*: alcuni item, come i forni fusori delle vetrerie, possono comportare al momento della riaccensione la produzione di scarti di lavorazione. Il vetro infatti potrebbe raffreddarsi durante lo spegnimento del forno e, una volta effettuata la riaccensione, potrebbe non presentare le condizioni di duttilità richieste per la lavorazione, producendo quindi degli scarti.
- *Percentuale di scarti rispetto la produzione oraria*: nel caso in cui lo spegnimento del componente provoca la produzione degli scarti, ci si chiede in quale percentuale rispetto alla produzione oraria. In questo modo si andrà a calcolare qual è il costo di materie prime associato. Questa informazione, insieme a quella relative al personale, rientrano nell’output “**informazioni costi**” e saranno considerate nel il prossimo step in cui si studieranno gli effetti dello spegnimento di un item e i conseguenti costi.
- *Altri costi associati*: eventuali altri costi dovuti allo spegnimento del componente.

Le informazioni ottenute andranno inserite nel relativo foglio Excel:

Continuità del carico (sì/no)	Vincoli Orari	Tempo di spegnimento	Tempo di riaccensione	Componente flessibile allo spegnimento (sì/no)	Limite massimo spegnimento	E' possibile accendere-spegnere frequentemente? (sì/no)	Tempo minimo tra due eventi	Personale associato (numero risorse)	Personale spostabile su altre linee (sì/no)	Produzione di scarti in seguito al distacco (sì/no)	% produzione scarti	Altri costi associati
sì	-	5 minuti	5 minuti	no	-	sì	-	1	no	no	0	-
no	lavora 4 ore nell'arco della giornata	15-20 minuti	5 minuti	no	-	sì	-	1	no	no	0	-
sì	-	5 minuti	5 minuti	no	-	sì	-	0	-	sì	100%	-

Figura 30 – Esempio di file Excel contenente la seconda parte di informazioni ottenute durante lo step “Raccolta informazioni”

2.3. Studio degli effetti

Terminata la fase preliminare di raccolta dei dati e delle informazioni relative al processo, si procede con lo studio dei percorsi e con la definizione degli effetti e dei costi associati seguendo il seguente diagramma:

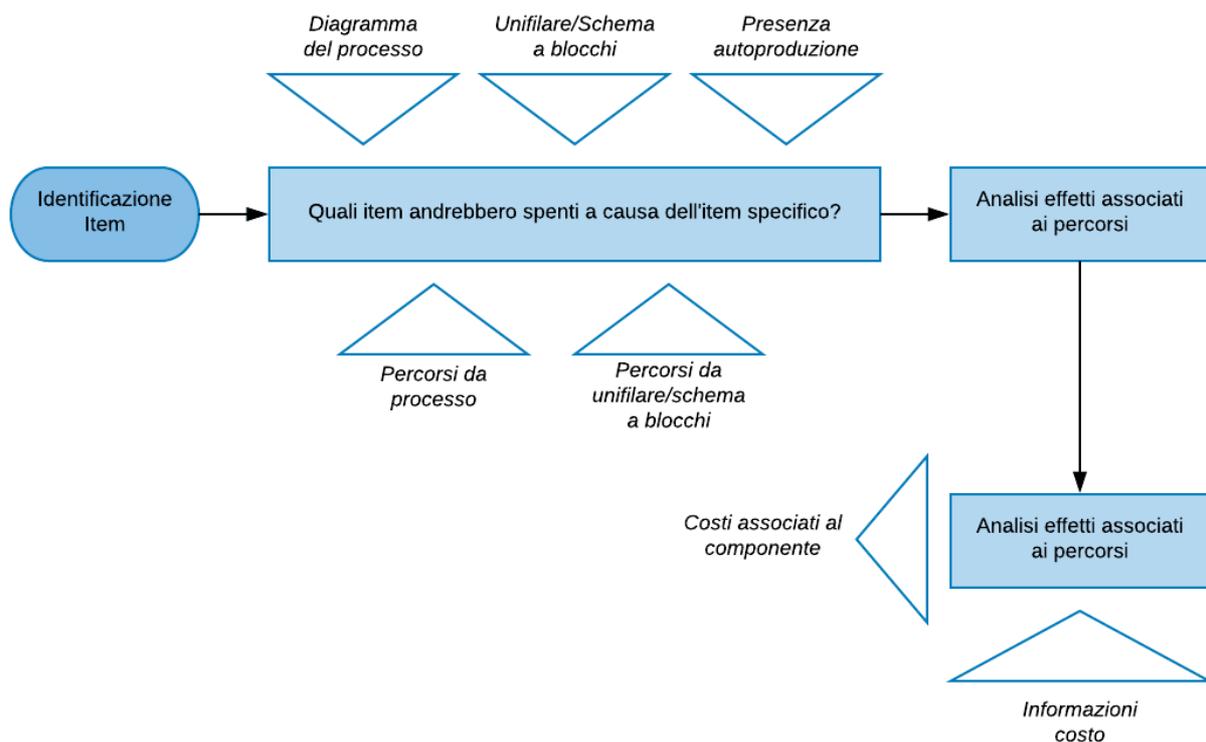


Figura 31 – Flow chart relativo allo step “Studio degli Effetti”

- *Identificazione item*: il percorso comincia prendendo in considerazione lo spegnimento di un componente del processo (ad esempio, riferendosi all’esempio in Figura 25: Item 1)
- *Quali item andrebbero spenti a causa dell’item specifico?*: il distacco dell’item esaminato potrebbe portare a un effetto a cascata sui componenti a monte o a valle dello stesso. Mantenendo il riferimento alla Figura 25, il distacco dell’Item 1 causa la richiesta di spegnimento anche dell’Item 2 e 3, dal momento che non potrebbero lavorare se non ricevono gli input derivanti dell’item in questione. Queste relazioni rientrano nei **percorsi da processo** e per una maggiore comprensione dei legami tra i componenti è necessario ricevere in input il *diagramma del processo*, l’*unifilare elettrico/schema a blocchi*, l’eventuale *presenza di sistemi di autoproduzione*. A questi si uniscono in input i **percorsi da unifilare/schema a blocchi** ottenuti dalle relazioni emerse dall’unifilare/schema a blocchi.
- *Analisi degli effetti associati ai percorsi*: ogni percorso ottenuto causa degli effetti sulla produzione, che spesso si traducono in costi da sostenere.
- *Individuazione costi diretti/indiretti*: ricevendo in input le *informazioni di costo* ricevute durante la “Raccolta informazioni”, si possono quantificare i costi associati ad ogni percorso.

Le informazioni ottenute vengono riportate nelle seguenti tabelle:

DEFINIZIONE PERCORSI DA PROCESSO PRODUTTIVO			DEFINIZIONE EFFETTI E COSTI ASSOCIATI						
Item relativo al percorso	Numero identificativo	Percorso	Effetto 1	Costo Associato (€/h)	Effetto 2	Costo Associato (€/h)	Effetto 3	Costo Associato (€/h)	Costo totale associato al percorso
Item 1	1	Item 1 -> Item 2 -> Item 3	Manodopera	30,00	Materie prime	100			130
Item 2	2	Item 2 -> Item 3	Manodopera	60,00	Materia prima non prodotta	0			60
Item 3	3	Item 2 -> Item 1	Manodopera	30,00					30
Item 3	4	Item 3 -> Item 2 -> Item 1	Materie prime	100,00					100

DEFINIZIONE PERCORSI DA UNIFILARE/SCHEMA A BLOCCHI			DEFINIZIONE EFFETTI E COSTI ASSOCIATI						
Item relativo al percorso	Numero identificativo	Percorso	Effetto 1	Costo Associato (€/h)	Effetto 2	Costo Associato (€/h)	Effetto 3	Costo Associato (€/h)	Costo totale associato al percorso
Item 1	1	Item 1 -> Item 2 -							
Item 2	2	Item 2 -> Item 1							
Item 3	3	Item 3							

Figura 32 – Esempio di file Excel contenente informazioni raccolte durante lo step “Studio degli effetti”

Come è possibile notare, nella tabella vengono riportati anche i **percorsi da unificare** ottenuti durante lo step “Raccolta informazioni”, in modo da poterne stimare gli effetti e costi. Potrebbe succedere che i suddetti percorsi costituiscano una parte dei **percorsi da processo** (o viceversa): ad esempio, l’Item 3 potrebbe essere l’unico collegato ad un interruttore e, in quel caso, il percorso da unificare ad esso associato sarebbe composto unicamente dall’item stesso (percorso 3), costituendo quindi una parte del percorso 4 mostrato in figura. In tale caso costituirebbe un “sotto-percorso” non si procede con lo studio degli effetti, essendo già analizzati nel percorso 4.

2.4. Percorso finale

Per la costruzione dell’outcome finale, cioè la **curva di merito economico**, è necessario raccogliere i dati relativi ai componenti e riportarli su un grafico. I passi da seguire sono i seguenti:

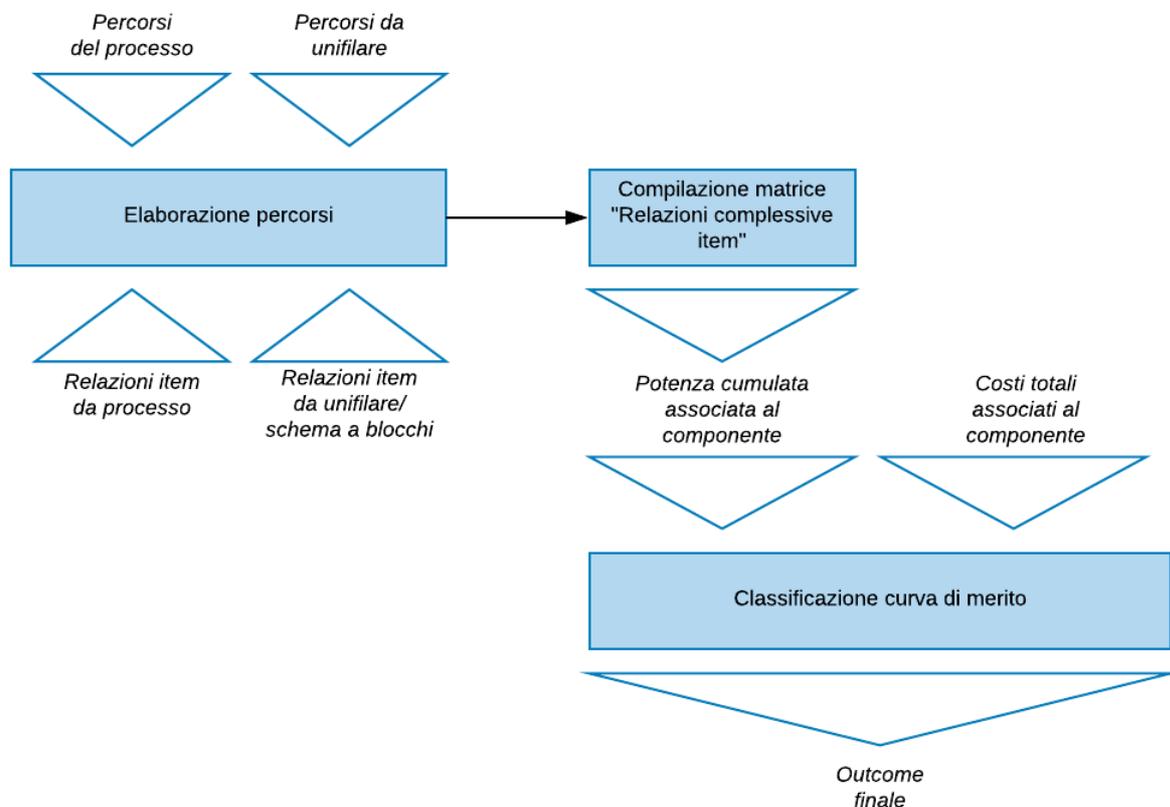


Figura 33 – Flow chart relativo allo step “Outcome Finale”

- *Elaborazione percorsi*: i percorsi costruiti sono serviti a conoscere le relazioni tra gli item in seguito al loro spegnimento e gli effetti che da esso derivano. È ora necessario sapere, per ogni componente, qual è la potenza totale associata al suo spegnimento e per farlo è opportuno considerare tutti i percorsi ad esso collegati, sia quelli ottenuti dal processo sia quelli ottenuti dall'unificare. Per semplificare il processo, sono state costruite due matrici: "**relazioni da processo**" racchiude tutte le relazioni tra gli item che derivano dai percorsi da processo e "**relazioni da item**" che invece comprende i percorsi che derivano dall'unificare. Per la loro compilazione è necessario inserire nella casella che interseca due item tra cui si vuole definire la relazione (come mostrato in Figura 34):
 - o **1** se i componenti sono tra loro dipendenti e il distacco dell'uno provoca lo spegnimento dell'altro;
 - o **0** altrimenti.

RELAZIONI ITEM DA PROCESSO			
	Item 1	Item 2	Item 3
Item 1	1	1	0
Item 2	1	1	1
Item 3	0	0	1

RELAZIONI ITEM DA UNIFILARE			
	Item 1	Item 2	Item 3
Item 1	1	0	0
Item 2	0	1	1
Item 3	0	1	1

Figura 34 – Esempio di matrici "Relazioni Item da Processo" e "Relazioni Item da Unificare"

Le due matrici sono quindi un output che servirà nello step successivo.

- *Compilazione "Relazioni complessive item"*: le matrici ottenute vengono integrate in una unica matrice (**relazione item complessive**) che mostra tutti i legami tra gli item, sia da processo che da unificare. La compilazione avviene applicando alle celle la seguente formula⁴⁸:

= SE (Cella_Matrice_Processo=Cella_Matrice_Unificare; Cella_Matrice_Processo;1);

Con questo comando, nella cella risulta:

- o 1 se la relazione tra i due componenti considerati deriva da almeno una delle due matrici
- o 0 se da entrambe le matrici non è emerso un legame tra i due componenti (né da processo né da unificare).

⁴⁸ Utilizzando la funzione Excel "SE", del tipo SE(test;[se_vero];[se_falso]).

RELAZIONI COMPLESSIVE ITEM			
	Item 1	Item 2	Item 3
Item 1	1	1	0
Item 2	1	1	1
Item 3	0	1	1

Figura 35 – Esempio di matrice “Relazioni Complessive Item”

A questo punto, al fine di calcolare la potenza complessiva associata al componente, è necessario compilare una matrice che riporta i valori di potenza dei singoli item (i cui valori sono ricavati dalle informazioni inserite nella matrice mostrata in Figura 26) la quale, in seguito al prodotto con la matrice Relazioni Complessive Item utilizzando la funzione MATR.PRODOTTO, permette di ottenere una nuova matrice con i valori complessivi di potenza richiesti.

RELAZIONI COMPLESSIVE ITEM				POTENZE SINGOLE		POTENZE COMPLESSIVE	
	Item 1	Item 2	Item 3				
Item 1	1	1	0	50		95	
Item 2	1	1	1	45		100	
Item 3	0	1	1	5		50	

Figura 36 – Esempio di calcolo per ottenere la matrice “Potenze Complessive”

- *Classificazione curva di merito economico*: per la costruzione della curva desiderata vengono riportati i valori appena ottenuti di potenze complessive per ogni componente e i relativi costi complessivi associati, i quali vengono riassunti nella matrice seguente:

MATRICE OUTPUT FINALE		
Componente	Potenza totale (kW)	Costo Totale (€/h)
Item 1	95	130
Item 2	100	90
Item 3	50	100

Figura 37 – Esempio di matrice riassuntiva dei valori di potenza e costi complessivi

La costruzione della curva cumulata avviene per mezzo della matrice mostrata in figura:

COSTRUZIONE CURVA CUMULATA				
Componente	Potenza	Da	A	Costo
		0	0	0
Item 1	50	0	50	130
Item 2	45	50	95	90
Item 3	5	95	100	100

Figura 38 – Matrice per la costruzione della curva cumulata, prima della classificazione per merito economico

Trattandosi di una curva di merito economico è necessario, come ultimo passaggio, disporre i costi associati ai componenti in ordine crescente. Per far ciò, è sufficiente ordinare la matrice dei costi

secondo il comando “ordina dal più piccolo al più grande” ed estendere la selezione a tutta la matrice.

