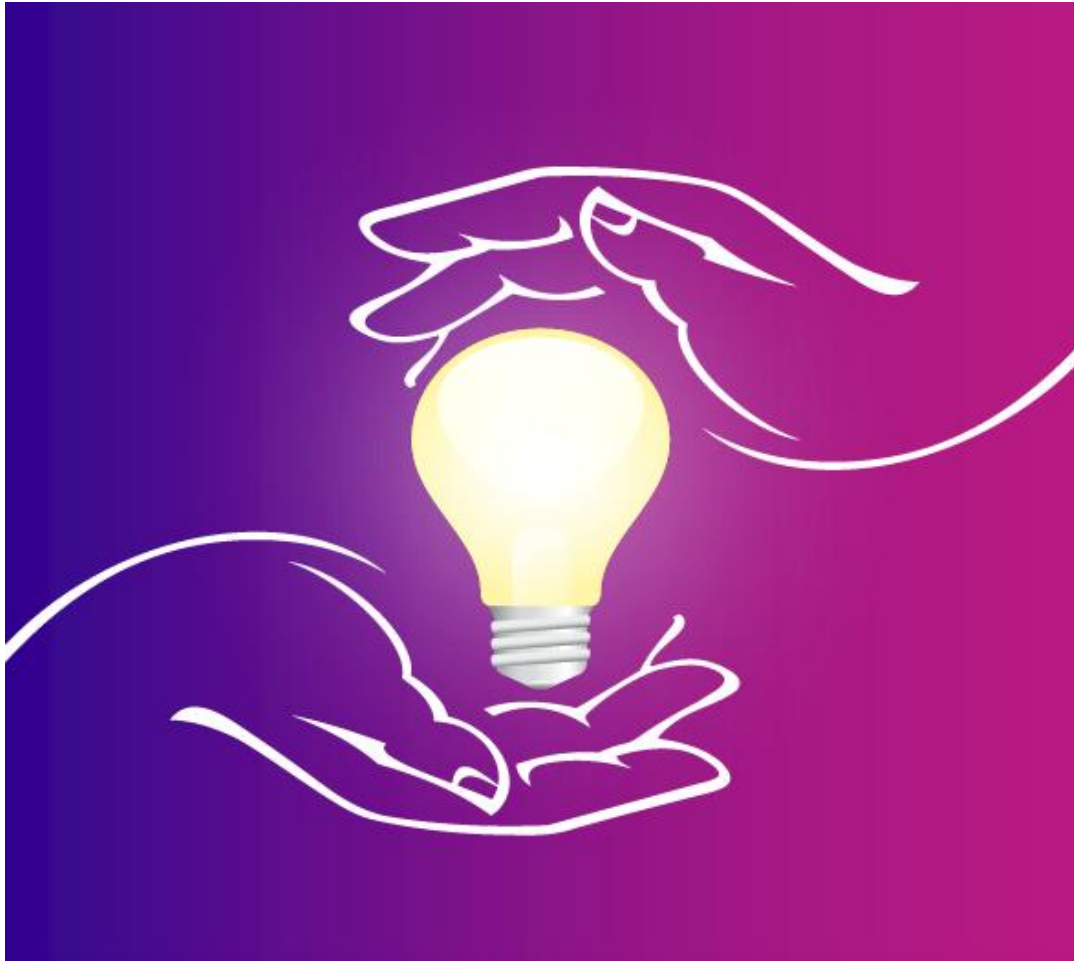




Federico Bernardi

Come si costruiscono previsioni energetiche con l'AI?

Energy Management: quali possibili definizioni?



- A** Strategia per la riduzione dei costi energetici aziendali
- B** Ruolo aziendale per la gestione dell'energia
- C** Strategia per l'ottimizzazione della gestione energetica per massimizzare i profitti

Definizioni di Energy Management

“Giudizioso ed efficiente utilizzo dell’energia al fine di massimizzare i profitti e migliorare la posizione competitiva”

(Cape Hart, Turner e Kennedy; "Guide to Energy Management")

Definizioni di Energy Management

“Strategia di regolazione ed ottimizzazione dei consumi energetici, facendo leva sui sistemi e sulle procedure in modo da ridurre l’apporto di energia per unità di output, ma mantenendo costante o riducendo i costi totali di produzione dell’output”

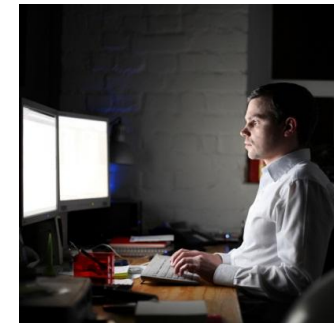
Efficiency o Conservation?



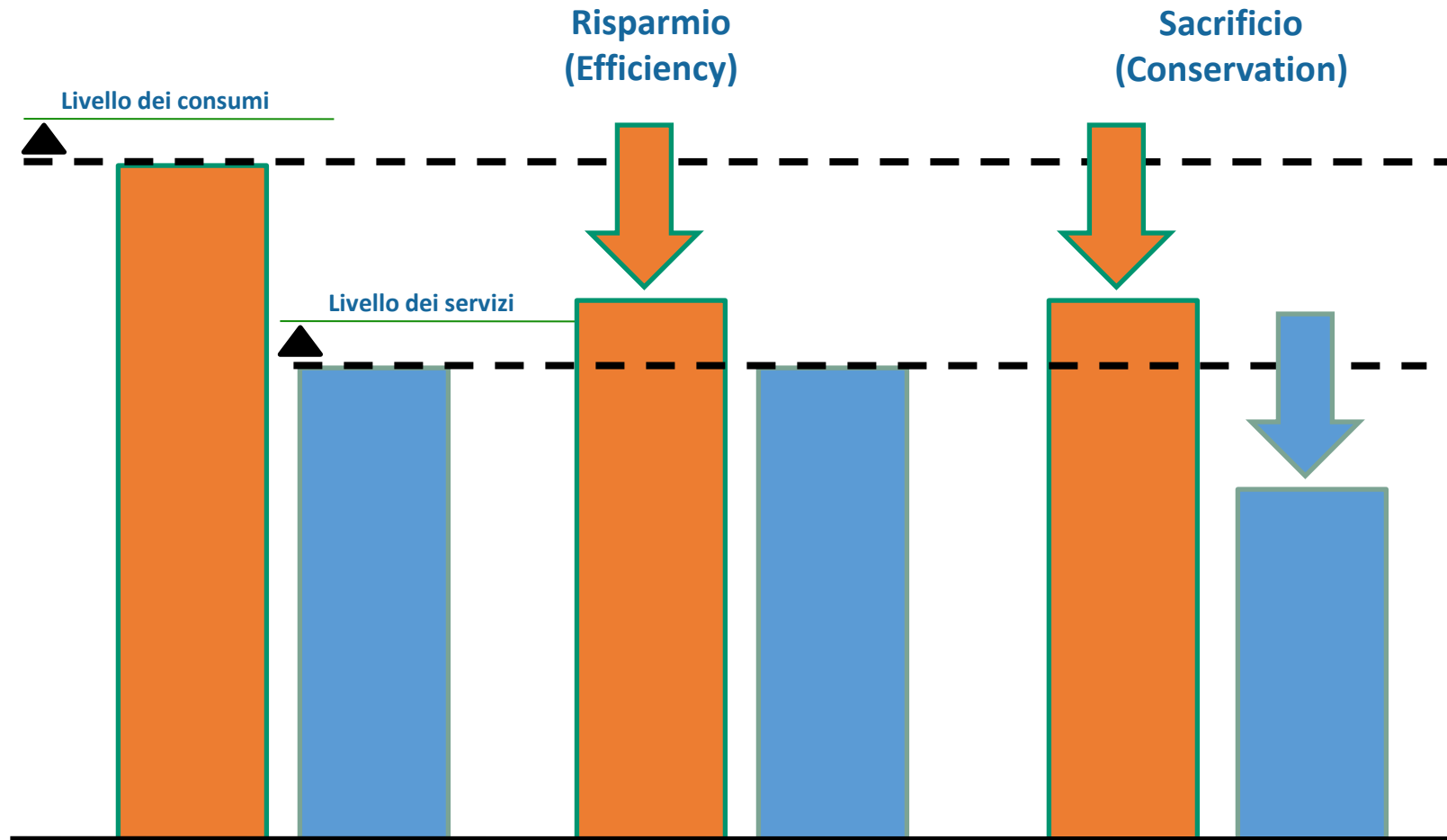
Efficiency

Conservation

Saving



Risparmio vs Sacrificio



Perché fare efficienza?