COSTRUZIONE CURVA CUMULATA				
Componente	Potenza	Da	A	Costo
Item 2	45	0	45	90
Item 3	5	45	50	100
Item 1	50	50	100	130

Figura 39 – Matrice per la costruzione della curva cumulata, dopo la classificazione per merito economico

I valori ottenuti vengono quindi riportati sul grafico costo orario – potenza cumulata:

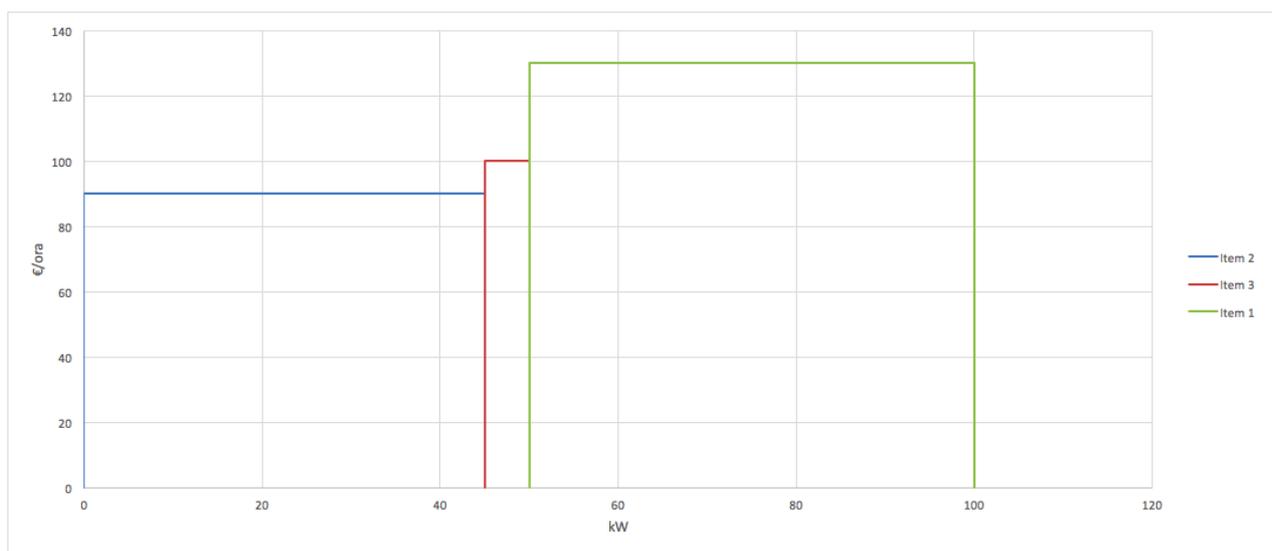


Figura 40 – Esempio di curva di merito economico

Capitolo 3 – Utilities

Ad oggi esiste una grande varietà di sistemi produttivi industriali, i quali possono differenziare tra loro in base alla tipologia del processo, del prodotto finito, alla grandezza dell'impianto che ospita il processo, eccetera. Ci sono, però, delle componenti che si ripropongono in tutti i processi produttivi, come caldaie, compressori, sistemi di riscaldamento ed illuminazione. Questi elementi rientrano nella categoria di *utilities*, termine che in linea generale viene utilizzato per indicare le imprese che si occupano dell'erogazione e della gestione dei servizi pubblici e ambientali ai cittadini, come la distribuzione dell'energia elettrica e del gas, la gestione del ciclo idrico, il trasporto pubblico, lo smaltimento dei rifiuti, eccetera⁴⁹. Da un punto di vista produttivo, le utilities rientrano quindi nelle attività che sostengono la continuità produttiva come l'erogazione di energia elettrica, di vapore, del riscaldamento e raffrescamento degli edifici, ecc. e possono essere impiegate anche singolarmente in un'ottica di Demand Response. Tra le principali impiegate in ambito industriale ci sono:

- Compressore
- Generatore di vapore
- Caldaia ad acqua calda/surriscaldata
- Chiller elettrico
- Pompa a vuoto
- Illuminazione
- U.T.A.

Lo studio delle utilities che prendono parte a un processo produttivo è molto importante per avere una comprensione totale della flessibilità elettrica dell'impianto, dal momento che potrebbe capitare che il distacco di un carico elettrico associato a un componente coinvolga anche l'utility ad esso associato. Per questo motivo, anch'esse sono studiate dal punto di vista della loro flessibilità elettrica, cioè la capacità a subire un distacco frequente, rispondendo alle seguenti domande:

- È possibile il distacco ON/OFF sul componente?
- È possibile staccare il componente senza provocare danni?
- Quante volte è possibile il distacco senza rovinare il componente?
- Se il distacco dovesse comportare un danno al componente, di cosa potrebbe trattarsi?
- Quali sono gli eventuali costi di manutenzione da sostenere?

Questi quesiti verranno affrontati per ogni utilities, dopo una breve introduzione.

3.1. Compressore

Il **compressore** è una macchina che aumenta la pressione di un gas o un vapore per mezzo di energia meccanica, che viene convertita in energia potenziale o di pressione.

I compressori si suddividono principalmente in due grandi categorie:

- Compressori *volumetrici*, in cui la compressione del fluido avviene attraverso una variazione di volume;

⁴⁹ Da *Il settore Energy & Utilities: un modello di business per il recupero dell'efficienza nella gestione del Cliente*, Rocchi N.

- Compressori *centrifughi*, dove il fluido è compresso dalla forza centrifuga.

A loro volta, i compressori volumetrici e centrifughi si dividono in altre sottocategorie, come mostrato in Figura 41.

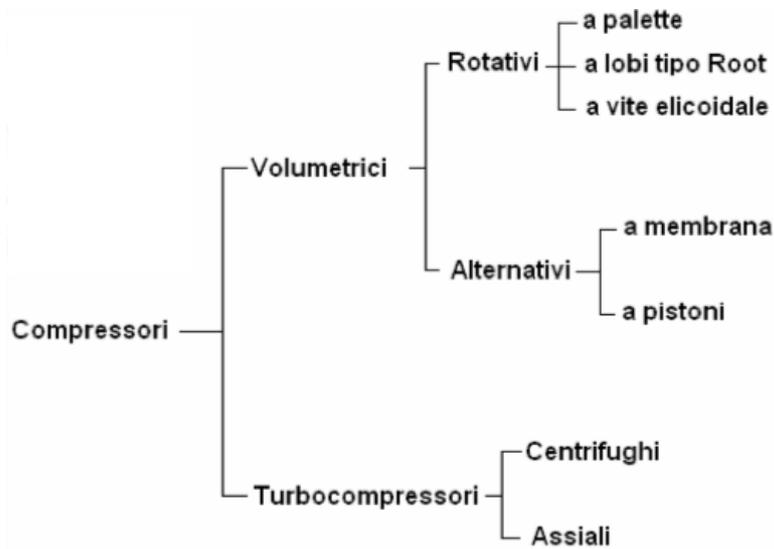


Figura 41 – Classificazione compressori
(fonte: voloitalia.it)

La tipologia di compressore più utilizzata in ambito industriale è il compressore volumetrico rotativo a vite e viene impiegato nella produzione di **aria compressa**. L'aria compressa è una fonte di energia molto importante a livello industriale: ci sono infatti pochissimi macchinari, utensili e attrezzature che non utilizzano l'aria compressa. Negli stabilimenti in cui l'aria compressa non è un elemento indispensabile nel processo di lavorazione del prodotto finale, risulta comunque spesso impiegata nei sistemi di movimentazione, di imballaggio e, più in generale, in tutti i sistemi di automazione pneumatica. La sua semplicità di utilizzo la rende un mezzo utile per affrontare alcune esigenze di gestione del processo produttivo. Di seguito, vengono mostrati alcuni settori in cui l'uso dell'aria compressa è essenziale⁵⁰:

- Alimentare: nei processi di distillazione, nel confezionamento, nei processi di essiccazione, nei sistemi di imballaggio e nei sistemi di trasporto durante il processo produttivo.
- Tessile: nel lancio del filo, raffreddamento del filo, nello svuotamento dell'acqua dei forni di asciugatura del tessuto;
- Plastico: al fine dello stampaggio del PVC, l'aria serve nel trasporto pneumatico dai silos della materia prima, serve nella movimentazione del prodotto, nella creazione del vuoto;
- Meccanica: nelle macchine utensili, nei banchi di collaudo e nelle lavorazioni di finitura, verniciatura, eccetera.

Le risposte alle domande relative alla flessibilità elettrica sono riportate della seguente tabella:

⁵⁰ Da *Opportunità di ottimizzazione dei consumi nella produzione, distribuzione, utilizzo dell'aria compressa nei settori industriali più sensibili*, Enea.

<i>È possibile il distacco ON/OFF sul componente?</i>	✓
<i>Se sì, è possibile senza provocare danni?</i>	✓
<i>Con quale frequenza?</i>	<i>Più di una volta all'ora</i>
<i>In caso di danneggiamento, cosa succede al componente?</i>	<i>Diminuisco la vita utile</i>
<i>In cosa consistono gli eventuali costi di manutenzione?</i>	<i>Nessuno *</i>

* anticipo solamente il costo di sostituzione

Il compressore si mostra quindi come un componente prevalentemente flessibile, che può essere acceso e spento ripetutamente senza comportare particolari costi di manutenzione. Tuttavia, un aspetto di cui bisogna tenere conto quando si analizza la flessibilità elettrica di un compressore è la sua **parzializzazione**, cioè la variazione di potenza assorbita in funzione della variazione di aria compressa prodotta. Infatti, andando a riportare su un grafico i valori forniti dall'azienda Kaeser di portata di aria compressa e di potenza assorbita e riportandoli in percentuale, si ottiene:

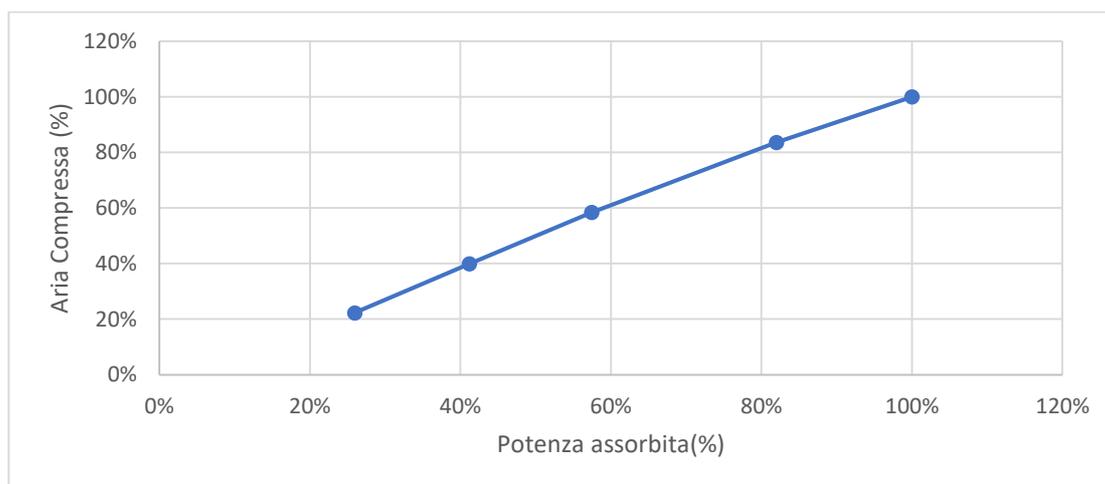


Figura 42 – Curva aria compressa in uscita (%) vs potenza assorbita (%) in un compressore⁵¹

Dal grafico si nota come ad una diminuzione di aria compressa prodotta corrisponda una diminuzione di potenza assorbita. Infatti, nel momento in cui stacco il carico associato ad un componente che richiede la produzione di aria compressa, il compressore reagisce producendo una minore quantità di aria, consumando quindi meno energia. Questo si traduce in una piccola quota di inefficienza che tuttavia non compromette il processo produttivo.

3.2. Generatore di Vapore

Per **generatore di vapore (GdV)** si intende l'insieme di apparecchiature per lo scambio termico, al fine di produrre vapore partendo da acqua in fase liquida. Solitamente viene indicato con il termine

⁵¹ La portata d'aria è espressa in **FAD** (Free Air Delivery), che rappresenta la portata di aria prodotta dal compressore riportata in condizioni di pressione e temperatura dell'aria di ingresso ($T_{amb}=20^{\circ}C$, $P_{amb}=1$ bar).

caldaia, il quale però è più generico dal momento che indica la parte di macchinari non finalizzati al passaggio di stato⁵².

Le caratteristiche di flessibilità elettrica del generatore di vapore sono le seguenti:

<i>È possibile il distacco ON/OFF sul componente?</i>	
<i>Se sì, è possibile senza provocare danni?</i>	
<i>Con quale frequenza?</i>	<i>Fino a una volta all'ora</i>
<i>In caso di danneggiamento, cosa succede al componente?</i>	<i>Diminuisco la vita utile *</i>
<i>In cosa consistono gli eventuali costi di manutenzione?</i>	<i>Nessuno **</i>

* del bruciatore e della pompa

** anticipo solamente il costo di sostituzione

Analogamente con quanto considerato per il compressore, anche per la caldaia è opportuno tenere in considerazione la parzializzazione. Anche in questo caso, al distacco di carichi che necessitano di vapore, corrisponde una minore portata in uscita e, perciò, un minor consumo elettrico.

La parzializzazione in una caldaia può avvenire in due modi:

- Assenza di inverter: la richiesta di diminuzione di portata è soddisfatta dalla chiusura delle palette del bruciatore, il cui ventilatore continua a funzionare a numero di giri costante. A questa diminuzione è associata una diminuzione di consumo elettrico non particolarmente rilevante;
- Presenza di inverter: la regolazione è compiuta principalmente dall'inverter che interviene sul numero di giri abbassandoli. In questo caso si ha una diminuzione significativa del consumo.

⁵² Da *Centrali termoelettriche*, M. Giambini, M. Vellini.

La figura sottostante mostra come variano i consumi in caso di assenza o presenza di inverter:

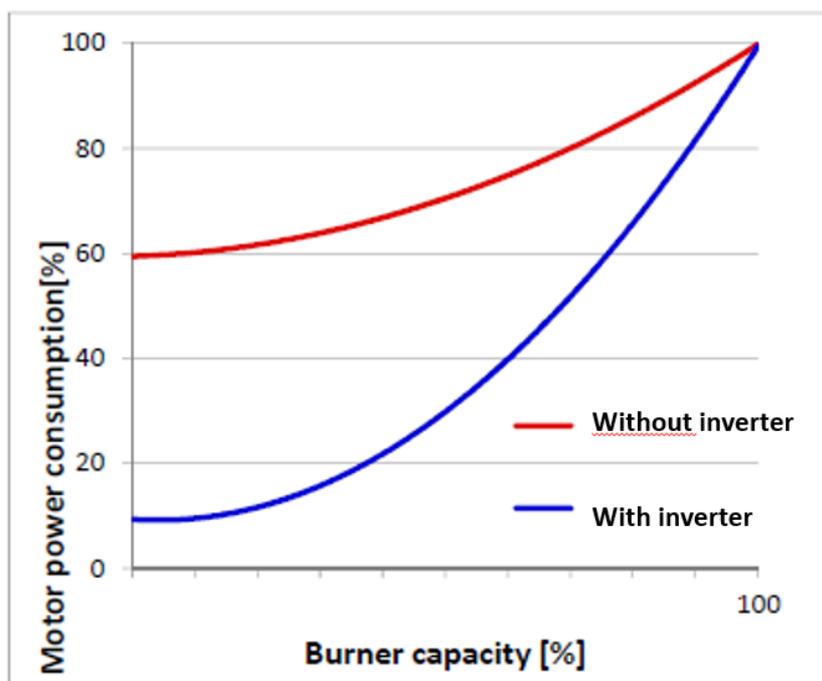


Figura 43 – Curva vapore in uscita vs potenza assorbita in una caldaia⁵³

3.3. Caldaia ad acqua surriscaldata

Le **caldaie ad acqua surriscaldata** consistono in sistemi di riscaldamento in cui viene raggiunta una temperatura dell'acqua superiore ai 110°C senza che questa giunga all'evaporazione. Questo perché l'acqua nei tubi è pressurizzata a un valore di pressione superiore a quella atmosferica, a cui corrisponde una temperatura di ebollizione maggiore.

Le caldaie ad acqua surriscaldata vengono spesso utilizzati per il condizionamento, il trasporto del calore negli stabilimenti industriali, oltre che nei sistemi di teleriscaldamento.

La flessibilità elettrica di una caldaia ad acqua surriscaldata è analoga a quella di un generatore di vapore:

<i>È possibile il distacco ON/OFF sul componente?</i>	
<i>Se sì, è possibile senza provocare danni?</i>	
<i>Con quale frequenza?</i>	<i>Fino a una volta all'ora</i>
<i>In caso di danneggiamento, cosa succede al componente?</i>	<i>Diminuisco la vita utile *</i>
<i>In cosa consistono gli eventuali costi di manutenzione?</i>	<i>Nessuno **</i>

⁵³ Dati forniti da Weishaupt.

* del bruciatore e della pompa

** anticipo solamente il costo di sostituzione

3.4. Pompa di calore

La **pompa di calore (PdC)** è una macchina termica in grado di trasferire energia termica da una sorgente a temperatura più bassa e una a temperatura più alta⁵⁴. Il trasferimento di energia avviene attraverso vettori termici gratuiti e rinnovabili, che permettono di ridurre le emissioni di CO₂, come:

- Aria esterna, utilizzata nei modelli aria-aria e aria-acqua;
- Acqua, nelle pompe di calore acqua-acqua;
- Terreno, in quelle che vengono chiamate “pompe di calore geotermiche”.

Può inoltre essere integrata a fonti rinnovabili, come pannelli solari termici e fotovoltaici, ottenendo bassi consumi di energia.

Si tratta inoltre di una tecnologia molto versatile, dal momento che viene impiegata per il riscaldamento degli ambienti in inverno, per la climatizzazione in estate, invertendo il ciclo di funzionamento e comportandosi come un gruppo frigorifero (Paragrafo 3.5) oltre che per la produzione acqua calda sanitaria.

Il meccanismo di riscaldamento, schematizzato in Figura 44, di una pompa di calore prevede l'utilizzo di un fluido refrigerante e delle seguenti componenti:

- Compressore: il fluido refrigerante, proveniente dall'evaporatore e in forma vapore, viene compresso dal compressore che ne provoca l'aumento di temperatura;
- Condensatore: il calore viene ceduto all'acqua nell'impianto di riscaldamento e il fluido refrigerante condensa, passando allo stato liquido;
- Valvola di espansione: il fluido refrigerante passa attraverso la valvola di espansione che ne riduce la temperatura;
- Evaporatore: la fonte di calore (che sia aria, acqua o terreno) fornisce calore al fluido refrigerante, il quale evapora.

⁵⁴ Da *Le pompe di calore*, W. Grassi.