01

Il prezzo
dell'energia

02

Le tasse
sull'energia

03

L'impatto sociale

04

Tecnologie ad
alta efficienza

05

Energy Manager

06

Spinta Normativa

07

Spinta Legislativa

...

Stato dell'arte per l'Energy Management

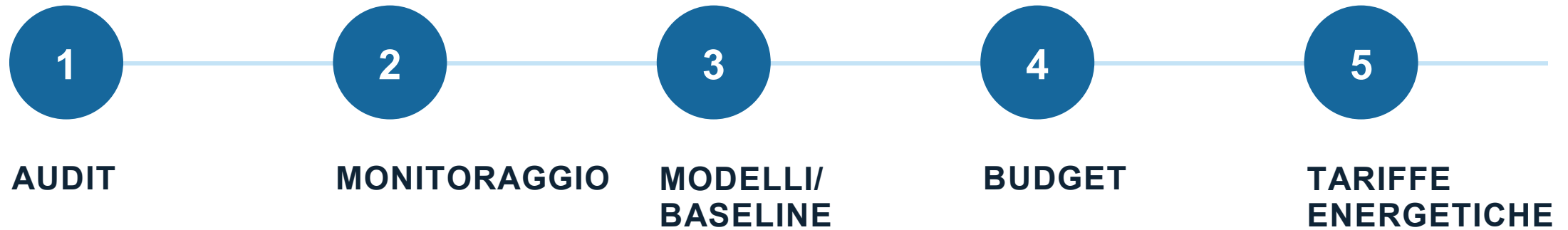
L'energia non è il core-business

Diversi studi provano la possibilità di risparmiare **dal 10% fino a oltre il 40%**

In Italia con molte PMI prevalgono le leve negative

Spesso si riscontrano tentativi isolati di riduzione dei consumi piuttosto che un approccio sistemico al problema

Le necessità per un SGE efficace



Supporto alla riduzione del costo energetico



Individuazione dell'albero dei contatori

Per un sistema di controllo efficace dei consumi energetici è necessario predisporre un sistema di contatori adeguato

I 3 criteri fondamentali:

1

Distinzione tra generazione/conversione, distribuzione ed utilizzo

2

Distinzione tra i singoli vettori energetici

3

Distinzione tra aree ad attività diversa

Individuazione dell'albero dei contatori

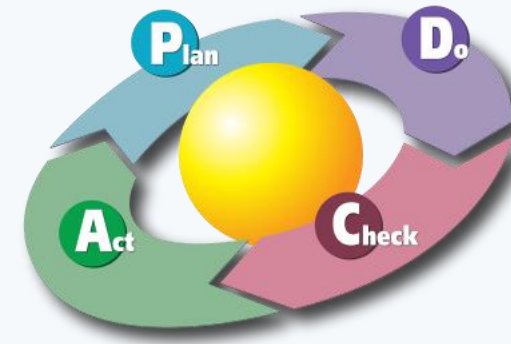
Analisi iniziale → Albero dei contatori iniziale

L'albero dei contatori finale:

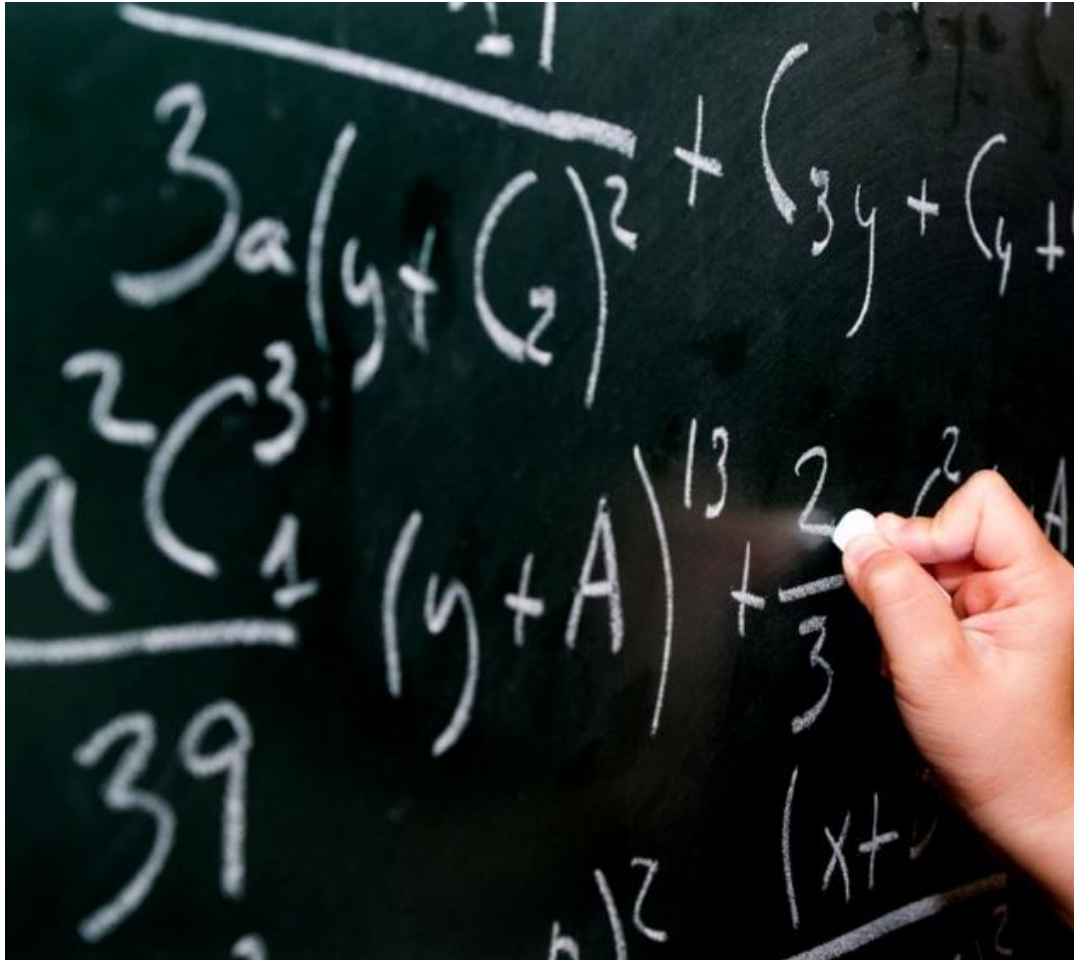
- dipenderà dal livello di controllo
- può essere implementato gradualmente
- si focalizzerà sulle aree a maggiore consumo

Introdurre ulteriori contatori permette di:

- verificare la ripartizione dei consumi
- avviare una riduzione sistematica dei consumi
- ripetere l'analisi a livello di singolo utilizzatore di energia