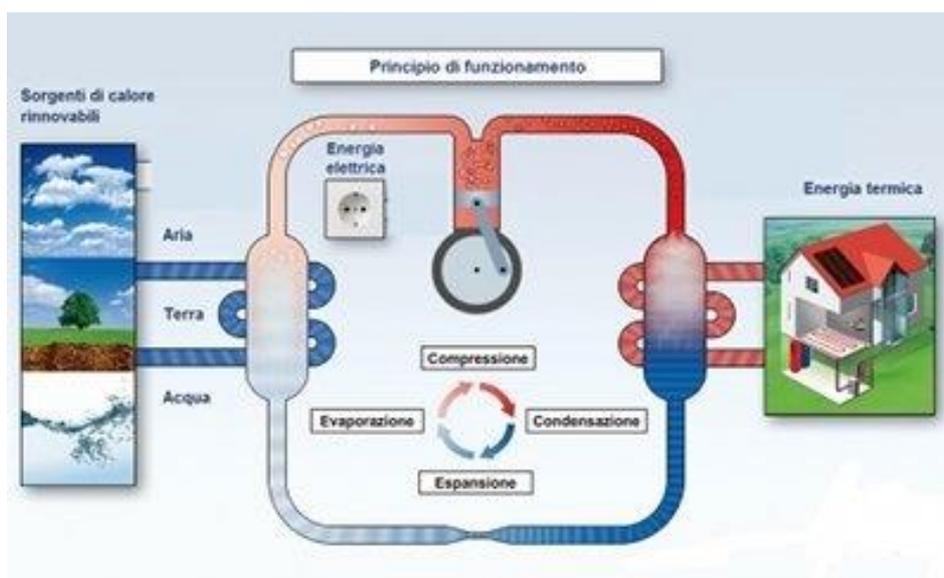


Figura 44 – Schema di funzionamento di una pompa di calore
(fonte: <http://www.hoval.it>)

Dal momento che il componente flessibile di una PdC consiste nel compressore, le sue caratteristiche di flessibilità saranno analoghe a quelle viste precedentemente (paragrafo 3.1).

<i>È possibile il distacco ON/OFF sul componente?</i>	✓
<i>Se sì, è possibile senza provocare danni?</i>	✓
<i>Con quale frequenza?</i>	<i>Fino a una volta al giorno</i>
<i>In caso di danneggiamento, cosa succede al componente?</i>	<i>Diminuisco la vita utile</i>
<i>In cosa consistono gli eventuali costi di manutenzione?</i>	<i>Nessuno</i>

3.5. Chiller elettrico

Un **chiller** (noto anche come *gruppo frigorifero* o *refrigeratore*) è una macchina elettrica che, attraverso la compressione e espansione di gas detti frigogeni, sottrae calore a un fluido, generalmente acqua. Il principio di funzionamento è analogo a quello di una pompa di calore durante il riscaldamento, ma invertito. Vengono quindi impiegati gli stessi componenti (compressore, condensatore, valvola di espansione e evaporatore), ma in questo caso il fluido si raffredda durante l'evaporazione e si scalda durante la condensazione, come mostrato in Figura 45).

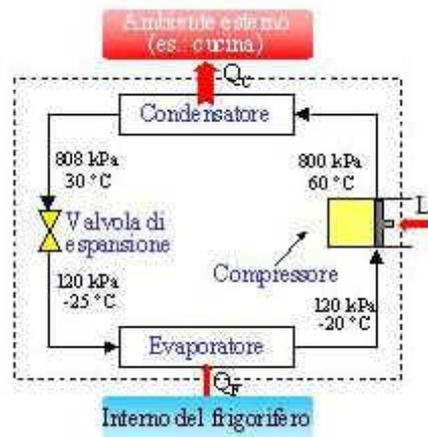


Figura 45 – Schema di funzionamento di un chiller elettrico
(fonte: <http://www.science.unitn.it>)

Come nella la pompa di calore, anche nel gruppo frigorifero le caratteristiche di flessibilità sono riferite a quelle di un compressore. Di un gruppo frigorifero, tuttavia, bisogna anche studiarne la reazione di fronte al distacco del carico elettrico di un'utenza ad esso collegata, dal momento che dovrà fornire una quantità minore di acqua fredda e quindi consumare meno energia elettrica. La parzializzazione, intesa come diminuzione del carico rispetto a quello nominale, può arrivare fino al **25%**, valore al di sotto del quale il gruppo frigorifero smette di funzionare.

Come esempio di parzializzazione, si consideri un gruppo frigo collegato a due utenze, U1 e U2. Ipotizzando una portata di acqua fredda di 100 m³/h e che le due utenze abbiano lo stesso consumo, 50 m³/h saranno forniti all'utenza U1 e gli altri all'utenza U2. Si presupponga infine che la temperatura di mandata sia 7°C e la temperatura di ritorno sia 12°C. Procedendo con lo spegnimento di una delle due utenze, ad esempio U1, essa non andrà più ad utilizzare l'acqua fredda ricevuta dal gruppo frigo che quindi entrerà ed uscirà dall'utenza alla stessa temperatura (7° C). L'acqua di ritorno al gruppo frigo assumerà quindi un valore medio di temperatura, avendo ipotizzato che le due utenze abbiano lo stesso consumo (9,5°). Poiché la temperatura ottenuta sarà più vicina ai 7° desiderati, il gruppo frigo dovrà sostenere un consumo minore.

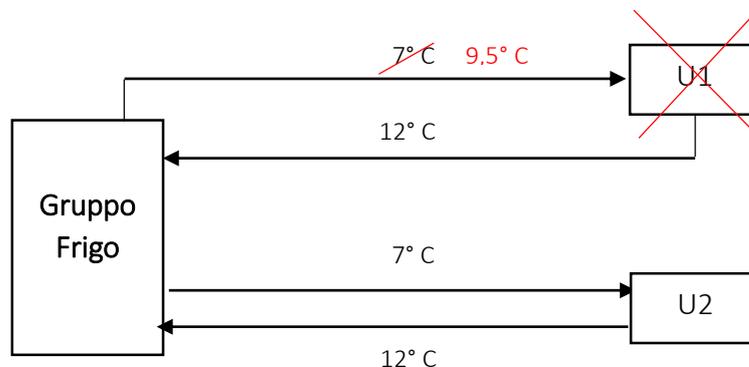


Figura 46 – Esempio di parzializzazione di un chiller elettrico

Le caratteristiche di flessibilità di un gruppo frigorifero sono le seguenti:

<i>È possibile il distacco ON/OFF sul componente?</i>	
<i>Se sì, è possibile senza provocare danni?</i>	
<i>Con quale frequenza?</i>	<i>Fino a una volta al giorno</i>
<i>In caso di danneggiamento, cosa succede al componente?</i>	<i>Diminuisco la vita utile *</i>
<i>In cosa consistono gli eventuali costi di manutenzione?</i>	<i>Nessuno **</i>
<i>Qual è il limite di parzializzazione?</i>	<i>25%</i>

* del compressore

** anticipo solamente il costo di sostituzione

3.6. Pompa a vuoto

La pompa a vuoto è uno strumento che espelle i gas dall'interno in cui si vuole creare il vuoto. In campo industriale viene frequentemente impiegata la pompa rotativa che aspira, comprime ed espelle in modo ciclico il gas. Ciò avviene, soprattutto, nei sistemi di refrigerazione, come i frigoriferi, dove in fase di produzione industriale viene eliminata l'aria contenuta nelle serpentine per far posto al liquido refrigerante⁵⁵. La pompa a vuoto viene spesso considerata come un compressore anche se in questo caso la pressione di aspirazione è sempre costante, mentre nelle pompe a vuoto è decrescente.

Le sue caratteristiche di flessibilità sono le seguenti:

<i>È possibile il distacco ON/OFF sul componente?</i>	
<i>Se sì, è possibile senza provocare danni?</i>	
<i>Con quale frequenza?</i>	<i>Fino a una volta all'ora</i>
<i>In caso di danneggiamento, cosa succede al componente?</i>	<i>Diminuisco la vita utile</i>
<i>In cosa consistono gli eventuali costi di manutenzione?</i>	<i>Nessuno *</i>

* anticipo solamente il costo di sostituzione

⁵⁵ Dal sito <http://alessandra.mallamo.over-blog.it>.

3.7. U.T.A.

Una **Unità di Trattamento Aria (U.T.A.)** è un impianto per il trattamento dell'aria negli ambienti chiusi, finalizzato sia per il riscaldamento che per il raffrescamento. I suoi componenti sono⁵⁶:

- *Serranda di presa*: utile all'approvvigionamento del flusso d'aria esterno;
- *Filtro d'aria*: elemento per ripulire dai tipi di contaminanti il flusso d'aria aspirato;
- *Batteria pre-riscaldamento*: batteria calda utilizzata nella stagione invernale per aumentare la temperatura in uscita. Si ottiene aria calda ma secca, non ancora ottimale per l'immissione in ambiente;
- *Batteria di raffreddamento e deumidificazione*: batteria utile al raffrescamento, in cui l'aria viene raffreddata e deumidificata;
- *Batteria post-riscaldamento*: seconda batteria di riscaldamento che riporta la temperatura dell'aria a un valore accettabile per l'ambiente esterno;
- *Ventilatore di presa/mandata*: ventilatore per estrarre/mandare l'aria in ambiente. Per mezzo di un inverter è possibile variare la velocità di entrambi i ventilatori;
- *Sonde di mandata/ripresa*: misurano i valori necessari alla regolazione (temperatura, pressione, umidità e velocità dell'aria).

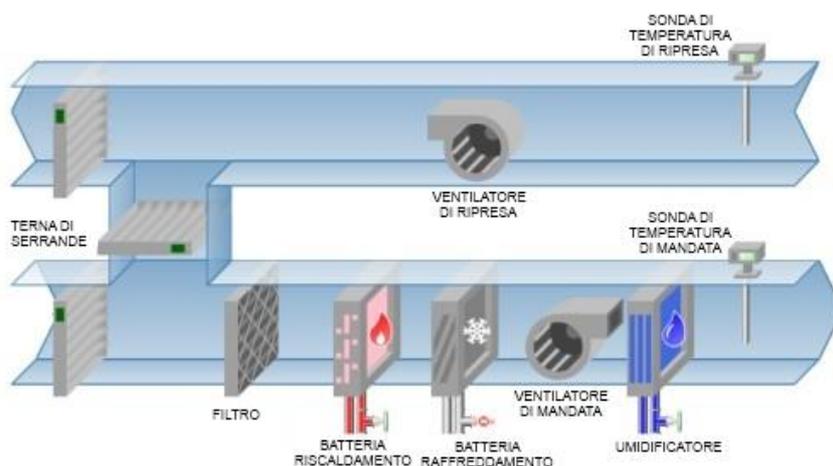


Figura 47 – Schema funzionamento di una U.T.A.
(fonte: www.borghesisnc.it)

⁵⁶ Dal sito www.borghesisnc.it.

Le sue caratteristiche di flessibilità sono le seguenti:

<i>È possibile il distacco ON/OFF sul componente?</i>	
<i>Se sì, è possibile senza provocare danni?</i>	
<i>Con quale frequenza?</i>	<i>Fino a una volta all'ora</i>
<i>In caso di danneggiamento, cosa succede al componente?</i>	<i>Diminuisco la vita utile *</i>
<i>In cosa consistono gli eventuali costi di manutenzione?</i>	<i>Nessuno **</i>

* dei ventilatori

** anticipo solamente il costo di sostituzione

3.8. Illuminazione

Tra le utilities più comuni di uno stabilimento industriale è da considerare anche l'illuminazione, sia degli uffici che delle linee di produzione, le quali comunemente presentano un tempo di spegnimento pressoché immediato. Le tipologie maggiormente impiegate negli stabilimenti, con i relativi tempi di riaccensione e spegnimento, sono le seguenti⁵⁷:

<i>Tipologia di lampada</i>	<i>Tempo di spegnimento</i>	<i>Tempo di riaccensione</i>
<i>Lampada ad incandescenza GLS</i>	Immediato	Immediato
<i>Lampada ad incandescenza "Reflector"</i>	Immediato	Immediato
<i>Lampada ad incandescenza alogena</i>	Immediato	Immediato
<i>Lampada ad incandescenza a bassa tensione</i>	Immediato	Immediato
<i>Lampada a vapori di sodio (bassa pressione)</i>	12 minuti	1-10 minuti
<i>Lampada a vapori di sodio (alta pressione)</i>	5 minuti	5 minuti
<i>Lampada a ioduri (o alogeni) metallici</i>	2 minuti	1 minuto
<i>Lampade fluorescenti (mercurio a bassa pressione)</i>	Immediato	Immediato
<i>Lampade a vapori di mercurio ad alta pressione</i>	5 minuti	10 minuti
<i>Lampade a induzione</i>	Immediato	Immediato
<i>Lampade al mercurio a luce miscelata</i>	5 minuti	10 minuti

Come è possibile notare, i tempi di spegnimento rientrano nei limiti imposti nel "Regolamento recante le modalità per la creazione, qualificazione e gestione di unità virtuali di consumo abilitate al mercato dei servizi di dispacciamento (MSD)" di Terna.

⁵⁷ Da *Fondamenti di illuminotecnica*, L. de Santioli, F. Mancini, G. Lo Basso.

Le caratteristiche di flessibilità degli impianti di illuminazione sono i seguenti:

<i>È possibile il distacco ON/OFF sul componente?</i>	
<i>Se sì, è possibile senza provocare danni?</i>	
<i>Con quale frequenza?</i>	<i>Fino a una volta all'ora</i>
<i>In caso di danneggiamento, cosa succede al componente?</i>	<i>Rischio di fondersi</i>
<i>In cosa consistono gli eventuali costi di manutenzione?</i>	<i>Costo di sostituzione</i>

Nonostante si trattino di componenti flessibili, solitamente non vengono impiegate nello svolgimento di un servizio di Demand Response, dal momento che l'interruttore su cui bisogna agire per spegnere il carico è spesso collegato ad altri componenti, oppure bisogna intervenire su diversi interruttori prima di andare a spegnere tutte le lampade necessarie. Oltre a rivelarsi una procedura poco pratica, il carico distaccabile su cui si interviene è spesso piuttosto basso.

Capitolo 4 – Studio di un caso reale

Dopo aver sviluppato il percorso metodologico del modello, è necessario trovare un caso reale in cui applicarlo in modo da verificarne la validità. Come caso di studio è stato scelto il processo produttivo di Polistirene Espanso Sinterizzato (EPS) presso l'azienda Sive S.p.a. Il polistirene (o polipropilene), meglio conosciuto come polistirolo, è un materiale rigido e di peso ridotto, essendo costituito per il 98% da aria. Una volta espanso, il polistirene diventa un materiale altamente versatile essendo caratterizzato da una grande facilità di lavorazione, ma soprattutto da una ridotta conduttività termica e un'elevata resistenza meccanica.

L'EPS viene impiegato in diversi campi come l'*edilizia*, come isolante sia termico che acustico in tetti, pareti e pavimenti, nell'*imballaggio alimentare*, grazie alla sua elasticità che permette di assorbire gli urti, la resistenza alla compressione e la leggerezza che ne facilita il trasporto, e nel *design* per via della sua plasmabilità che rende possibile ogni forma. Inoltre è un materiale con ottima sostenibilità ambientale, essendo atossico e riciclabile al 100% e contribuendo al risparmio di combustibili fossili usati per il riscaldamento grazie alla sua efficacia come materiale isolante.

La produzione del Polistirene avviene partendo dallo stirene⁵⁸, un monomero ricavato dal petrolio e presente anche in alimenti come frumento, fragole, carne e caffè. Attraverso la polimerizzazione⁵⁹ dello stirene si ottiene il Polistirene che, prima di essere espanso, si presenta sotto forma di piccole perle trasparenti di varia granulometria (0,3 – 2,8 mm) secondo gli impieghi cui è destinato.

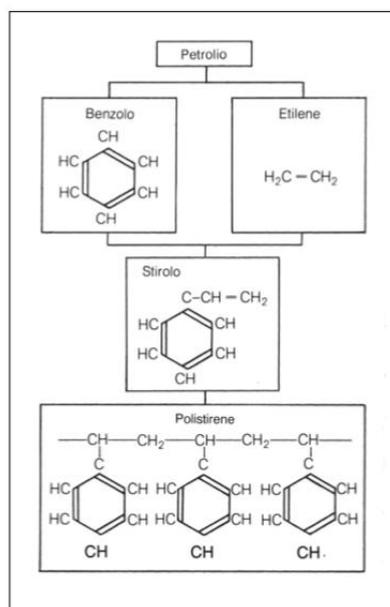


Figura 48 – Processo di polimerizzazione dello stirene
(fonte: AIPE – Associazione Italiana Polistirene Espanso)

⁵⁸ Monomero ricavato a sua volta dalla sintesi di benzene e etilene.

⁵⁹ Reazione chimica che porta alla formazione di una catena di monomeri, cioè di più molecole dello stesso composto.

4.1. Processo produttivo

La produzione dei semilavorati e manufatti avviene in tre stadi principali, come mostrato in Figura 49.

- Pre-espansione
- Maturazione
- Stampaggio

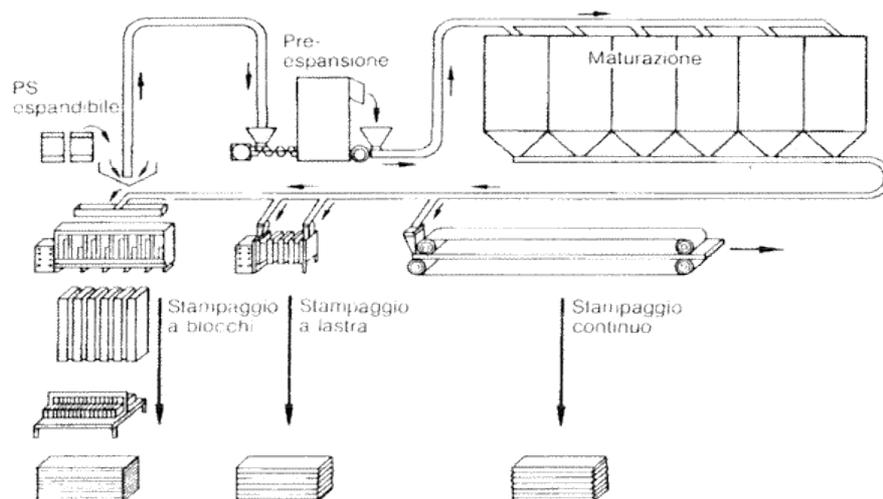


Figura 49 – Processo produttivo EPS
(fonte: AIPE – Associazione Italiana Polistirene Espanso)

4.1.1. Pre-espansione

Le perle di Polistirene vengono pre-espanso, solitamente per mezzo di vapore a 90°C, nel **pre-espansore**. Il processo di pre-espansione è caratterizzato dall'ammorbidimento delle perle sottoposte all'azione del calore e dall'espansione per effetto della dilatazione dell'agente espandente (comunemente pentano, un idrocarburo gassoso, a cui vengono aggiunti degli additivi). Le perle, a seconda della vaporizzazione dell'agente espandente, si rigonfiano fino a 20-50 volte il loro volume iniziale. In seguito a questo processo, si crea all'interno delle perle una struttura a celle chiuse che trattiene l'aria e garantisce al polistirene una bassa conduttività termica, caratteristica che rende il materiale un ottimo isolante. La durata del processo termico nel pre-espansore determina il grado di espansione, che caratterizza la massa volumica dei manufatti e quindi tutte le sue proprietà fisiche.

I pre-espansori sono contenitori cilindrici con mescolatori, dotati di dispositivi di riempimento e di scarico del materiale e con alimentazione di vapore acqueo attraverso la base. Questi apparecchi vengono fatti funzionare sia a ciclo discontinuo, con una leggera sovrappressione, che a ciclo continuo, senza pressione⁶⁰.

Il vapore necessario al processo che si svolge nel pre-espansore, viene fornito da una caldaia a vapore.

⁶⁰ Da *Produrre l'EPS* – AIPE.

4.1.2. Maturazione

Durante la fase di pre-espansione si è raggiunto un ingrandimento del volume delle celle di Polistirene, durante il quale si è creata al loro interno una struttura cellulare chiusa. In seguito all'uscita dal pre-espansore, incomincia immediatamente un raffreddamento delle perle espanse in cui residui di espandente e di vapore acqueo, inizialmente diffusi nella struttura espansa, condensano causando una sottopressione all'interno delle perle. La sottopressione provoca un'instabilità meccanica delle perle che devono quindi maturare in **silos** ben areati, prima di muoversi verso la prossima fase di trasformazione, in modo che la depressione creatasi viene annullata dall'aria che si diffonde all'interno delle cellule. Il trasporto dei materiali fino ai silos viene fatto per mezzo di **compressori** o **iniettori a pompa**.

I processi che compongono la fase di maturazione sono:

- La diffusione dell'aria, attraverso le membrane delle perle, permette di ottenere la stabilità meccanica necessaria.
- Attraverso il rilascio dell'umidità nell'atmosfera si ottiene una migliore scorrevolezza del materiale, che permette di compiere senza difficoltà operazioni come il riempimento di stampi complessi.

I silos sono costituiti solitamente da strutture in juta o tessuto sintetico antistatico e si trovano in edifici ben areati e resistenti al gelo.

I tempi di stagionatura dipendono dalle dimensioni delle particelle espanse, ma solitamente sono molto lunghi dal momento che si aggirano intorno ai due giorni.

4.1.3. Stampaggio

Le perle, ora pre-espanso e stabilizzate, possono ora essere trasformate in semilavorati in vari modi:

- **Stampaggio di blocchi e taglio in lastre:** il sistema più usato. Le blocchiere vengono riempite di perle pre-espanso che, sottoposte nuovamente a vapore acqueo a 110-120 °C, si gonfiano ulteriormente e si saldano (cioè, si *sinterizzano*) tra loro fino a formare un blocco omogeneo di espanso. Dopo un breve periodo di raffreddamento, i blocchi vengono sformati e messi in deposito per un periodo che va da alcuni giorni a due mesi, durante il quale raggiungono la stabilità necessaria per le diverse applicazioni. Di qui vengono prelevati per il taglio in lastre, che avviene con seghe a nastro o a filo caldo e per eventuali altre operazioni meccaniche, come sagomature dei bordi, ottenute per fresatura⁶¹.
- **Stampaggio di lastre:** si tratta di un processo simile al precedente, ma in questo caso le lastre vengono stampate separatamente in apposite macchine. Si ha il vantaggio di ottenere direttamente la forma desiderata, senza ulteriori lavorazioni. Questo processo viene spesso impiegato per ottenere forme non piane, come lastre con contorni sagomati, sottotegole, eccetera.
- **Stampaggio continuo:** le perle pre-espanso vengono fatte procedere attraverso una forma, mentre avviene la sinterizzazione. All'uscita vengono rifilate e tagliate a seconda del prodotto da realizzare.

⁶¹ Da L'EPS, AIPE.

Le **blocchiere** sono realizzate in forma parallelepipedo, fornite di fori per l'entrata del vapore su tutta la superficie e alimentate da generatori di vapore.



*Figura 50 – Blocchi di EPS
(fonte: AIPE)*

Solitamente, la produzione di blocchi di EPS è sempre seguita da una fase di taglio, in modo da dimensionarli secondo le misure desiderate. L'operazione di taglio viene comunemente svolta per mezzo di un filo riscaldato che permette il taglio del blocco in modo preciso, caratterizzato da un diametro di circa 0,15-1 mm che viene riscaldato attraverso una resistenza fino a raggiungere 200-400 gradi.

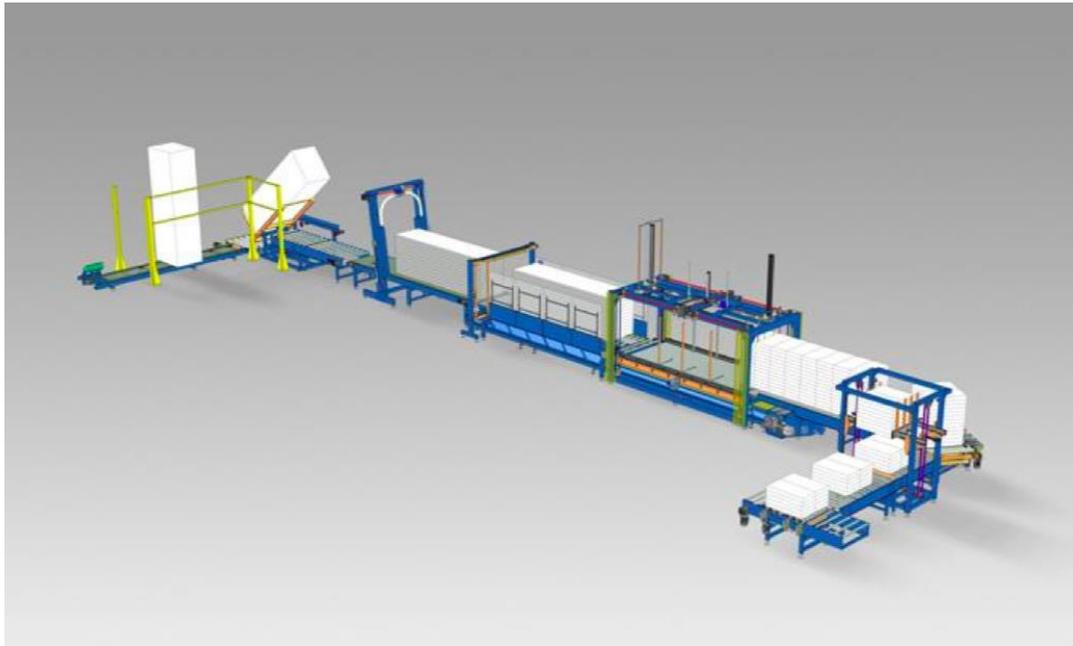


Figura 51 – Linea di taglio
(fonte: AIPE)

Prima di essere portato al magazzino di prodotti finiti, il blocco (o lastra) viene avvolto da un film sottile di PVC, il quale viene precedentemente scaldato in modo da ottimizzare l'avvolgimento e la protezione del blocco una volta raffreddato.

4.2. Applicazione del modello

4.2.1. Raccolta informazioni

Secondo il modello sviluppato, il primo passaggio consiste nella raccolta delle seguenti informazioni:

- *Diagramma del processo*, mostrato in figura:

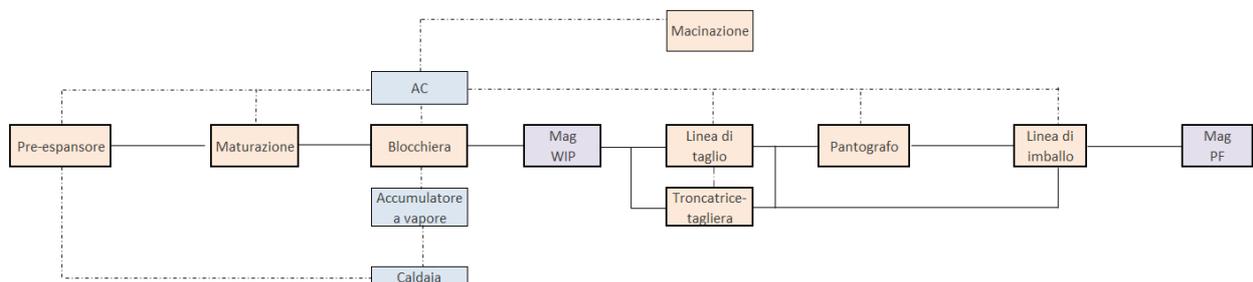


Figura 52 – Processo produttivo Sive

In questo schema sono indicati in arancione gli step relativi al processo, in viola i magazzini e in azzurro le utilities coinvolte nel processo. I magazzini presenti sono due, uno per i prodotti stagionati e uno per i prodotti finiti mentre le utilities necessarie al processo sono costituite dalla presenza di una caldaia, un accumulatore di vapore e di un sistema di aria compressa.

Inoltre i prodotti che escono dal magazzino sono sottoposti all'azione di una linea di taglio, che ricava lastre di polistirolo dai blocchi, una tagliera, che procede ad un eventuale taglio ulteriore da cui possono proseguire per andare direttamente al magazzino di prodotti finiti o passare per il pantografo, macchina di taglio a filo caldo che ti consente di tagliare e sagomare il polistirolo, creando le forme desiderate.

Come spiegato precedentemente, la fase di maturazione nei silos è piuttosto lunga e, in questo caso specifico, è di tre giorni. Questo permette di assimilare tale fase produttiva ad un magazzino che può coprire la produzione in caso di distacco e, pertanto, verrà considerata come tale durante l'applicazione del modello.

Le informazioni richieste per ogni componenti sono riportate nella seguente tabella:

Settore	Process Category	Asset Category	Componente	Componente Ausiliario Associato	Quantità componente	Potenza di taglia singolo componente (kW)	Note	
Area trattamento MP	Primario	Pre-espansione	Pre-espansore continuo	Aria Compressa Caldaia	2	83	800 kg-ora l'uno	
Area trattamento MP	Primario	Stoccaggio	Silos di stoccaggio	Aria Compressa	3	2	37 x 70 m3 l'uno	
Lavorazione MP	Primario	Blocchiera	Blocchiera	Caldaia Aria Compressa	2	88	Due 4000x500x1400 max variabile su una dimensione. Una 4200x1000x1400 max (nuova). Una 4000x1000x1400 max	
Lavorazione MP	Primario	Taglio	Linea di Taglio	Aria Compressa	1	46	240 m3-giorno e 400-500 m3-giorno	
Lavorazione MP	Primario	Taglio	Troncatrice/ tagliera	Aria Compressa	1	2		
Lavorazione MP	Primario	Taglio	Pantografo	Aria Compressa	2	6		
Lavorazione MP	Primario	Imballaggio	Stazione di imballaggio	Aria Compressa	3	22	di cui uno vecchio	
Lavorazione MP	Secondario	Recupero scarti	Mulino di macinazione- Frantumatore	Aria Compressa	2	220	Due in linea di taglio e due pantografo	
U T I L I T À S	Fornitura	Secondario	Vapore	Accumulatore a Vapore	1	1		
	Fornitura	Secondario	Riscaldamento	Caldaia	Accumulatore a vapore	1	7	2 MW l'una a gas. Accumulatore 20 m3 Produzione totale vapore 6 t-h a 8 bar
	Fornitura	Secondario	Vapore	Caldaia	Accumulatore a vapore	2	7	
	Fornitura	Secondario	Aria Compressa	Compressore		1	40	
	Altro	Secondario	Trattamento aria	U.T.A.			20	
	Altro	Secondario	Illuminazione	Illuminazione linee		11	55	
Altro	Secondario	Illuminazione	Illuminazione uffici		4	12		
TOTALE						611		

Tabella 1 – Tabella relativa allo step "Raccolta informazioni"

- *Informazioni magazzini*: i magazzini presenti nello stabilimento, tra cui i silos per l'ipotesi fatta precedentemente, riescono a coprire la produzione per l'intera giornata lavorativa dal momento che anche la stagionatura nel magazzino WIP, come la maturazione, prevede tempi piuttosto lunghi (vedi Paragrafo 4.1.2).

- *Schema unifilare/schema a blocchi*: non essendo provvista di uno schema unifilare, l'azienda ha fornito uno schema a blocchi che permette ugualmente di distinguere le relazioni "elettriche" tra i componenti (che verranno studiate nel prossimo step).

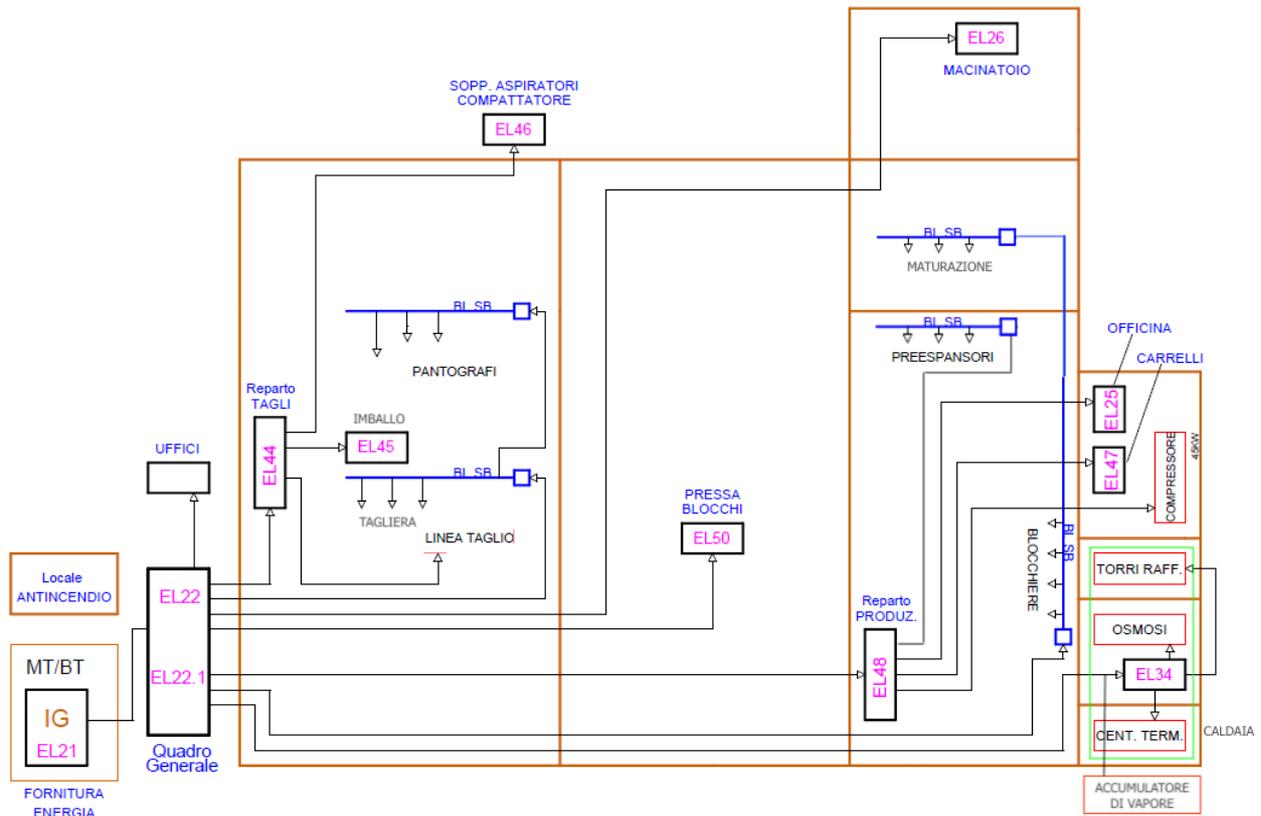


Figura 53 – Schema a blocchi SIVE S.p.A.

Nello studio delle relazioni ottenute dallo schema a blocchi andranno considerati solo gli elementi coinvolti nel processo produttivo indicati in Figura 52)

- *Sistemi di autoproduzione*: nello stabilimento non sono presenti sistemi di cogenerazione o di accumulo.
- *Informazioni di costo*: l'azienda ha fornito i valori di costi di manodopera (23,31 €/ora per risorsa) e di materie prime (3,2 €/ora). L'azienda ha inoltre specificato che un eventuale ritardo della produzione costituisce un impatto economico molto alto, di circa 1000 € per ogni ora di ritardo.