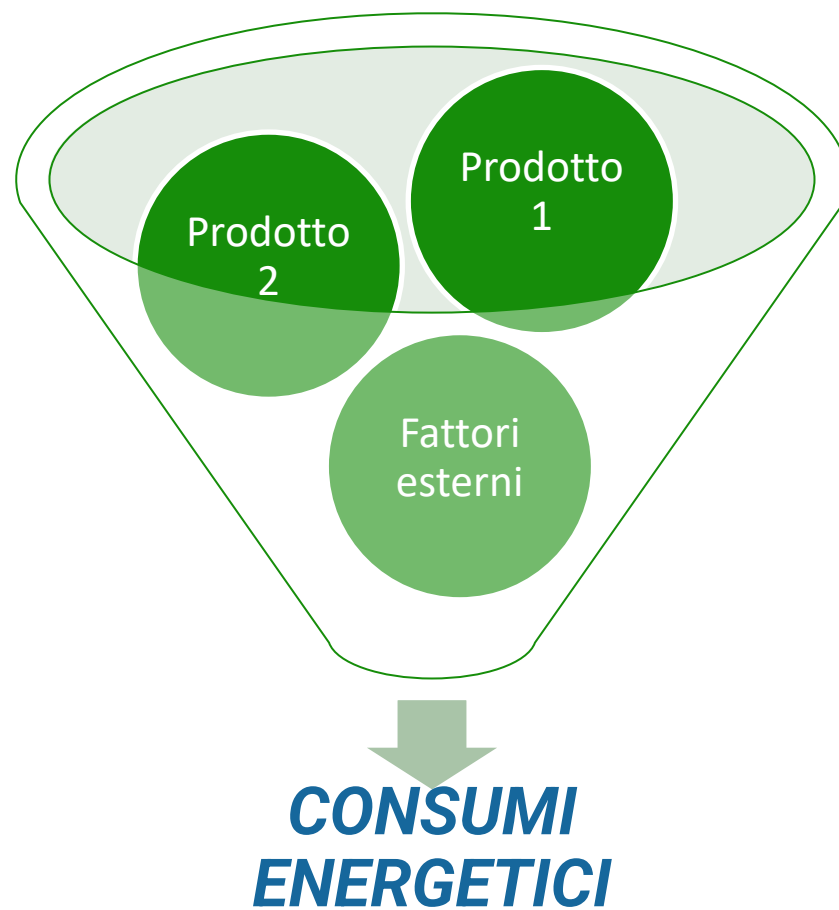


Cosa si intende per modello di consumo?



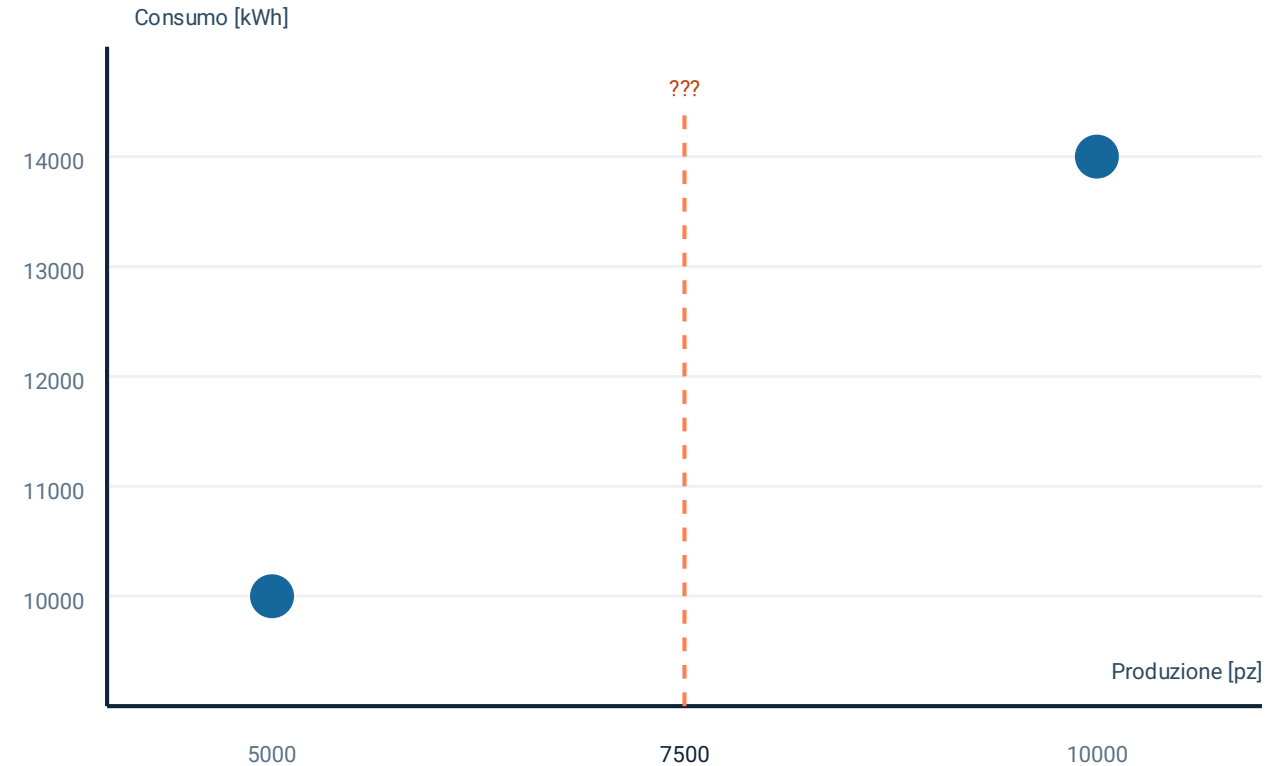
- A Relazione che esprime i miei consumi
- B Espressione della mia struttura dei consumi
- C Stima dei consumi energetici

Da cosa dipendono i miei consumi?



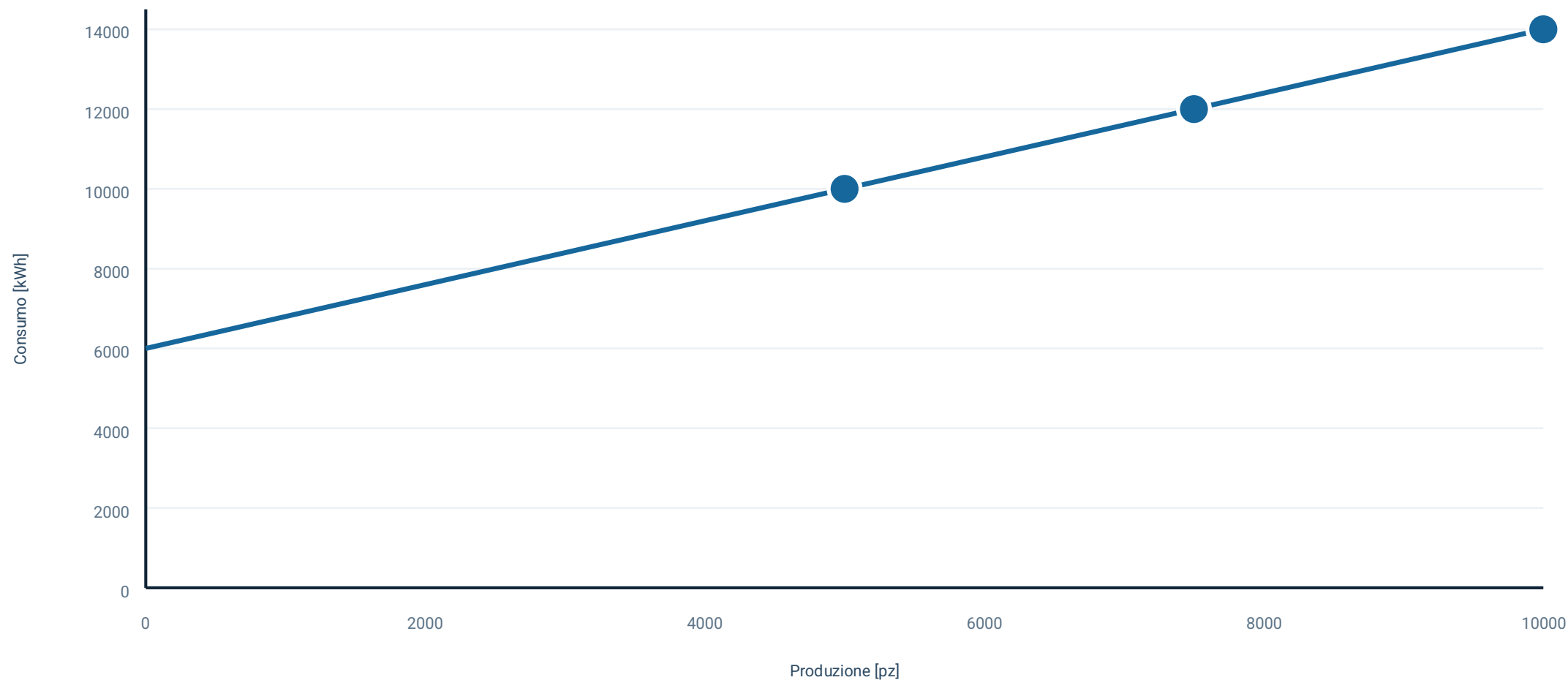
Un esempio semplice: quanto consumo a 7500 pezzi?