4.2.2. Studio del processo

Per ogni componente si ricavano le informazioni richieste nel diagramma di flusso, che sono state inserite nella seguente tabella:

Componente	Componente flessibile allo spegnimento (si/no)	Continuità del carico (si/no)	Vincoli Orari	Tempo di spegnimento	Tempo di riaccensione	Limite massimo spegnimento	E' possibile accendere-spegnere frequentemente? (si/no)	Tempo minimo tra due eventi	Personale associato (numero risorse)	Personale spostabile su altre linee (si/no)	Produzione di scarti in seguito al distacco (si/no)	Produzione oraria scarti (kg)	Altri costi associati
Pre-espansore continuo	no	si	-	5 minuti	5 minuti	-	si	-	1	no	no	-	-
Silos di stoccaggio	no	si	-	5 minuti	5 minuti	-	si	-	0	-	no	-	-
Blocchiera	no	si	-	5 minuti	5 minuti	-	si	-	1	no	si	72	-
Linea di Taglio	no	no	Non spegnibile se prima non è finito il prodotto	15-20 minuti	5 minuti	-	si	-	2	no	no	-	-
Troncatrice/ taglieria	no	si	-	5 minuti	5 minuti	-	-	-	1	no	no	-	-
Pantografo	no	no	3-4 ore al giorno	5 minuti	5 minuti	-	si	-	1	no	no	-	-
Stazione di imballaggio	no	no	Lavora massimo mezza giornata	5 minuti	5 minuti	-	si	-	2	si	no	-	-
Mulino di macinazione-Frantumatore	si	si	-	Immediato	Immediato	massimo 3 ore	si	-	0	no	no	-	-
Accumulatore a Vapore	no	-	-	5 minuti	Immediato	-	si	-	1	no	no	-	-
Caldiaia	no	-	-	Immediato	15 minuti	-	si	-	0	no	no	-	-
Caldiaia	no	-	-	Immediato	15 minuti	-	si	-	0	no	no	-	-
Compressore	no	-	-	-	-	-	si	-	0	no	no	-	-
U.T.A.	no	-	-	< 15 minuti	Immediato	-	si	-	0	no	no	-	-
Illuminazione linee	no	-	-	< 15 minuti	Immediato	-	si	-	0	no	no	-	-
Illuminazione uffici	no	-	-	< 15 minuti	Immediato	-	si	-	8	no	no	-	-

Tabella 2 – Tabella relativa allo step “Studio del processo”

Dalla tabella emergono le seguenti informazioni:

- L'unico componente flessibile allo spegnimento è il mulino di macinazione. L'azienda in questione, infatti, non è disposta a spegnere macchinari che sono coinvolti nel processo di produzione, dal momento che, lavorando su commessa, qualsiasi ritardo comporterebbe costi troppo elevati in termine di rapporto coi clienti. Tuttavia, per non limitare il modello ad un unico componente e per cercare approfondire il più possibile l'applicazione ad un caso reale, si ipotizza quindi di prendere in considerazione l'intero processo.
- La linea di taglio, il pantografo e la stazione di imballaggio non lavorano continuamente. I vincoli orari forniti andranno considerati nell'eventualità in cui tali componenti andranno presi in considerazione durante una richiesta di servizio di dispacciamento.
- Il tempo di spegnimento della linea di taglio è superiore al limite richiesto da Terna: per questo motivo la linea di taglio non è coinvolta nel modello, così come altri componenti il cui spegnimento coinvolga anche tale item.
- Il limite di spegnimento massimo per il mulino di macinazione è di tre ore. Questa informazione, insieme ai vincoli orari, viene al momento messa da parte.
- Tutti i componenti sono flessibili ad uno spegnimento frequente e non è richiesto un tempo minimo tra due eventi.
- Lo spegnimento della blocchiera provoca la produzione di scarti, di cui viene riportata la produzione oraria.
- Non sono emersi altri costi associati.

4.2.3. Studio degli effetti

L'applicazione del modello procede con la definizione dei percorsi associati ad ogni componente, prendendo in considerazione le relazioni che emergono sia dal processo produttivo che dallo schema a blocchi.

- **Pre-espansore:** trovandosi a monte dei silos di maturazione, che come detto precedentemente sono assimilabili a magazzini, il suo *percorso da processo* associato è costituito dal pre-espansore stesso. Lo stesso vale per il *percorso da unifilare*, dal momento che non ci sono altri componenti collegati allo stesso interruttore. Il suo spegnimento comporta uno spreco di risorse ad esso associate, dal momento che

sono pagate nonostante non stiano lavorando, che si traduce in un costo di manodopera. Altri effetti associati consistono nella parzializzazione della caldaia e dell'aria compressa, poiché hanno una utenza in meno da soddisfare. Come spiegato nel capitolo 3, questo impatto non genera costi, ma solo inefficienze tuttavia trascurabili. Non è prevista la produzione di scarti di materie prime.

DEFINIZIONE PERCORSI DA PROCESSO PRODUTTIVO			DEFINIZIONE EFFETTI E COSTI ASSOCIATI						
Item relativo al percorso	Numero identificativo	Percorso	Effetto 1	Costo Associato (€/h)	Effetto 2	Costo Associato (€/h)	Effetto 3	Costo Associato (€/h)	Costo totale associato al percorso
Pre-espansore	1	Pre-espansore	Manodopera (pre-espansore)	23,31					23

Tabella 3 – Percorso ed effetti associati al pre-espansore da processo produttivo

- **Silos di maturazione:** una volta spenti, a livello di processo produttivo si va a creare un impatto sia sui componenti a valle (pre-espansore) sia a monte (blocchiera). I percorsi sono studiati separatamente in modo da non perdere di vista eventuali effetti. Dallo schema a blocchi emerge la dipendenza con le blocchiere, in quanto condividono lo stesso interruttore.

Gli effetti correlati al percorso 2, mostrato in Tabella 5, consistono in costi di manodopera delle risorse associate al pre-espansore (dal momento che non ci sono risorse che si lavorano presso i silos), mentre per il percorso 3, essendo coinvolta anche la blocchiera, bisogna considerare anche la produzione di scarti. Per calcolare il costo associato agli scarti è necessario considerare la produzione oraria, la produzione di scarti rispetto alla produzione e il costo di materie prime e, dal loro prodotto, si ottiene il costo degli scarti associato:

Costo Materie Prime		
Produzione oraria	(kg/ora)	72
Percentuali scarti	(%)	100
Costo di acquisto	(€/kg)	3,2
Costo Materie Prime	(€/ora)	230,40

Tabella 4 – Tabella per il calcolo del costo degli scarti

Bisogna considerare anche il costo di manodopera associato alla caldaia e all'accumulatore, poiché il distacco del carico associato ai silos comporta lo spegnimento di tutta la parte di processo che precede il magazzino WIP, caldaia compresa.

DEFINIZIONE PERCORSI DA PROCESSO PRODUTTIVO			DEFINIZIONE EFFETTI E COSTI ASSOCIATI						
Item relativo al percorso	Numero identificativo	Percorso	Effetto 1	Costo Associato (€/h)	Effetto 2	Costo Associato (€/h)	Effetto 3	Costo Associato (€/h)	Costo totale associato al percorso
Silos di stoccaggio	2	Silos -> pre-espansore	Manodopera (pre-espansore+silos)	23,31	Perle non maturano	0			23
	3	Silos -> blocchiera -> accumulatore	Manodopera (blocchiera + accumulatore+caldaia)	46,62	Produzione scarti	230,4			277

Tabella 5 – Percorsi ed effetti associati ai silos di maturazione da processo produttivo

- **Blocchiere:** dello spegnimento della blocchiera risente l'accumulatore, a cui però non è associata nessuna risorsa. L'effetto generato si percuote sulla caldaia e sull'aria compressa, oltre che sulla produzione di scarti e sulla manodopera:

DEFINIZIONE PERCORSI DA PROCESSO PRODUTTIVO			DEFINIZIONE EFFETTI E COSTI ASSOCIATI						
Item relativo al percorso	Numero identificativo	Percorso	Effetto 1	Costo Associato (€/h)	Effetto 2	Costo Associato (€/h)	Effetto 3	Costo Associato (€/h)	Costo totale associato al percorso
Blocchiera	4	Blocchiera -> Accumulatore di vapore	Manodopera (blocchiera + accumulatore)	23,31	Produzione scarti	230,4			254

Tabella 6 – Percorsi ed effetti associati alle blocchiere da processo produttivo

A livello di processo produttivo, il distacco della blocchiera si limiterebbe a coinvolgere unicamente l'accumulatore. Considerando invece lo schema a blocchi, il componente condivide l'interruttore sul quale bisogna intervenire con i silos di maturazione (Tabella 7), dal cui spegnimento si innesca un effetto a cascata che coinvolge tutti i componenti che si trovano a valle del magazzino WIP, come verificatosi nel caso dei silos.

DEFINIZIONE PERCORSI DA UNIFILARE/SCHEMA A BLOCCHI			DEFINIZIONE EFFETTI E COSTI ASSOCIATI						
Item relativo al percorso	Numero identificativo	Percorso	Effetto 1	Costo Associato (€/h)	Effetto 2	Costo Associato (€/h)	Effetto 3	Costo Associato (€/h)	Costo totale associato al percorso
Blocchiera	9	Blocchiera -> silos							0

Tabella 7 – Percorsi ed effetti associati alle blocchiere da schema a blocchi

È necessario quindi aggiornare il percorso 4, includendo gli altri item coinvolti:

DEFINIZIONE PERCORSI DA PROCESSO PRODUTTIVO			DEFINIZIONE EFFETTI E COSTI ASSOCIATI						
Item relativo al percorso	Numero identificativo	Percorso	Effetto 1	Costo Associato (€/h)	Effetto 2	Costo Associato (€/h)	Effetto 3	Costo Associato (€/h)	Costo totale associato al percorso
Blocchiera	4	Blocchiera -> silos -> pre-espansore -> caldaia -> accumulatore	Manodopera (blocchiera + accumulatore+caldaia+pre-espansore)	69,93	Produzione scarti	230,4			300

Tabella 8 – Percorsi ed effetti aggiornati associati alle blocchiere da processo produttivo

- **Macinazione:** non essendo parte del processo produttivo, il percorso associato alla macinazione non coinvolge altri componenti e i costi associati si limitano alla manodopera:

DEFINIZIONE PERCORSI DA PROCESSO PRODUTTIVO			DEFINIZIONE EFFETTI E COSTI ASSOCIATI						
Item relativo al percorso	Numero identificativo	Percorso	Effetto 1	Costo Associato (€/h)	Effetto 2	Costo Associato (€/h)	Effetto 3	Costo Associato (€/h)	Costo totale associato al percorso
Macinazione	5	Macinazione	Manodopera (macinazione)	46,62					47

Tabella 9 – Percorsi ed effetti associati alla macinazione da processo produttivo

- **Linea di taglio:** essendo caratterizzata da tempi di spegnimento superiori ai 15 minuti, la linea di taglio non prende parte al modello.
- **Tagliera:** l'interruzione del carico associato alla tagliera provoca lo spegnimento anche della linea di taglio che, tuttavia, non viene considerata. Anche la tagliera viene esclusa dal modello.
- **Pantografo e imballo:** per tali componenti valgono le considerazioni fatte per la tagliera.
- **Caldaia:** del suo spegnimento risentono il pre-espansore e l'accumulatore di vapore, e, di conseguenza, anche la blocchiera e i silos di maturazione. Gli effetti generati si riferiscono alla manodopera di tutti gli impianti coinvolti, alla produzione di scarti (relativi alla blocchiera) e alla parzializzazione dell'aria compressa.

DEFINIZIONE PERCORSI DA PROCESSO PRODUTTIVO			DEFINIZIONE EFFETTI E COSTI ASSOCIATI						
Item relativo al percorso	Numero identificativo	Percorso	Effetto 1	Costo Associato (€/h)	Effetto 2	Costo Associato (€/h)	Effetto 3	Costo Associato (€/h)	Costo totale associato al percorso
Caldaia	6	Caldaia -> Accumulatore di vapore -> Blocchiera -> Silos -> Pre-espansore	Manodopera (blocchiera, silos, pre-esp, acc, caldaia)	69,93	Produzione scarti	230,4			300

Tabella 10 – Percorsi ed effetti associati alla caldaia da processo produttivo

- **Aria compressa:** il distacco del carico associato all'aria compressa, comporta lo spegnimento dell'intero processo, compresa la linea di taglio: per questo motivo anche l'aria compressa

non deve essere inclusa nel modello. Tuttavia, si è deciso di coinvolgerla nel modello, in quanto si ha modo di considerare altre tipologie di costo, come quello dovuto al ritardo delle consegne a cui, come mostrato precedentemente, viene associato un valore molto alto dal momento che provoca una grossa perdita per l'azienda. Non si hanno indicazioni circa le relazioni "elettriche" con gli altri componenti dallo schema a blocchi, ma non sono necessarie dal momento che sono già considerati tutti gli item nel percorso 8 (Tabella 11). Il percorso associato comprende tutti i componenti che fanno parte del processo produttivo e il costo relativo consiste nella manodopera associata a tali impianti, nella produzione di materie prime e nel costo associato ai ritardi:

DEFINIZIONE PERCORSI DA PROCESSO PRODUTTIVO			DEFINIZIONE EFFETTI E COSTI ASSOCIATI						
Item relativo al percorso	Numero identificativo	Percorso	Effetto 1	Costo Associato (€/h)	Effetto 2	Costo Associato (€/h)	Effetto 3	Costo Associato (€/h)	Costo totale associato al percorso
Aria Compressa	8	Aria Compressa -> Intero processo	Blocco intero processo - impatto su PF	1000,00	Personale associato al processo	186,49	Produzione scarti	230,4	1417

Tabella 11 – Percorsi ed effetti associati all'aria compressa da processo produttivo

Il prossimo passaggio da seguire, è quello relativo al calcolo della potenza complessiva associata ai componenti: si procede quindi con la costruzione delle citate nel capitolo 2.

RELAZIONI ITEM DA PROCESSO							
	Pre-espansore	Silos	Blocchiera	Macinazione	Caldaia	Accumulatore	Aria Compressa
Pre-espansore	1	0	0	0	0	0	0
Silos	1	1	1	0	0	1	0
Blocchiera	1	1	1	0	1	1	0
Macinazione	0	0	0	1	0	0	0
Caldaia	1	1	1	0	1	1	0
Accumulatore	0	0	1	0	0	1	0
Aria Compressa	1	1	1	1	1	1	1

Tabella 12 – Matrice associata alle relazioni tra componenti da processo

RELAZIONI ITEM DA UNIFILARE							
	Pre-espansore	Silos	Blocchiera	Macinazione	Caldaia	Accumulatore	Aria Compressa
Pre-espansore	1	0	0	0	0	0	0
Silos	0	1	1	0	0	0	0
Blocchiera	0	1	1	0	0	0	0
Macinazione	0	0	0	1	0	0	0
Caldaia	0	0	0	0	1	1	0
Accumulatore	0	0	0	0	1	1	0
Aria Compressa	0	0	0	0	0	0	1

Tabella 13 – Matrice associata alle relazioni tra componenti da schema a blocchi

Dal loro prodotto, si ottiene infine la matrice della potenza cumulata associata agli item:

RELAZIONI ITEM COMPLESSIVI							
	Pre-espansore	Silos	Blocchiera	Macinazione	Caldaia	Accumulatore	Aria Compressa
Pre-espansore	1	0	0	0	0	0	0
Silos	1	1	1	0	1	1	0
Blocchiera	1	1	1	0	1	1	0
Macinazione	0	0	0	1	0	0	0
Caldaia	1	1	1	0	1	1	0
Accumulatore	0	0	1	0	0	1	0
Aria Compressa	1	1	1	1	1	1	1

Tabella 14 – Matrice associata alle complessive relazioni tra componenti

I dati necessari per la costruzione della curva sono mostrati nella seguente tabella riassuntiva:

MATRICE OUTPUT FINALE		
Componente	Potenza totale (kW)	Costo Totale (€/h)
Pre-espansore	83	23
Silos di stoccaggio	181	300
Blocchiera	181	300
Macinazione	220	23
Caldaia	181	300
Accumulatore	89	254
Aria Compressa	517	1417

Tabella 15 – Matrice riassuntiva delle potenze e dei costi complessivi associati ai componenti

Dal momento che il distacco dei carichi associati rispettivamente ai silos, alla blocchiera e alla caldaia provoca lo spegnimento degli stessi componenti ottenendo, quindi, la stessa potenza cumulata e gli stessi costi associati, è possibile considerarli compattarli in una nuova tabella riassuntiva:

MATRICE OUTPUT FINALE		
Componente	Potenza totale (kW)	Costo Totale (€/h)
Pre-espansore	83	23
Silos di stoccaggio/ Blocchiera/ Caldaia	181	300
Macinazione	220	23
Accumulatore	89	254
Aria Compressa	517	1417

Tabella 16 – Matrice riassuntiva delle potenze e dei costi complessivi associati ai componenti aggiornata

4.2.4. Outcome finale

I valori capitolati nella Tabella 16 sono necessari per costruire la tabella seguente, che riporta le coordinate necessarie per la costruzione della curva cumulata. Al fine di ordinare i componenti per merito economico, è infine necessario selezionare la colonna relativa ai costi orari ed ordinarli “dal più piccolo al più grande”, espandendo la selezione.