Produzione [pz]	Consumo [kWh]
5000	10000
7500	???
10000	14000



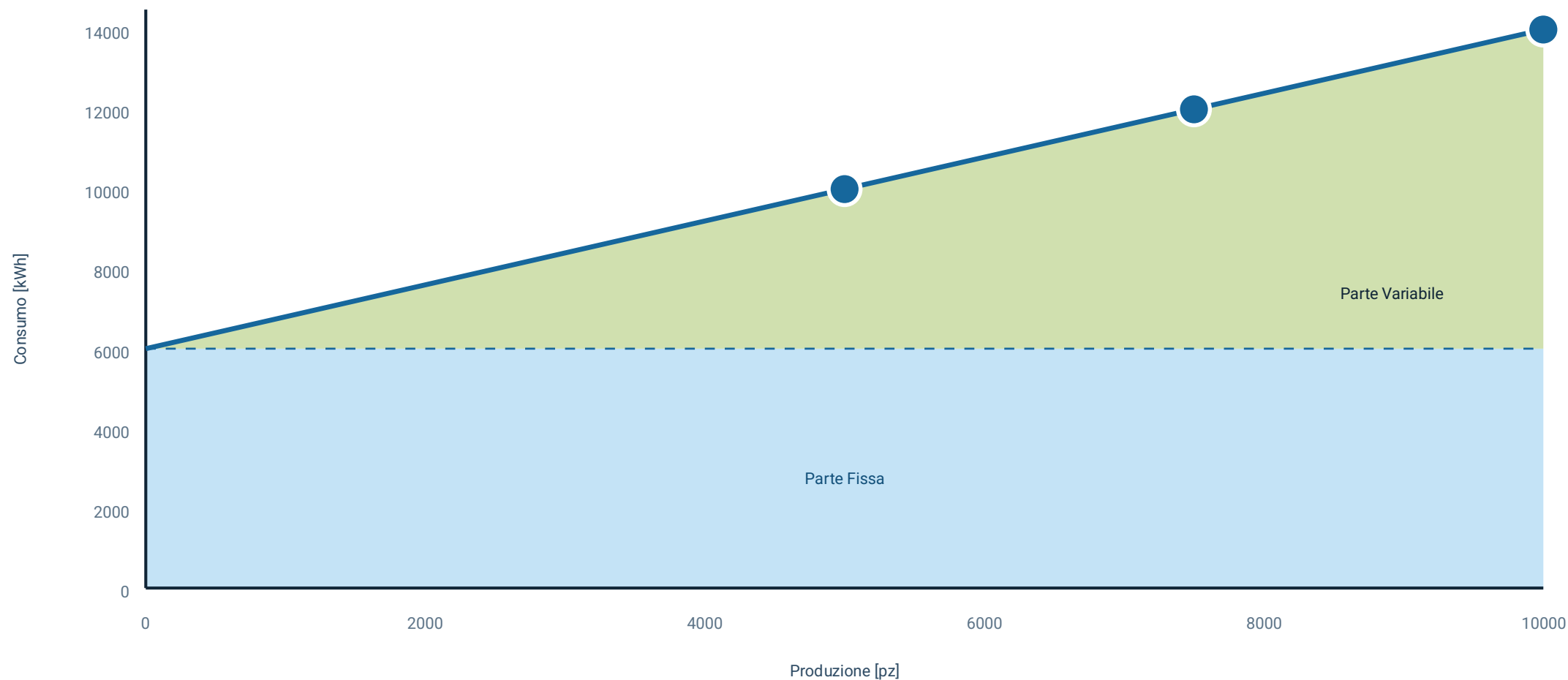
Questo è un modello di consumo!

Relazione Consumi - EnPI



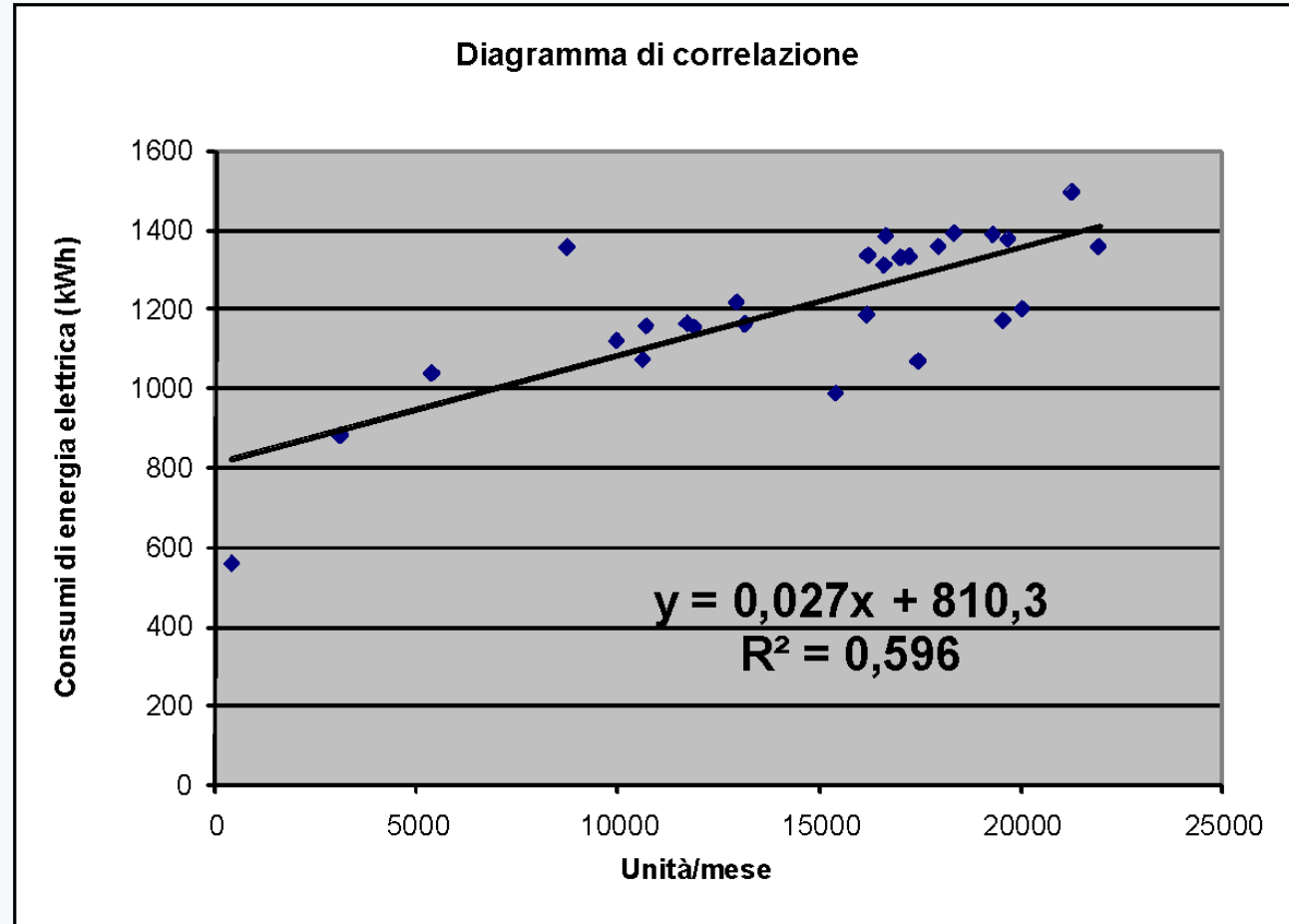
Ho ricavato la struttura dei costi

Relazione Consumi - EnPI



Esempio 1: Consumi mensili e numero di unità realizzate

Mese	Unità/mese	Consumi di energia elettrica (kWh)
dic-99	15401	988
gen-00	17451	1068
feb-00	19555	1171
mar-00	20035	1200
apr-00	16172	1185
mag-00	19684	1375
giu-00	17226	1331
lug-00	13139	1162
ago-00	403	560
set-00	17009	1329
ott-00	16602	1310
nov-00	17951	1357
dic-00	11886	1154
gen-01	3100	882
feb-01	12933	1216
mar-01	16206	1334
apr-01	10607	1072
mag-01	9954	1120
giu-01	10692	1157
lug-01	8730	1355
ago-01	5367	1038
set-01	11714	1163
ott-01	18339	1390
nov-01	19294	1387
dic-01	16646	1383
gen-02	21265	1493
feb-02	21920	1356
Totale	202514	15190
Media	15578	1168

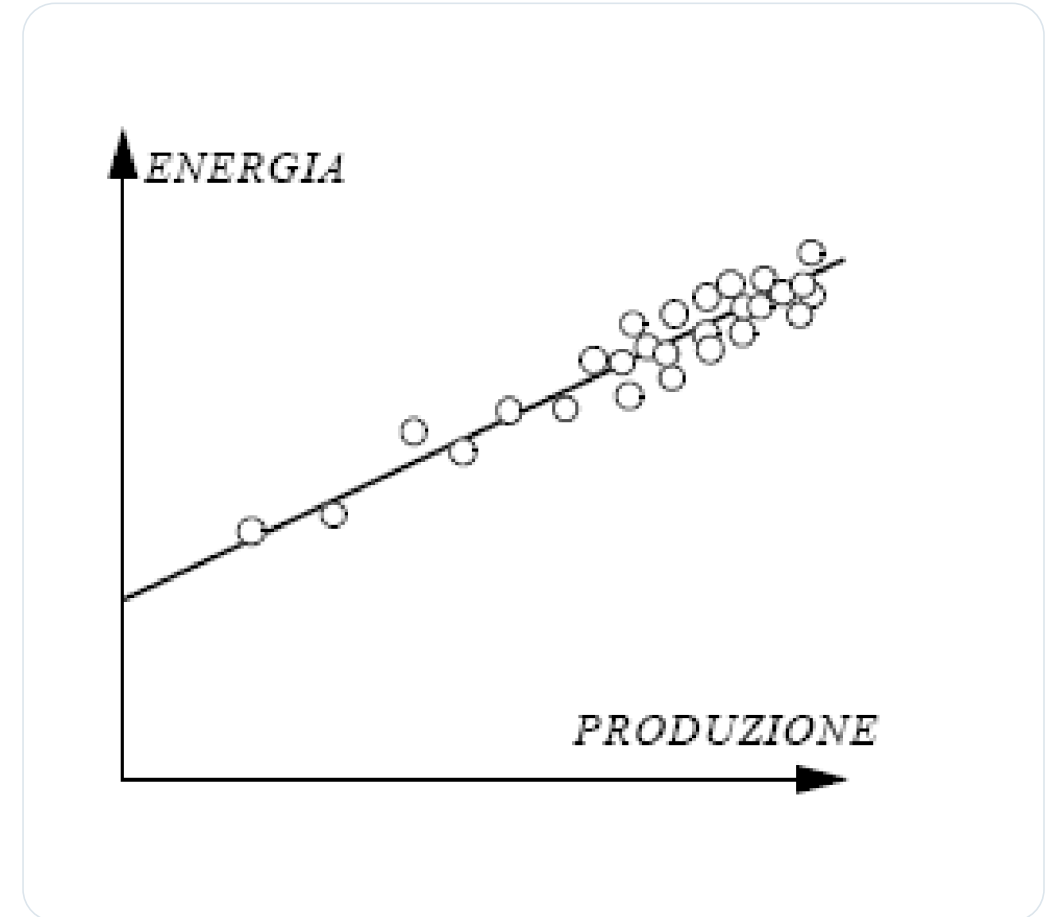


Consumo di energia legato ai volumi produttivi

Per i sistemi in cui il consumo è fortemente legato alla produzione:

y consumo di energia in un certo periodo, espresso in MWh/periodo

x volume produttivo nello stesso periodo, espresso in unità prodotte/periodo.



Generalmente la correlazione è di tipo lineare

Esempio

 C_0 

$$C = C_0 + c_1 \cdot V + c_2 \cdot T$$

Consumo fisso

Variazioni legate ai volumi produttivi

Variazioni legate alla durata di funzionamento degli impianti

Quali Energy Drivers?

Gli Energy Drivers più comunemente impiegati in fase di caratterizzazione energetica dipendono dal tipo di consumi e dal sistema analizzato.

Alcuni esempi:

energia elettrica per forza motrice oppure energia termica per usi di processo:

produzione, giorni lavorati, turni lavorati;

energia elettrica per illuminazione:

giorni lavorati, turni lavorati, variazione ore buio (VOB);

energia termica ad uso riscaldamento:

gradi giorno invernali.

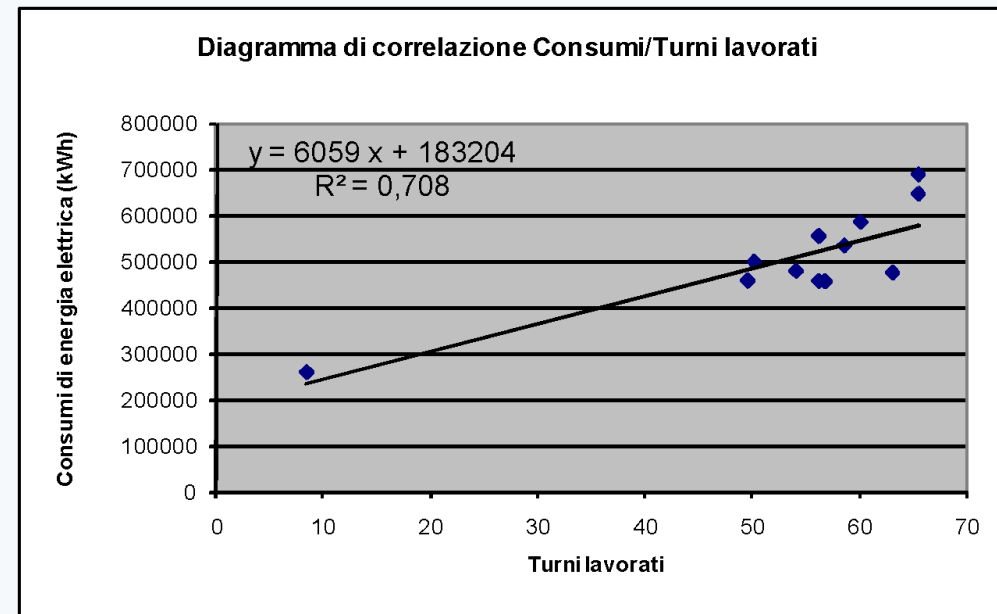
Vettori energetici ed Energy driver

VETTORE ENERGETICO	VARIABILI CORRELATE	COEFFICIENTE CORRELAZIONE	NOTE
ENERGIA ELETTRICA FORZA MOTRICE	VOLUMI PRODUTTIVI (totali o distinti) GIORNI LAVORATI	0,8 – 0,95	Influenza saturazione impianti - Possibile multicollinearità tra singoli volumi e tra volumi e giorni lavorati - eventuale disturbo energia per termoventilazione (correlazione anche su gradi giorno)
ENERGIA ELETTRICA ILLUMINAZIONE	GIORNI LAVORATI VARIAZIONE ORE BUIO	0,8 – 0,9	- Influenza stagionale
ENERGIA TERMICA RISCALDAMENTO	- GRADI GIORNO	0,85 – 0,95	- Influenza ricambi aria – calore endogeno – effettiva temp. Interna
ENERGIA TERMICA TECN. STAGIONALE	- GRADI GIORNO	0,8 – 0,85	Influenza effettiva temp. interna
ENERGIA TERMICA TECN. CONTINUA	- GIORNI LAVORATI	0,75 – 0,85	- Consumi esigui – strumentazione talvolta inadeguata per stab. Mecc.
ARIA COMPRESSA	- VOLUMI PRODUTTIVI (totali o distinti) - GIORNI LAVORATI	0,75 – 0,85	Influenza saturazione impianti - possibile multicollinearità tra singoli volumi e tra volumi e giorni lavorati
ACQUE PRIMARIE	- GIORNI LAVORATI	0,65 – 0,75	-Strumentazione non sempre adeguata

Esempio

Consumi e turni lavorati

Mese	Consumi di energia elettrica (kWh)	Turni lavorati
Gen	687750	65,4
Feb	585613	60,0
Mar	645622	65,4
Apr	479432	54,0
Mag	534013	58,5
Giu	475829	63,0
Lug	456675	56,7
Ago	260502	8,4
Set	457437	56,1
Ott	499126	50,1
Nov	555171	56,1
Dic	458781	49,5



$$r^2 = 0,84$$

→ correlazione lineare positiva

$$r^2 = 0,71$$

→ correlazione significativa ma non molto forte

Esempio

...e se aggiungiamo VOB?