COSTRUZIONE CURVA CUMULATA				
Componente	Potenza	Da	A	Costo
		0	0	0
Pre-espansore	83	0	83	23
Silos di stoccaggio/ Blocchiera/ Caldaia	181	83	264	300
Macinazione	220	264	484	23
Accumulatore	89	484	573	254
Aria Compressa	517	573	1090	1417

Tabella 17 – Matrice dedicata alla costruzione della curva cumulata prima della classificazione per merito economico

COSTRUZIONE CURVA CUMULATA				
Componente	Potenza	Da	A	Costo
		0	0	0
Pre-espansore	83	0	83	23
Macinazione	220	83	303	23
Accumulatore	89	303	392	254
Silos di stoccaggio/ Blocchiera/ Caldaia	181	392	573	300
Aria Compressa	517	573	1090	1417

Tabella 18 – Matrice dedicata alla costruzione della curva cumulata dopo la classificazione per merito economico

Il risultato ottenuto è il seguente:

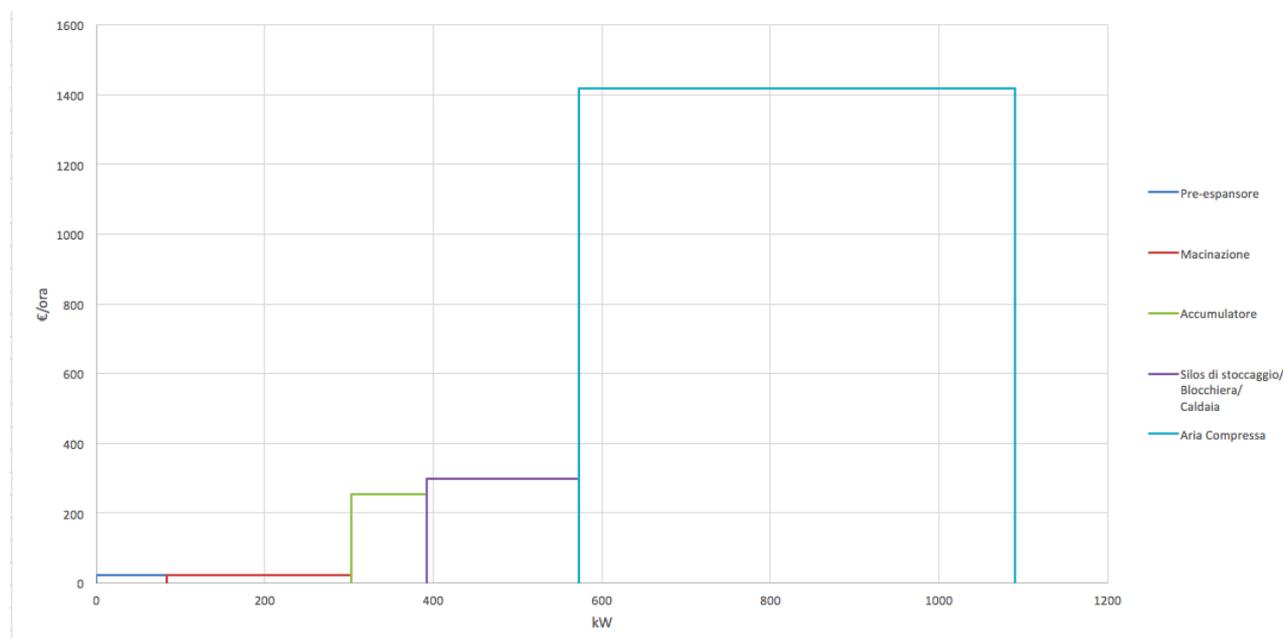


Figura 54 – Curva di merito economico associata all'unità di consumo preso in esame

L'impatto generato dallo spegnimento dell'aria compressa è evidente dalla curva di merito economico, dal momento che è caratterizzato da un alto valore di costo, dovuto alla manodopera, agli scarti di produzione e ai ritardi nelle consegne di prodotti finiti e di potenza, dal momento che ad essa è associato lo spegnimento di tutto il processo produttivo.

4.3. Presentazione dell'offerta

Dal modello sviluppato è quindi possibile accedere immediatamente alla quota di potenza interrotta e al costo associato relativi a ciascun componente, ma è anche necessario comprendere il reale guadagno ottenuto dalla prestazione di un servizio di dispacciamento. Come preannunciato nel Capitolo 1, l'offerta mostrata su MSD deve poter coprire i costi che ne derivano ed ottenere un guadagno:

$$Offerta = costo_{componente} + \Delta_{guadagno}$$

A tale scopo è stata realizzata una tabella che, prendendo in input la *potenza* che l'impianto di consumo è chiamato a interrompere, la *durata* dell'evento e il *guadagno* che si vuole ottenere determina autonomamente il guadagno totale, ed è di questo tipo:

PRESENTAZIONE DELL'OFFERTA		
Riduzione di potenza richiesta	220	kW
Durata	3	h
Guadagno	50	€/h
Costo associato	23	€/h
Offerta	73	€/h
Guadagno totale	219,93	€
Coordinate offerta	0	73
	1090	73

Tabella 19 – Tabella dedicata al calcolo dei costi effettivi e dell'offerta

Per calcolare il guadagno totale associato al distacco, bisogna prima individuare:

- Il *costo associato*: per conoscerlo, è necessario sapere qual è il componente che sarà coinvolto nel distacco al fine di soddisfare l'ordine di dispacciamento. Le potenze vengono ordinate in ordine crescente in modo da individuare intervalli di potenza come mostrato in Tabella 20, indicandone il componente che serve a coprire tale intervallo ed il suo costo associato. È sufficiente quindi paragonare la potenza richiesta dall'ordine di dispacciamento con gli intervalli ottenuti: in base all'appartenenza verrà determinato il componente utile al distacco. Il confronto avviene attraverso il comando "SE" di Excel che è strutturata in tal modo:

SE(test;[se_vero];[se_falso]);

La potenza richiesta (indicata con **pot_rich**) viene confrontata con gli intervalli di ciascun componente che partono da un valore minimo (**pot1_nome_componente**) per arrivare a un valore massimo (**pot2_nome_componente**). Il *test* è il accostamento del valore della potenza con i valori minimi e massimi associati al componente considerato⁶²: se il test risulta vero, viene preso il costo relativo a tale componente che rispetta il vincolo, altrimenti si effettua un altro confronto considerando un altro item. La struttura che ne consegue è di questo tipo:

=SE(E(pot_rich>pot1_pre-esp;pot_rich>=pot2_pre-esp;costo_pre-esp;SE(E(pot_rich>pot1_acc;pot_rich<=pot2_acc;costo_acc;SE...

⁶² Dal momento che *test* da svolgere prevede due disequazioni (una rispetto al valore minimo di potenza, l'altro rispetto al valore massimo), viene utilizzando il comando "E" di Excel: **=E([logico_1];[logico_2]);**

Componente	Intervallo di potenza		Costo
Pre-espansore	0	83	23
Macinazione	83	89	254
Accumulatore	89	181	300
Silos di stoccaggio/ Blocchiera/ Caldaia	181	220	23
Aria Compressa	220	517	1417

Tabella 20 – Tabella per l'associazione del costo associato alla potenza richiesta in caso di distacco del carico associato alla macinazione

Il valore ottenuto viene inserito nella casella *costo associato*.

- L'*offerta*, come da formula precedente, è pari alla somma tra il costo associato ed il guadagno indicato
- Il *guadagno totale* è dato dal prodotto tra l'offerta oraria e la durata dell'evento
- In *coordinate offerta* vengono indicati i valori per inserire il valore dell'offerta nella curva di merito economico.

Il risultato ottenuto è il seguente:

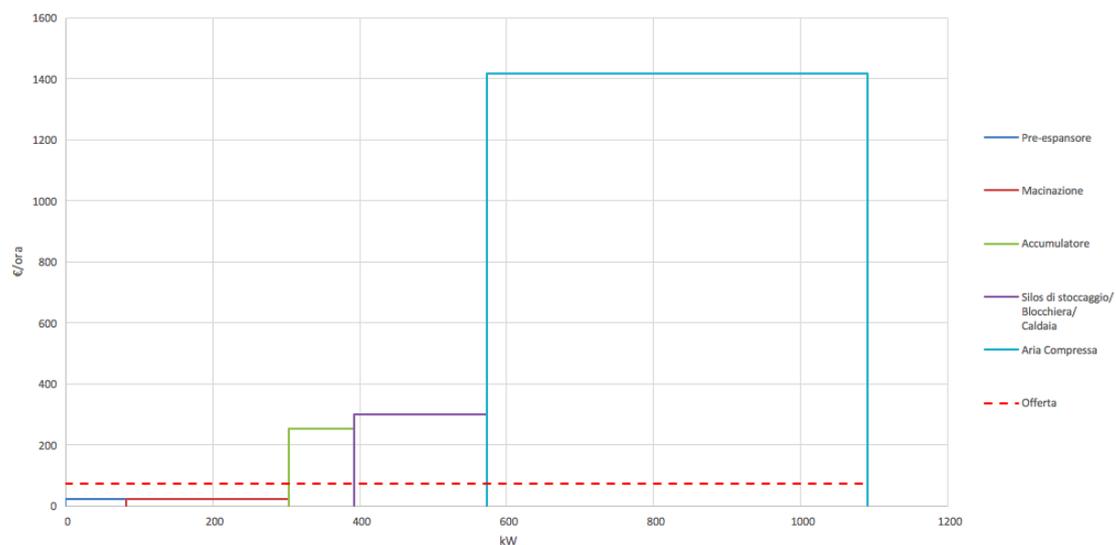


Figura 55 – Curva di merito economico con presentazione dell'offerta in caso di distacco del carico associato alla macinazione

La presentazione dell'offerta deve essere, come spiegato nel Capitolo 1, espressa in €/MWh. Per fare ciò bisogna dividere il costo orario per la quota di potenza richiesta, ma non della singola unità di consumo ma deve essere riferita alla UVAC. Vengono quindi ipotizzate altre due unità di consumo, una da 500 kW con un costo di 50 €/h e una da 280 kW (ottenendo quindi una potenza aggregata pari a 1 MW) con un costo pari a 70 €/h, ipotizzando di considerare il distacco associato alla macinazione.

Per ottenere l'offerta è sufficiente dividere il costo orario totale per la potenza totale riferita alla UVAC:

PRESENTAZIONE DELL'OFFERTA										
UVAC 1			UVAC 2			UVAC 3			Totale	
Taglia	220	kW	Taglia	500	kW	Taglia	280	kW	1000	kW
Costo	23	€/h	Costo	50	€/h	Costo	70	€/h	143	€/h
									143	€/MWh

Tabella 21 – Tabella riferita alla presentazione dell'offerta su MSD

4.4. Eventuali soluzioni migliorative

Come spiegato nel Capitolo 1, le modalità con cui fornire un servizio di Demand Response sono la *riduzione dei consumi*, *l'autoproduzione*, *l'impiego di sistemi di accumulo*. Nel caso reale preso in esame, non sono presenti né sistemi di accumulo né di autoproduzione e per questo motivo, nell'eventualità di una richiesta di riduzione dei consumi, è necessario intervenire direttamente sui componenti che fanno parte del processo produttivo comportando così costi e disagi dal punto di vista produttivo.

Sarebbe pertanto interessante ipotizzare la presenza di un eventuale sistema di accumulo o di autoproduzione, in modo riuscire a quantificare i vantaggi ottenuti rispetto al semplice caso di modulazione del carico attraverso la riduzione dei consumi.

L'analisi sarà seguita in due eventualità, cioè sia che il sistema di autoproduzione/accumulo faccia già parte dell'impianto di consumo (quindi estendendo il modello di Flexibility Audit anche al sistema di autoproduzione/accumulo), sia che si consideri di fare un investimento al fine di acquistarlo. In quest'ultima ipotesi, andranno ovviamente esaminati anche i ricavi e i costi annuali che ne derivano, in modo da valutarne la convenienza.

I casi analizzati saranno quindi i seguenti:

- 1) Flexibility Audit con cogeneratore
- 2) Flexibility Audit con batteria
- 3) Soluzione migliorativa con cogeneratore
- 4) Soluzione migliorativa con batteria

4.4.1. Flexibility Audit con cogeneratore

Come sistema di autoproduzione viene esaminato un cogeneratore sia con motori alternativi a combustione interna sia con turbina a gas. Trattandosi di un caso ipotetico devo essere fatte diverse assunzioni:

- il *contributo* del cogeneratore è unicamente di tipo *elettrico*: la quota termica viene quindi dissipata. Per questo motivo, nell'analisi non verrà preso in considerazione, tra i ricavi, il contributo dei CAR (Cogenerazione ad Alto Rendimento), dal momento che non è prevista energia termica utile;
- un *rendimento elettrico* pari al 30% ($\eta_{el,MA}=30\%$) nel caso di motori alternativi e pari al 40% nel caso della turbina a gas ($\eta_{el,TG}=40\%$);
- un *prezzo del gas* pari a 0,25 €/Smc;

- un *potere calorifico inferiore del gas* di 33,36 MJ/Smc;
- la *taglia dell'impianto* è presa dalle informazioni di input mostrate in Tabella 1 ed è pari a 611 kW, considerando ovviamente anche il sistema di illuminazione e le Unità di Trattamento Aria.

Nel modello è stato mostrato come ad ogni percorso (che in questo caso costituito unicamente dal cogeneratore) sono associati dei costi che in questo caso consistono in *costi di autoproduzione*.

Nel caso del **cogeneratore con motori alternativi**:

- Il *costo del consumo di combustibile*:

$$C_{autoprod_MA} = \frac{\text{Prezzo}_{gas}}{\eta \cdot PCI_{gas}} = \frac{0,25 \text{ €/Smc}}{0,4 \cdot 33,36 \text{ MJ/Smc}} \cdot 3600 \text{ s} = 67,39 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$$

- I *costi operativi e di gestione* (O&M, Operation and Maintenance, detti anche OPEX) sono ipotizzati pari a:

$$O\&M = 10 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$$

Il costo totale di autoproduzione nel caso di motori a combustione interna ammontano a:

$$C_{CHP_MA} = C_{autoprod_MA} + O\&M = 67,39 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} + 10 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} = 77,39 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$$

che, per lo stabilimento in questione diventano $C_{CHP_MA} = 77,39 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} \cdot 0,611 \text{ MW} = \mathbf{47,28 \text{ €/h}}$

Analogamente sono stati ricavati i costi di autoproduzione nel caso con turbina a gas, considerando il rendimento elettrico pari al 40%:

$$C_{autoprod_TG} = \frac{\text{Prezzo}_{gas}}{\eta \cdot PCI_{gas}} = \frac{0,25 \text{ €/Smc}}{0,3 \cdot 33,36 \text{ MJ/Smc}} \cdot 3600 \text{ s} = 89,95 \text{ €/MWh}$$

$$O\&M = 10 \text{ €/MWh}$$

da cui

$$C_{CHP_TG} = C_{autoprod_TG} + O\&M = 90 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} + 10 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} = 99,95 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$$

E, nel caso specifico, $C_{CHP} = 99,95 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} \cdot 0,611 \text{ MW} = \mathbf{61 \text{ €/h}}$

I dati ottenuti sono inseriti nella tabella contenente i dati per costruire la curva cumulata, come fatto con i percorsi precedenti:

Componente	Potenza	Da	A	Costo
		0	0	0
Pre-espansore	83	0	83	23
Macinazione	220	83	303	23
Motore alternativo	611	303	914	47
Turbina a gas	611	303	914	61
Accumulatore	89	303	392	254
Silos di stoccaggio/ Blocchiera/ Caldaia	181	392	573	300
Aria Compressa	517	573	1090	1417

Figura 56 – Tabella per la costruzione della curva cumulata nel caso di autoproduzione

Da cui si ottiene:

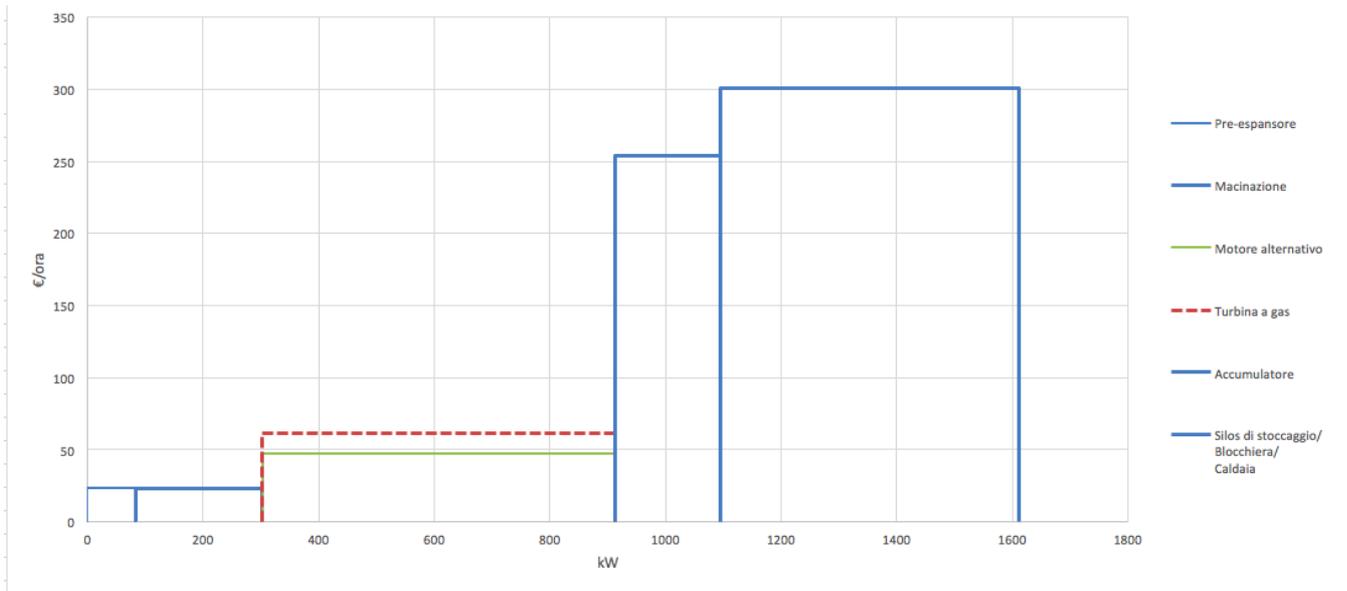


Figura 57 – Curva di merito economico nel caso di autoproduzione

Ai due casi sono associati costi orari relativamente bassi, costituendo quindi una buona alternativa per la soddisfazione di un ordine di dispacciamento. Il vero vantaggio nell'impiego dei sistemi di autoproduzione consiste, tuttavia, nella possibilità di soddisfare la modulazione dei consumi senza agire sul processo produttivo, il quale continua a funzionare non più prelevando energia elettrica dalla rete ma alimentato dal cogeneratore.