Mese	Consumi di energia elettrica (kWh)	Turni lavorati	Variazione ore buio
Gen	687750	65,4	6,4
Feb	585613	60,0	5,2
Mar	645622	65,4	5,2
Apr	479432	54,0	2,1
Mag	534013	58,5	0,7
Giu	475829	63,0	0
Lug	456675	56,7	0,4
Ago	260502	8,4	1,6
Set	457437	56,1	3,3
Ott	499126	50,1	4,8
Nov	555171	56,1	6,1
Dic	458781	49,5	6,9

Statistica della regressione

R multiplo	0,913957
R al quadrato	0,835317

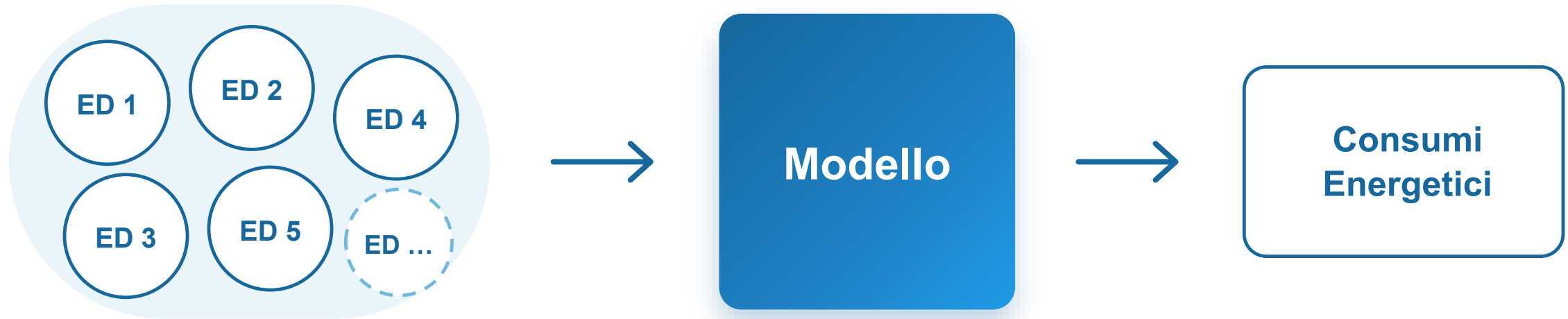
Aumenta la correlazione: $r^2=0,71$ a $r^2=0,83$

→ **Modello matematico più accurato**

$$C = 154.420 + 5549 \cdot T + 15784 \cdot VOB$$

Utilizzo del modello di previsione per il controllo dei consumi

L'effetto del tempo...

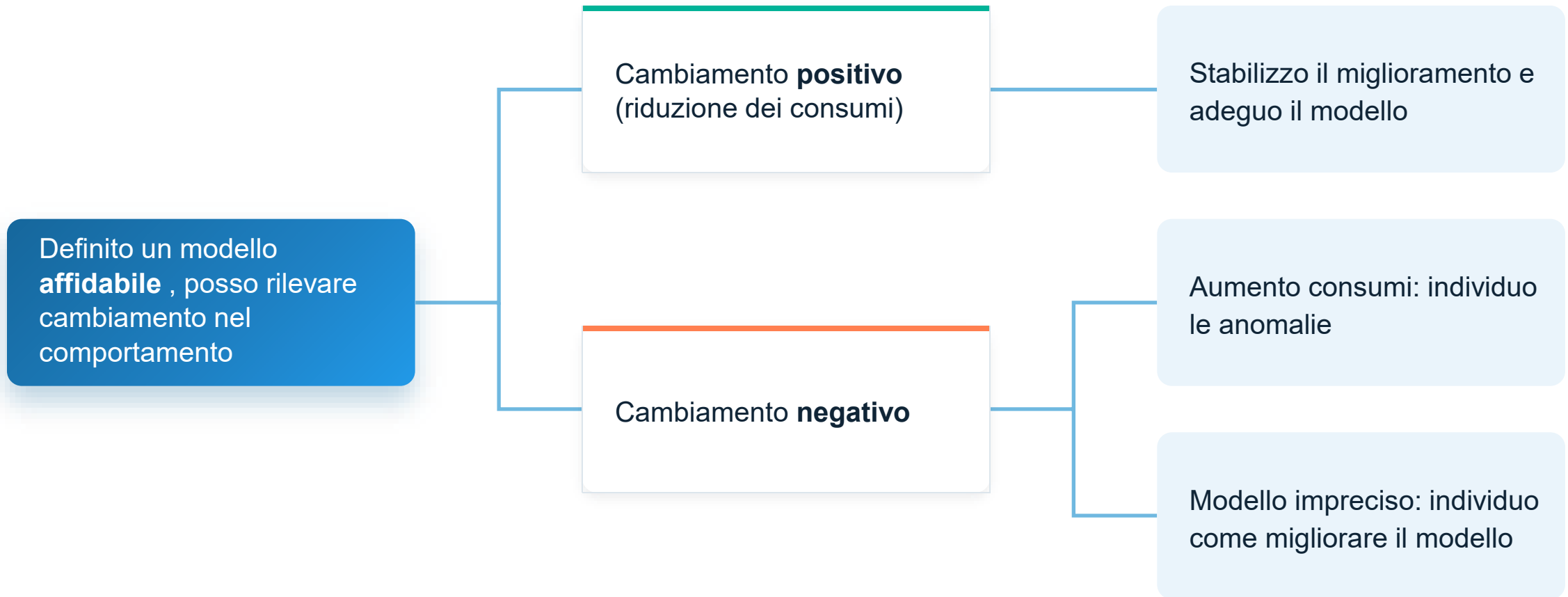


Fino a quando è valida la mia relazione?

Variazioni strutturali

Validità Energy Driver

...dopo la creazione del modello



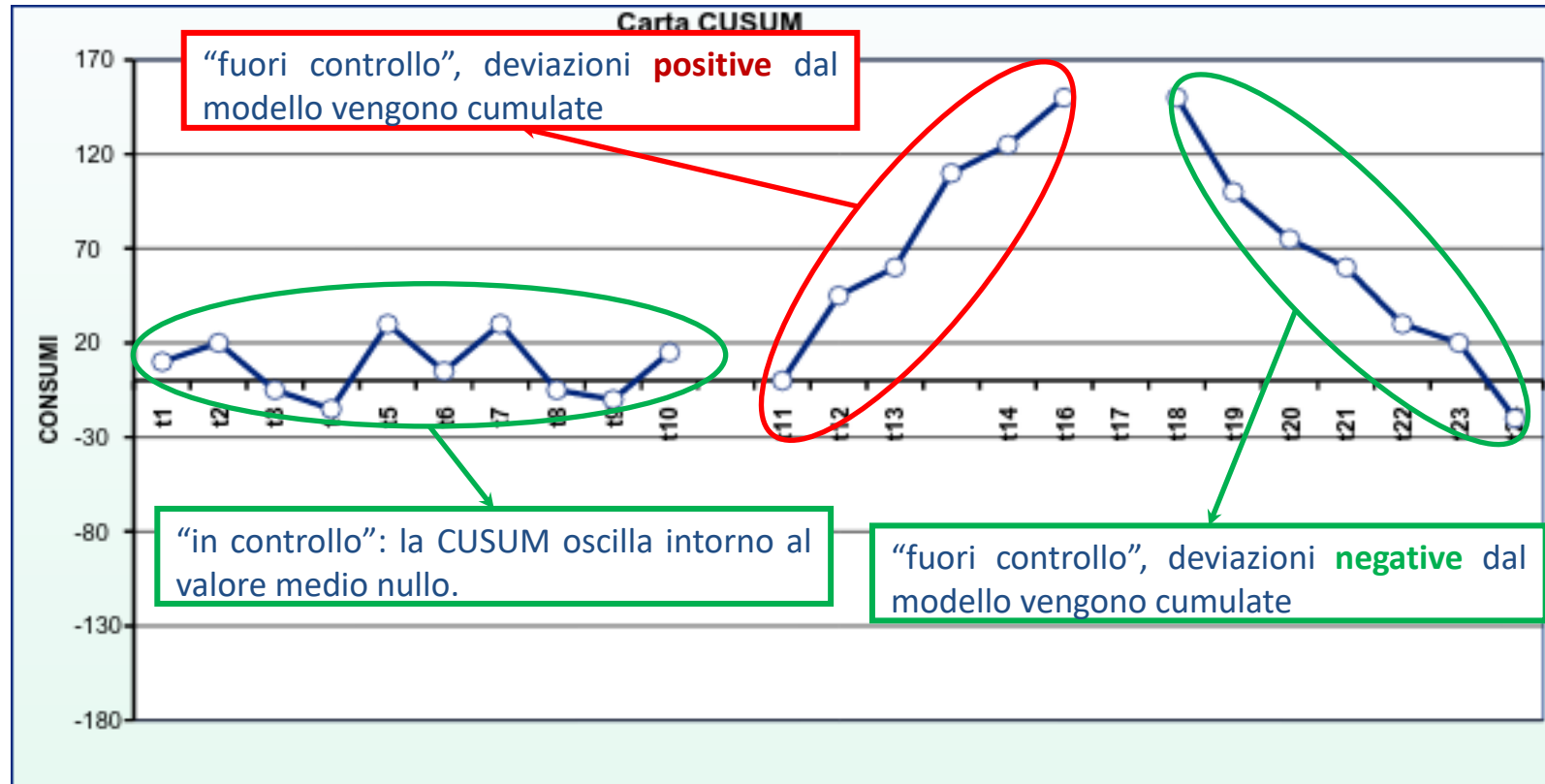
Consumo di energia legato al tempo

Carte di controllo CUSUM o delle somme cumulate.

Tecnica utilizzata nel monitoraggio di processi produttivi per mantenere sotto controllo una caratteristica del processo in grado di influenzare la qualità del prodotto.

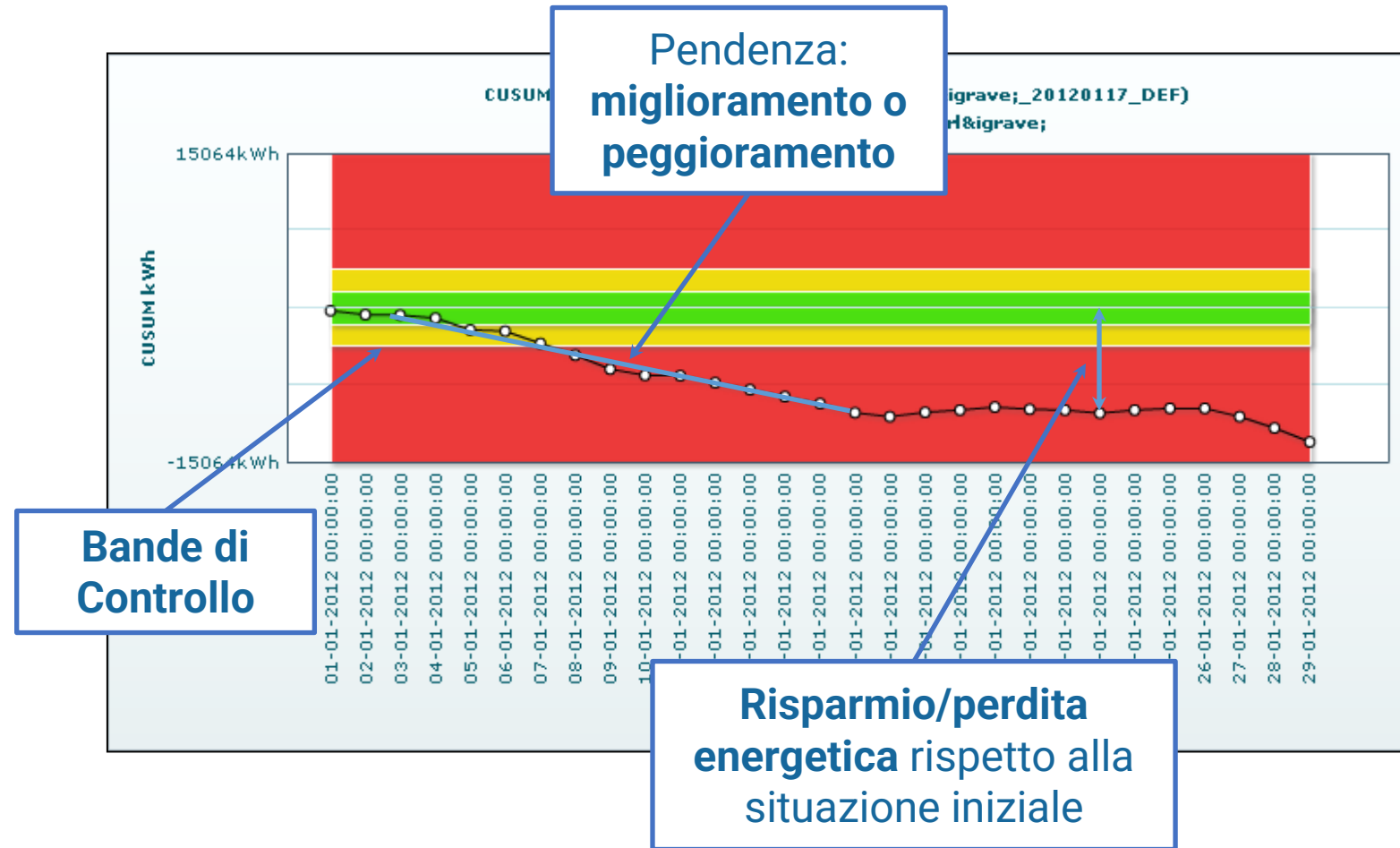
Voglio individuare quando il processo si discosta dalle caratteristiche volute segnalando quindi la presenza di cause “speciali” che giustificano la deviazione.

Consumo di energia legato al tempo: CUSUM



$$S_j = S_{j-1} + (y_j - \bar{y}_j)$$

Consumo di energia legato al tempo: CUSUM



Sappiamo leggere una carta CUSUM? Cosa si mostra nell'esempio?

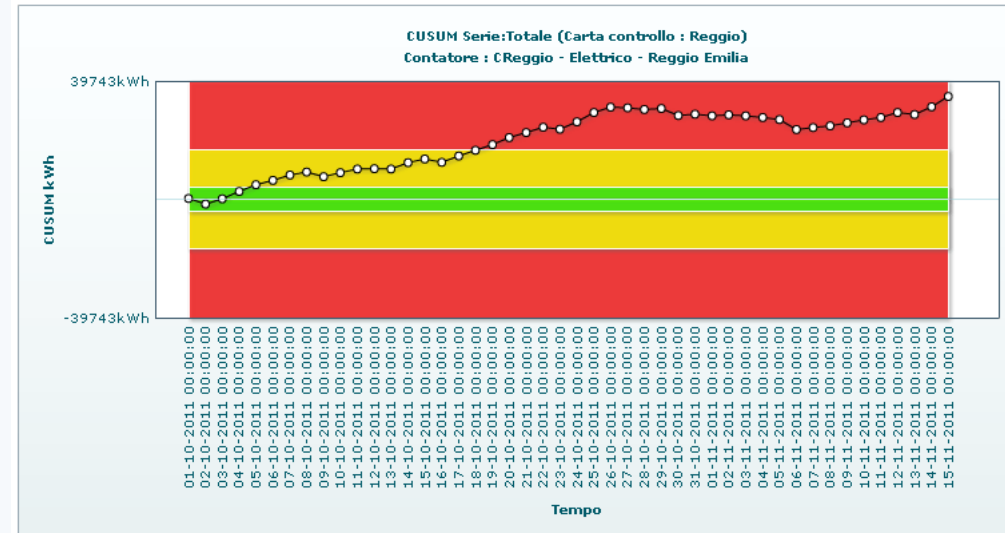
Inefficienza, non risolta

Anomalia, risolta

Cambio di comportamento

Sistema fuori controllo

Sistema in controllo



CUSUM: Vantaggi e limiti

Controllo le deviazioni dei consumi rispetto al riferimento



Non sempre è facile individuare le cause delle deviazioni

Vantaggioso se il consumo è determinato dalla fisica del processo



Analisi difficili se il processo è influenzato da comportamenti gestionali

Quando mi serve l'intelligenza artificiale?