4.4.2. Flexibility Audit con batteria

Solitamente, le tipologie di batterie industriali che vengono impiegate come sistema di accumulo sono le batterie piombo-acido e agli ioni di litio. Come nel caso precedente è necessario porre delle assunzioni prima di procedere con l'analisi dei costi associati. Partendo dal *rendimento*, si è scelto di considerare una batteria piombo-acido la cui curva di rendimento in funzione del numero di cicli è la seguente:

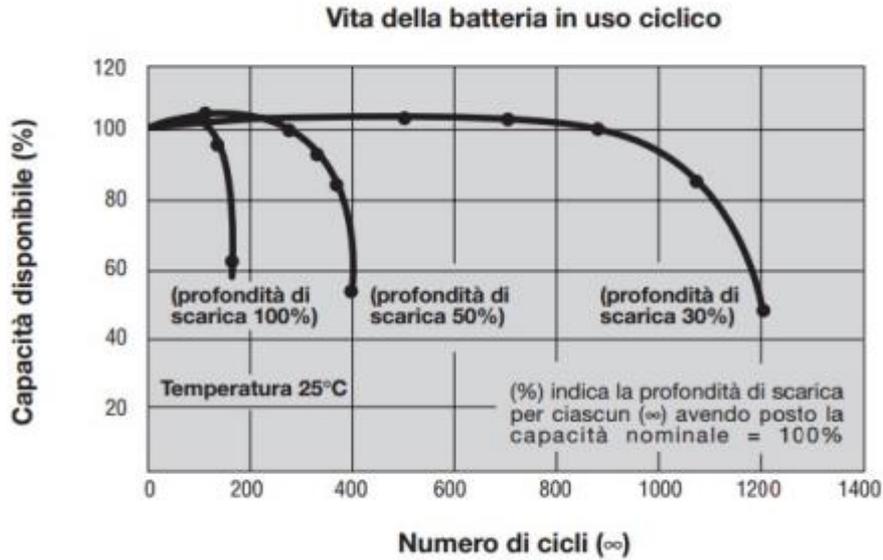


Figura 58 – Curva capacità-numero di cicli di una batteria a piombo-acido
(fonte: www.onlite.it)

Dal momento che l'uso della batteria prevede la scarica e la ricarica completa, si considera la curva relativa a una profondità di scarica (Death of Discharge, o DOD) del 100%. Per il rendimento viene considerato un valore medio pari al 85%.

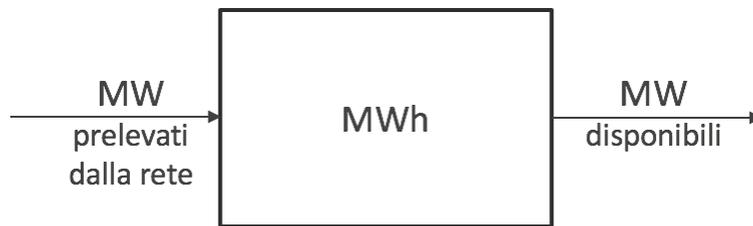


Figura 59 – Schema di funzionamento di una batteria

Dal momento che la batteria deve fornire 0,611 MW, la taglia della batteria dovrà essere almeno pari a 1,8 MWh in modo da rispettare la seguente disequazione:

$$\frac{MWh}{MW_{disp}} \geq 3$$

Il che costituisce un vincolo nella taglia della batteria.

Ipotizzando un *costo dell'energia* di 120 €/MWh (comprata a costo fisso), il costo effettivo di acquisto sarà:

$$C_{energia} = \frac{120 \text{ €/MWh}}{0,85} = 141 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$$

che, per l'impianto considerato, diventano: $C_{Batteria} = 141 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} \cdot 0,611 \text{ MW} = \mathbf{86,15 \text{ €/h}}$.

Inserendo il costo nella tabella per la costruzione della curva di merito economico:

Componente	Potenza	Da	A	Costo
		0	0	0
Pre-espansore	83	0	83	23
Macinazione	220	83	303	23
Batteria	611	303	914	86
Accumulatore	89	303	392	254
Silos di stoccaggio/ Blocchiera/ Caldaia	181	392	573	300
Aria Compressa	517	573	1090	1417

Tabella 22 – Tabella per la costruzione della curva cumulata nel caso di sistema di accumulo

E, infine:

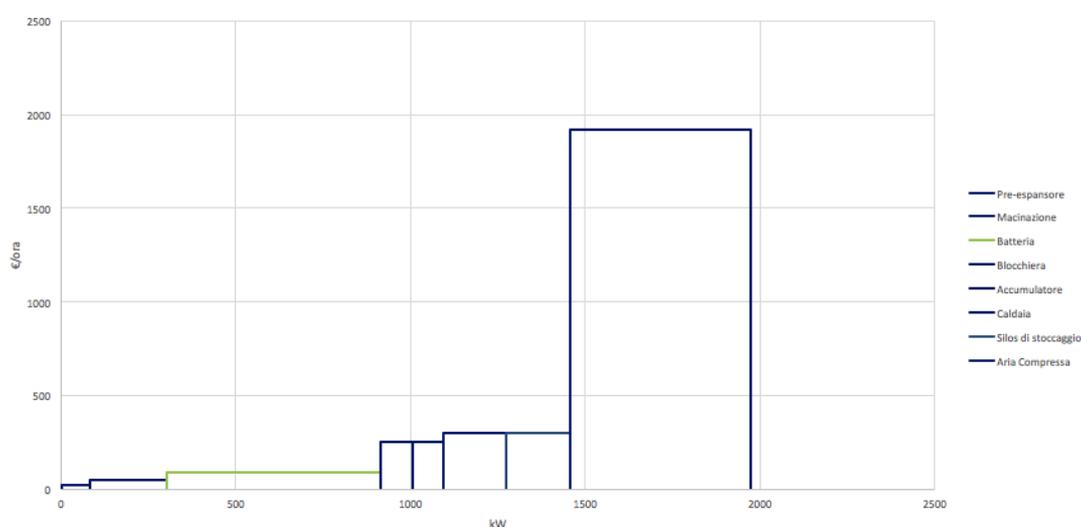


Figura 60 – Curva di merito economico nel caso di sistema di accumulo

4.4.3. Soluzione migliorativa con cogeneratore

Visti i vantaggi dovuti dalla presenza di un cogeneratore, potrebbe essere utile acquistarlo al fine di prendere parte al Demand Response senza intervenire sul processo produttivo. Bisogna però fare un'analisi dell'investimento per capire quanto questa alternativa possa essere vantaggiosa, considerando il costo di acquisto (CAPEX⁶³) oltre che i ricavi e i costi annuali (OPEX⁶⁴).

Si prende in considerazione un cogeneratore a motori alternativi a combustione interna dal catalogo di AB Energy mostrato in figura con costo del capitale pari a 1245 €/kW. Poiché la taglia dello stabilimento è di 611 kW, si ottiene un CAPEX di:

$$CAPEX = 1245 \frac{\text{€}}{\text{kW}} \cdot 611 \text{ kW} = 900.000 \frac{\text{€}}{\text{MW}} = 760.795 \text{ €}$$

⁶³ Il **Capex** (da **CAPital EXPenditure**, cioè le spese in conto capitale) indica l'ammontare di flusso di cassa che una società impiega per acquistare, mantenere o implementare le proprie immobilizzazioni operative, come edifici, terreni, impianti o attrezzature (da *BusinessDictionary.com*).

⁶⁴ Gli **OpEx** (dal termine inglese **OPerating EXpenditure**, ovvero *spesa operativa*) è il costo necessario per gestire un prodotto, un business od un sistema altrimenti detti costi di O&M (*Operation and Maintenance*) ovvero costi operativi e di gestione. (da *BusinessDictionary.com*).

AB Energy - ECOMAX® 6 NGS



Potenza elettrica

637 kW el.

Emissioni

NOx < 250 mg/Nm³ (5% O₂)

*Figura 61 – Cogeneratore considerato per l’analisi dell’investimento
(fonte: AB Energy)*

Gli OPEX sono gli stessi calcolati nel Caso 1:

$$OPEX = 77,39 \frac{\text{€}}{MWh} = 47,28 \frac{\text{€}}{h}$$

L’analisi dell’investimento si basa su calcolo del tempo di rimborso o Pay Back Time (PBT) e verrà considerato vantaggioso se quest’ultimo risulterà intorno ai 6/7 anni.

Trattandosi di un caso ipotetico, come fatto per il caso 1 e 2, devono essere considerate diverse assunzioni in aggiunta alle precedenti:

- Una *durata medio di interruzione del carico* di 3 ore;
- Una *frequenza di eventi annuali* pari a 100;
- Un *premio variabile* di 120 €/MWh e un *premio fisso* di 30.000 €/MWh, dal momento che si considera una durata di 3 ore.

A questo punto è possibile calcolare i costi di operazione:

$$OPEX = 47,28 \frac{\text{€}}{h} \cdot 3 \frac{h}{\text{evento}} \cdot 100 \frac{\text{evento}}{\text{anno}} = \mathbf{14.184 \text{ €/anno}}$$

Nel calcolo dei ricavi bisogna considerare che la quota fissa è estesa solo alla durata dell’asta, che tipicamente è trimestrale:

$$\begin{aligned} \text{Ricavi} &= \text{quota variabile} + \text{quota fissa} \\ &= 120 \frac{\text{€}}{MWh} \cdot 0,611 \text{ MW} \cdot 3 \frac{h}{\text{evento}} \cdot 100 \frac{\text{evento}}{\text{anno}} + 30.000 \cdot \frac{3 \text{ mesi}}{12 \text{ mesi}} \frac{\text{€}}{\text{MW} \cdot \text{anno}} \\ &\cdot 0,611 \text{ MW} = 26.578,5 \frac{\text{€}}{\text{anno}} \end{aligned}$$

Considerando un flusso di cassa iniziale pari al CAPEX e negli anni successivi di:

$$F_i = Ricavi - Costi = 26.578,5 \frac{\text{€}}{\text{anno}} - 14.184 \frac{\text{€}}{\text{anno}} = 12.394,5 \frac{\text{€}}{\text{anno}}$$

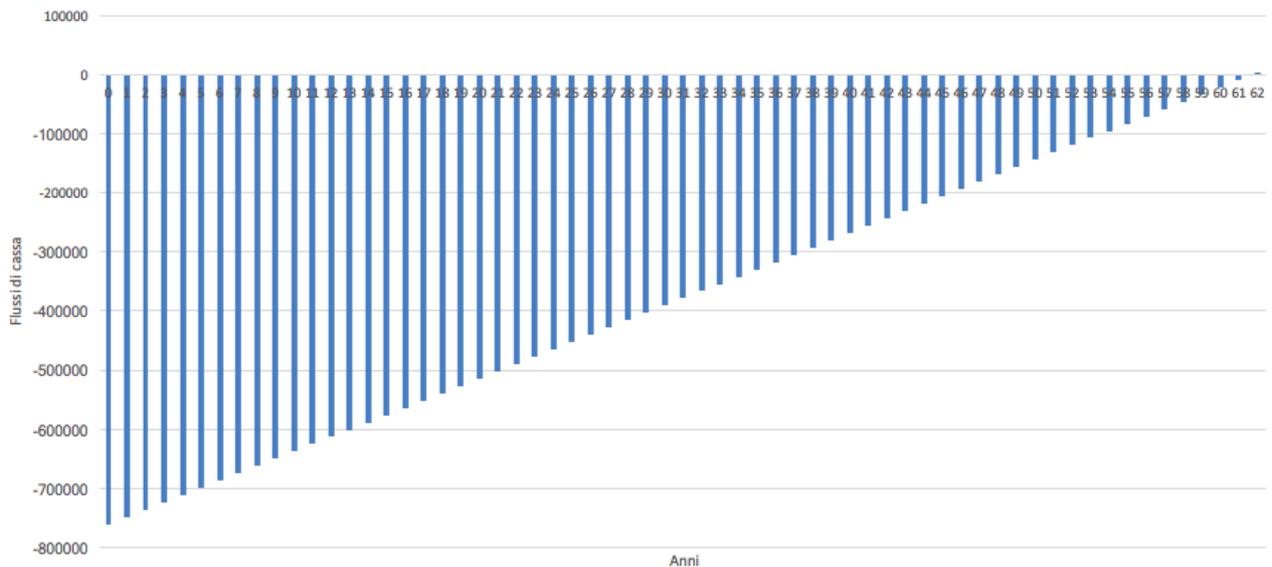


Figura 62 – Analisi dei flussi di cassa

In questo modo, come si può notare nel grafico precedente, il PayBack Time assume un valore pari a 60 anni, troppo alto per renderla una soluzione conveniente. Questo risultato è dovuto, oltre all'elevato CAPEX, dai ricavi che non sono sufficienti a coprirlo.

4.4.4. Soluzione migliorativa con batteria

Nel caso di investimento di una batteria piombo acido, si considera un costo del capitale pari a 250 €/kWh e una capacità di 1,8 MW:

$$CAPEX = 250 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = \mathbf{152.750 \text{ €}}$$

Gli OPEX sono gli stessi calcolati nel caso 2 e annualmente sono pari a:

$$OPEX = 141 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} \cdot 0,611 \text{ MW} \cdot 3 \frac{\text{h}}{\text{evento}} \cdot 100 \frac{\text{evento}}{\text{anno}} = \mathbf{25.845,3 \frac{\text{€}}{\text{anno}}}$$

I ricavi sono analoghi a quelli calcolati nel caso precedente:

$$\begin{aligned} Ricavi &= \text{quota variabile} + \text{quota fissa} \\ &= 120 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} \cdot 0,611 \text{ MW} \cdot 3 \frac{\text{h}}{\text{evento}} \cdot 100 \frac{\text{evento}}{\text{anno}} + 30.000 \cdot \frac{3 \text{ mesi}}{12 \text{ mesi}} \frac{\text{€}}{\text{MW} \cdot \text{anno}} \\ &\quad \cdot 0,611 \text{ MW} = \mathbf{26.578,3 \frac{\text{€}}{\text{anno}}} \end{aligned}$$

Dal momento che i ricavi sono quasi uguali ai costi, il Pay Back Time assumerà valori troppo alti per poter considerare tale investimento. In conclusione, quindi, è sempre vantaggioso possedere un impianto di autoproduzione da accendere per sostenere la produzione piuttosto che comprarlo.

Capitolo 5 – Conclusioni

5.1. Benefici associati all'uso di un Flexibility Audit

Nei capitoli precedenti, con la descrizione del processo metodologico alla base del Flexibility Audit e dell'applicazione ad un caso reale, è emersa una certa **facilità di utilizzo** del modello, dal momento che buona parte di esso si concentra sulla raccolta di informazioni, le quali devono tuttavia essere prese con una certa accuratezza al fine di rispettare i vincoli normativi e per non creare problemi al processo produttivo, permettendo di acquisire una **maggiore conoscenza dell'aspetto energetico e produttivo dello stabilimento e delle sue potenzialità**. Sono pochi, infatti, i proprietari di stabilimenti ad essere al corrente dell'effettiva spesa energetica impiegata a sostegno della produzione e di come essa si distribuisce a livello di aree o di singoli componenti. Questa conoscenza relativa al reale funzionamento del sistema produttivo permette quindi di poter realizzare degli interventi di ottimizzazione, sia sui costi che sui consumi.

Ci sono altri vantaggi che caratterizzano il Flexibility Audit: tra questi la **conoscenza dell'effettivo ritorno economico** che consegue la prestazione di un servizio di dispacciamento.

Il valore di CAP dato al corrispettivo fisso di 30.000 €/MW/anno, che anche può raddoppiarsi a fronte di una durata di esercizio di sei ore, può dare l'impressione a un cliente di poter ricevere un grande guadagno grazie alla partecipazione dell'asta, senza ancora considerare il premio variabile. Tuttavia, tale premio fisso non sarà mai pari ai 30.000 € che ci si possono aspettare, infatti:

- Rappresenta la massima offerta (CAP) che si può presentare all'asta la quale, essendo al ribasso, porta a proporre un prezzo più basso del CAP in modo da aumentare le probabilità di essere chiamati. Solitamente le offerte presentate si aggirano intorno ai 29.800 €/MW/anno.
- È associato al MW offerto, quindi da dividere a tutte le Unità di Consumo che compongono la UVAC in base alla relativa quantità fornita.
- È espresso in €/anno, perciò relativo alla durata dell'asta al ribasso che solitamente è trimestrale.
- Il valore di premio fisso viene fornito dal TSO direttamente al BSP il quale, prima di distribuirlo alle proprie Unità di Consumo, trattiene una quota che generalmente è pari al 30% del totale.

Per i motivi sopraelencati, il corrispettivo variabile copre un ruolo importante nel totale guadagno economico di una Unità di Consumo e dovrebbe perciò essere massimizzato il più possibile, grazie all'impiego del Flexibility Audit.

Il Flexibility Audit, inoltre, ha lo scopo di indicare i carichi elettrici al cui distacco è associato un **impatto produttivo pressoché nullo o trascurabile**. Il principio che sta alla base di tale strumento è, infatti, la scelta di sezioni o carichi di stabilimento che possano essere ridotti o fermati per almeno tre ore, minimizzando l'impatto sul sito. Nell'outcome finale, tali componenti sono rappresentati dalle sezioni di curva cumulata che presentano un minore costo orario variabile. L'impatto sulla produzione è però spesso difficile da valutare: prendendo come esempio il caso reale preso in esame, il distacco del carico associato all'aria compressa comporta un grandissimo impatto sul sito, generando ritardi sulla produzione che l'azienda, lavorando su commessa, non può permettersi di sostenere. La scelta di associarvi un valore di 1000 €/h è stata concordata con il proprietario dello

stabilimento, il quale ha cercato di valutare tale costo associato. A tali costi possono aggiungersi dei costi indiretti, come la perdita di immagine del sito verso i propri clienti, che sono pressoché impossibili da stimare. Lo stesso vale per l'effetto generato sul personale in seguito al distacco della caldaia dedicata al riscaldamento o delle illuminazioni: il personale inizia a diminuire la qualità del proprio lavoro oppure è obbligato a non lavorare data l'assenza di corrente generando sicuramente un costo all'azienda il quale però, come detto, è molto difficile quantificare. L'analisi associata al modello si può definire, per tali motivi, associata a un punto di vista più *qualitativo* che *quantitativo*: è capace di indicare i carichi che comportano un minore impatto economico e produttivo ma non di stimarlo con estrema precisione.

Impiego del Flexibility Audit consente inoltre la **partecipazione al mercato di dispacciamento**, permettendo al cliente di sfruttare il proprio processo produttivo per ottenere ulteriori guadagni, che vanno a sommarsi a quelli generati dal sito.

5.2. Benefici associati al Demand Response

“La **International Energy Agency (IEA)** nel 2016 identifica a livello globale la DR come uno degli elementi chiave *‘potential game changer’* (insieme a reti, accumuli e generazione flessibile) necessari a garantire sicurezza ed efficienza ai mercati energetici a breve termine in un contesto di sviluppo caratterizzato dalla crescente penetrazione delle fonti rinnovabili”⁶⁵. La IEA sottolinea pertanto la potenzialità del Demand Response nel garantire benefici:

- Al cliente, sfruttando il proprio stabilimento per ottenere ulteriori guadagni
- Al TSO, per facilitare lo svolgimento delle attività di dispacciamento nella gestione della rete garantendone stabilità e continuità
- All'ambiente, permettendo un'integrazione delle fonti rinnovabili nella produzione di energia elettrica più facile e più facile da gestire

Senza il Demand Response, infatti, la produzione di energia elettrica sarebbe portata verso altri sistemi di generazione come le centrali termoelettriche, più impattanti dal punto di vista ambientale. Inoltre, senza di esso la presenza di black out sarebbe molto più frequente dal momento che Terna avrebbe molte più difficoltà nel gestire la rete elettrica. Inoltre, in assenza di Demand Response, l'alternativa cui può rivolgersi Terna è l'interrompibilità che, come spiegato nel paragrafo 1.3, consiste nel deliberato distacco dei carichi elettrici senza garantire un preavviso al gestore dell'unità di consumo e generando un forte impatto produttivo ed economico.

5.2.1. Risultati ottenuti dal progetto pilota sulla UVAC

I risultati ottenuti dai progetti pilota sulle UVAC sono forniti da Terna e sono mostrati nei seguenti grafici:

⁶⁵ Da *Progetto pilota per la partecipazione a MSD della domanda*, SERE (Servizi Energia).

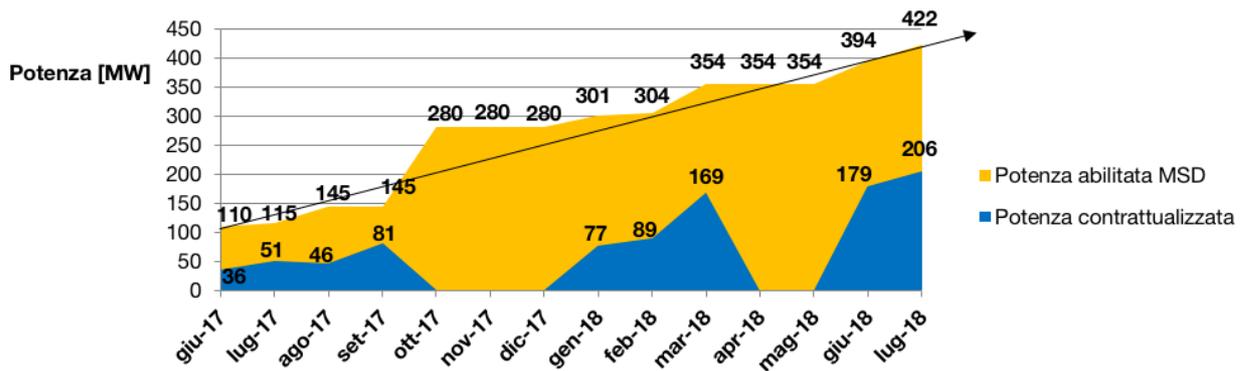


Figura 63 – Potenza abilitata al MSD vs potenza contrattualizzata
(fonte: Terna)

Nell'ultimo anno la partecipazione al servizio di Demand Response è risultata in forte crescita, ottenendo valori quasi triplicati per quanto riguarda la potenza abilitata al Mercato per il Servizio di Dispacciamento. Anche la potenza contrattualizzata per l'asta a termine è stata interessata da un consistente aumento. I periodi che vanno da ottobre a dicembre 2017 e da aprile a maggio 2018 non presentano quote di potenza contrattualizzata dal momento che in tali periodi Terna non ha indetto alcuna asta.

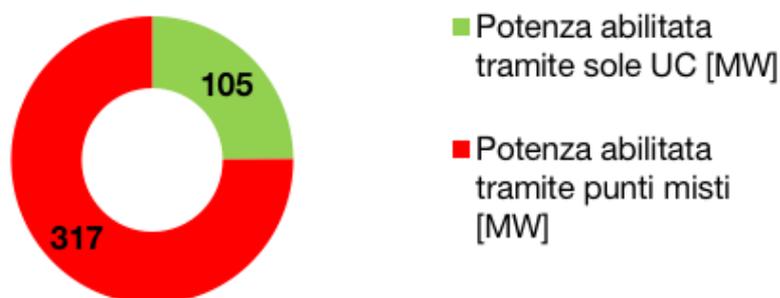


Figura 64 – Potenza abilitata alle sole Unità di Consumo e ai punti misti
(fonte: Terna)

Dalla Figura 64 è possibile vedere come la potenza flessibile richiesta da Terna è stata abilitata principalmente ai punti misti (sia impianti di consumo sia sistemi di autoproduzione), dal momento che l'autoproduzione presenta il vantaggio di provocare meno impatto ai processi produttivi. La quota parte di flessibilità fornita da sole Unità di Consumo è cresciuta costantemente fino a incidere per il 25% circa sulla potenza abilitata totale.

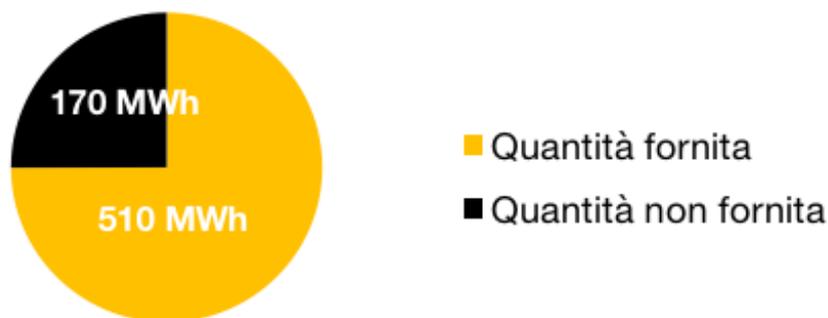


Figura 65 – Quantità di energia flessibile fornita dalle UVAC sul totale
(fonte: Terna)

Con questo grafico, Terna mostra i buoni risultati ottenuti dalla partecipazione delle UVAC al Mercato per il Servizio di Dispacciamento: nel periodo giugno 2017 – aprile 2018, infatti, le UVAC hanno mediamente fornito il 75% dei volumi negoziati su MSD.

5.3. Effetti sui costi di dispacciamento

Nel 1° trimestre 2015, il prezzo di riferimento per l'energia elettrica relativo a un cliente domestico tipo (famiglia con consumi pari a 2.700 kWh/anno e potenza pari a 3 kW) risulta pari a 187,2 €/MWh, che vengono così distribuiti in bolletta:

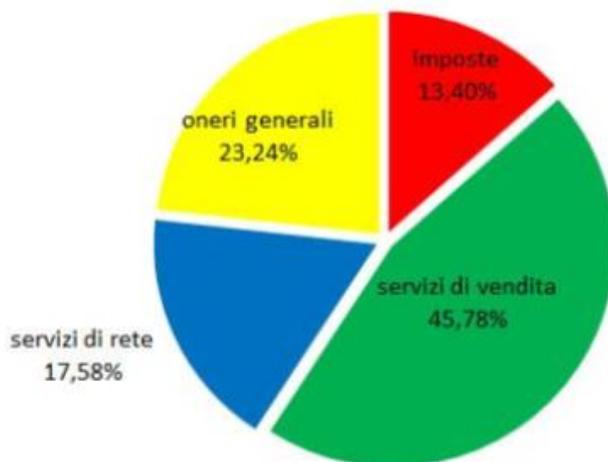


Figura 66 - Composizione del prezzo dell'energia elettrica per l'utente tipo
(fonte: AEEGSI)

Come si può notare in figura, la bolletta è divisa in quattro parti: *servizi di vendita*, *servizi di rete*, *imposte*, *oneri generali*.

I **servizi di vendita** comprendono tutti i servizi e le attività svolte dal fornitore per acquistare e rivendere l'energia elettrica ai clienti. I costi associati alla prestazione di questo servizio sono⁶⁶:

⁶⁶ Da *La bolletta elettrica nel mercato libero*, AEEGSI.

- **Prezzo dell'energia (PER):** copre i costi per l'acquisto di energia elettrica, comprese anche le perdite sulle reti di trasmissione e di distribuzione.
- **Prezzo di commercializzazione e vendita (PCV):** comprende i costi che le società di vendita sostengono per rifornire i loro clienti. Per i clienti serviti in maggior tutela⁶⁷ questa voce è una tariffa fissata dall'Autorità, mentre i clienti sul mercato libero pagano per i servizi commerciali di vendita un prezzo proposto dal fornitore.
- **Prezzo del dispacciamento (PD):** relativo alle attività effettuate da Terna per mantenere il sistema elettrico in equilibrio, attraverso l'istantanea compensazione tra l'energia elettrica immessa e quella prelevata.

Alle varie attività svolte da Terna durante l'erogazione del servizio di dispacciamento sono correlate delle tariffe determinate dall'Autorità:

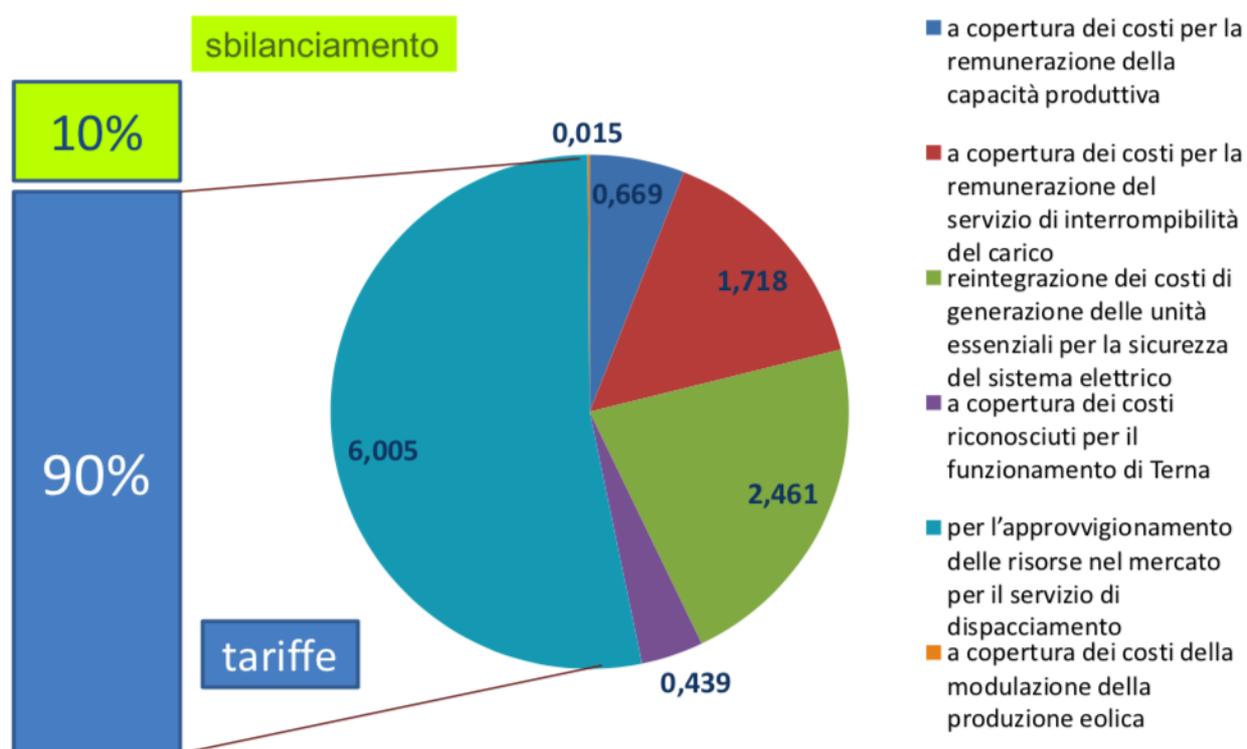


Figura 67 – Composizione costi di dispacciamento (valori espressi in €/MWh)
(fonte: AEEGSI)

Il prezzo di dispacciamento è dovuto alla necessità di coprire tutti i costi che il TSO sostiene durante lo svolgimento delle attività di dispacciamento. L'aiuto del Demand Response, che aiuta

⁶⁷ "Il **servizio di maggior tutela** è quell'opzione che garantisce al consumatore l'erogazione di energia elettrica alle condizioni economiche e contrattuali stabilite dall'Autorità per l'energia elettrica, il gas ed il sistema idrico (A.E.E.G.S.I.)", dal sito autorita.energia.it.

l'integrazione delle fonti rinnovabili nella produzione di energia elettrica, ha permesso di diminuire tali costi associati passando, tra il 2008 e il 2014, da 2,8 a 2 miliardi di euro⁶⁸.

⁶⁸ Da qualenergia.it

Bibliografia

Il settore Energy & Utilities: un modello di business per il recupero dell'efficienza nella gestione del Cliente – Rocchi N.

Centrali termoelettriche – M. Giambini, M. Vellini.

Opportunità di ottimizzazione dei consumi nella produzione, distribuzione, utilizzo dell'aria compressa nei settori industriali più sensibili – Enea

Le pompe di calore – W. Grassi.

Impatto del Dynamic Pricing – Energie@home

Regolamento per l'approvvigionamento a termine delle risorse interrompibili istantaneamente e di emergenza nel triennio 2011-2013 – Terna

Regolamento recante le modalità per la creazione, qualificazione e gestione di unità virtuali di consumo abilitate al mercato dei servizi di dispacciamento – Terna

La Rivoluzione Elettrica – Lazzarin R.

History of Demand Side Management and Classification of Demand Response Control Schemes, Ioannis Lampropoulos – Wil L. Kling, Paulo F. Ribeiro

Energy management. Fondamenti per la valutazione, la pianificazione e il controllo dell'efficienza energetica – Di Franco N.

Explicit Demand Response in Europe Mapping the Markets – SEDC

Norme per l'attuazione del Piano Energetico Nazionale in materia di uso razionale di energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia – ACS Enea

Il percorso legislativo – Vannini L., Brunetti M.

La nuova disciplina del settore elettrico ed il quadro normativo di riferimento – Molinari G.

La riforma del mercato elettrico – ENEA

Il mercato dell'energia elettrica in Italia – Dicorato M.

Fondamenti di illuminotecnica – L. de Santioli, F. Mancini, G. Lo Basso

Produrre l'EPS – AIPE

Progetto pilota per la partecipazione a MSD della domanda – SERE (Servizi Energia)

La bolletta elettrica nel mercato libero – AEEGSI

Progetto pilota per la partecipazione della domanda al mercato per il servizio di dispacciamento – Terna

Sitografia

<http://www.climatemonitor.it/Download/Il%20sistema%20elettrico%20nazionale.pdf>

<https://www.insic.it/Edilizia/Notizie/Energia-da-fonti-rinnovabili-buoni-risultati-UE-e-italia/51e18ac7-b9b7-4d9b-b48a-d26aa494931d>

<http://www.peaklma.com>

www.tecnoenergyweb.com/sitex/servizi_interrompibile

<http://www.energyteam.it/interrompibilita/>

<http://ternasostenibile2007.message-asp.com/node/35>

[http://www.unindustria.pn.it/confindustria/pordenone/galleria.nsf/\(\\$linkacross\)/6EC1E0315815929DC12581F500338768/\\$file/Presentazione_Rosatelli.pdf](http://www.unindustria.pn.it/confindustria/pordenone/galleria.nsf/($linkacross)/6EC1E0315815929DC12581F500338768/$file/Presentazione_Rosatelli.pdf)

<http://ternasostenibile2007.message-asp.com/node/35>

<http://download.terna.it/terna/0000/0930/30.PDF>

<http://www.europarl.europa.eu/news/it/headlines/economy/20180109STO91387/la-politica-ue-sulle-energie-pulite-per-contrastare-il-cambiamento-climatico>

<http://www.consenergy2000.it/w/consenergy-debutta-nelle-uvac/>

<http://www.poloenergia.com/news/news-pte/17-news-mercato/339-news-264-uvac#.W6TCJi1abpA>

<http://www.aipe.biz/saad/wp-content/uploads/sites/4/2014/01/eps.pdf>

<http://www.ronchinimassimo.com/macchine-cnc/macchine-taglio-filo-cnc/rm-policut-3d/>

<http://alessandra.mallamo.over-blog.it>

www.borghesisnc.it

<https://residenziale.viessmannitalia.it/pro-e-contro-del-riscaldamento-con-pompa-di-calore>

http://www.assoclima.it/come_funziona_e_a_cosa_serve_una_pompa_di_calore

<https://www.infobuildenergia.it/approfondimenti/pompe-di-calore-funzionamento-e-tipologie-322.html>

<https://www.matematicamente.it/forum/pompa-di-calore-o-frigorifero-t39085.html>

www.everenergy.it

http://dma.ing.uniroma1.it/users/corsini/documenti/DCoppi_4-4.PDF

www.hoval.it

www.science.unitn.it

www.onlite.it

www.qualenergia.it

www.BusinessDictionary.com