Matematica o AI?

Caratteristica	Algoritmi Matematici	Intelligenza Artificiale
Scalabilità	Limitata	Elevata
Adattabilità	Limitata	Elevata
Trasparenza	Elevata	Bassa
Robustezza teorica	Elevata	Moderata
Gestione di problemi complessi	Difficile	Migliore (pattern recognition)
Tempo di risposta su dati dinamici	Lento	Rapido (post-addestramento)

Simulazione del sistema con machine learning

Come fa un algoritmo ad imparare dai dati?

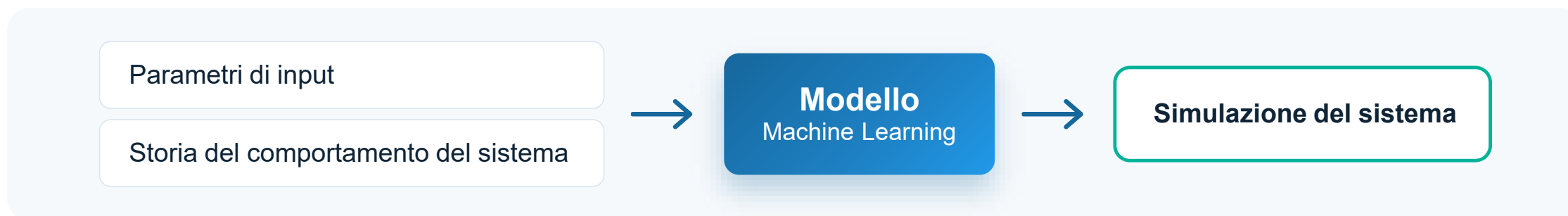
Prima fase: ALLENAMENTO (TRAINING) –
l'algoritmo capisce (impara) le relazioni tra i
dati e salva queste relazioni nella struttura del
modello



Seconda fase: PREDIZIONE (PREDICTION) –
l'algoritmo usa la struttura imparata per
predire nuovi valori



Simulazione del sistema con machine learning



Implementato solo con le informazioni già disponibili: i dati monitorati

Costruito ad hoc per il sistema investigato, ne rappresenta anche i comportamenti non noti a priori

Algoritmo flessibile, riesce a rappresentare la dinamica del sistema nel tempo

Quali sono i pro e i contro di questo approccio? In quali casi pensi possa essere utile?

Simulazione del sistema con machine learning

Parametri di input

Storia del comportamento del sistema



Modello Machine Learning



Simulazione del sistema

Pro

- Implementato solo con le informazioni già disponibili: i dati monitorati – valore all'esistente
- Costruito ad hoc per il sistema investigato, ne rappresenta anche i comportamenti non noti a priori
- Rende possibile definire un limite dinamico e configurabile a seconda delle necessità

Contro

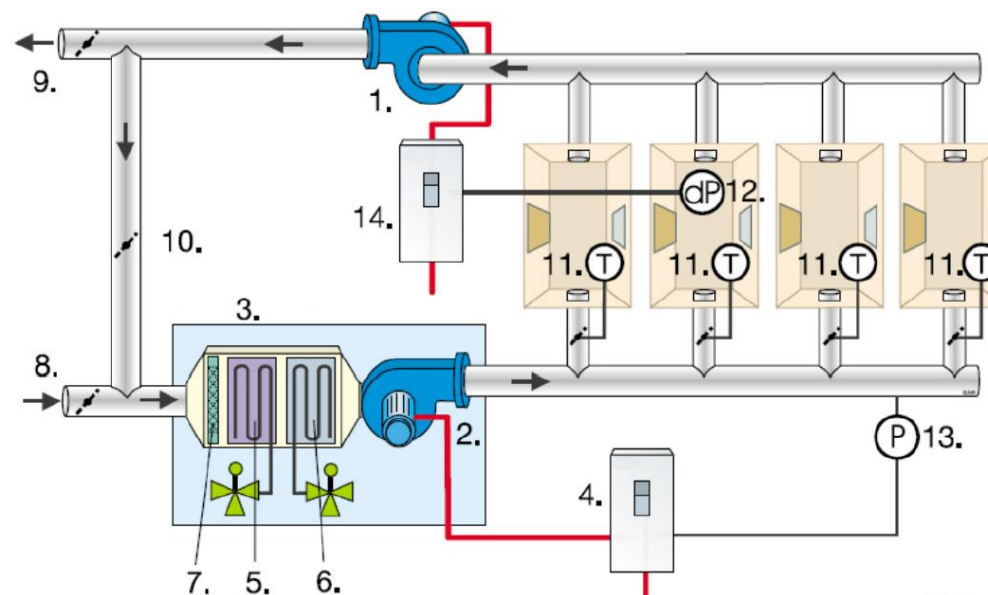
- Non c'è diretta relazione tra le formule termodinamiche e il modo in cui l'algoritmo impara (limite di aspettative)
- Soffre di Bias: dati errati (Es. sensore starato) portano a predizioni errate
- Cambi di comportamento non rappresentabili dagli input (es. manutenzione straordinaria, problemi ai sensori, cambio di settaggio) portano al necessario retraining

Baseline energetica HVAC e ottimizzazione della manutenzione

Il sistema di trattamento aria è il più diffuso in industria e nel settore facility management.

E' un sistema abbastanza semplice, tuttavia spesso poco sensorizzato e caratterizzato da molti componenti diversi.

L'obiettivo dell'analisi è stato implementare un sistema di controllo efficienza con l'obiettivo di diminuire i costi manutentivi.



Baseline energetica HVAC e ottimizzazione della manutenzione

DATI

Consumo sistema UTA (O)

Set-point T (I)

T interna (I)

T esterna (I)

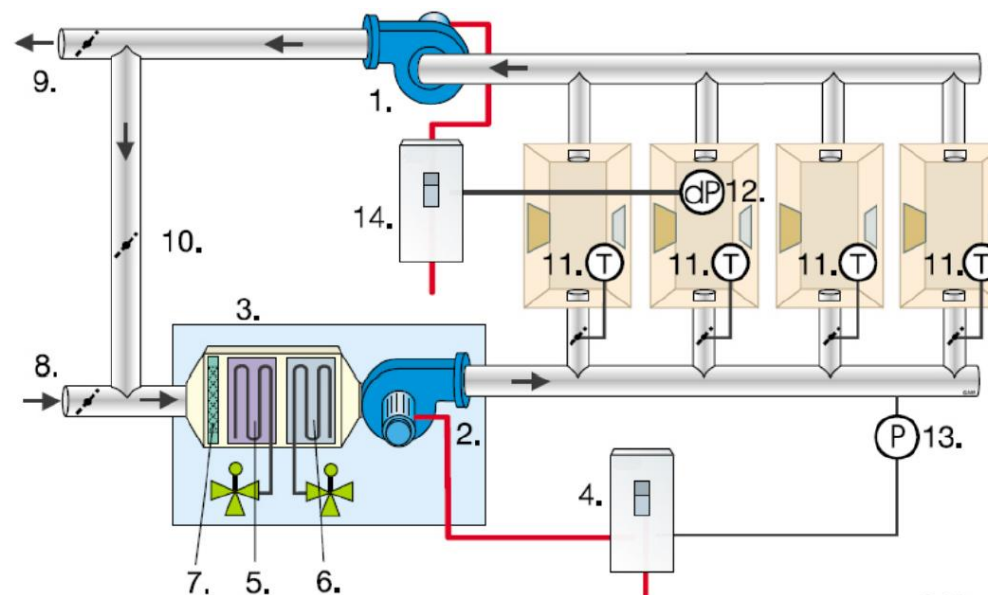
Umidità esterna (I)

Portata aria (I)

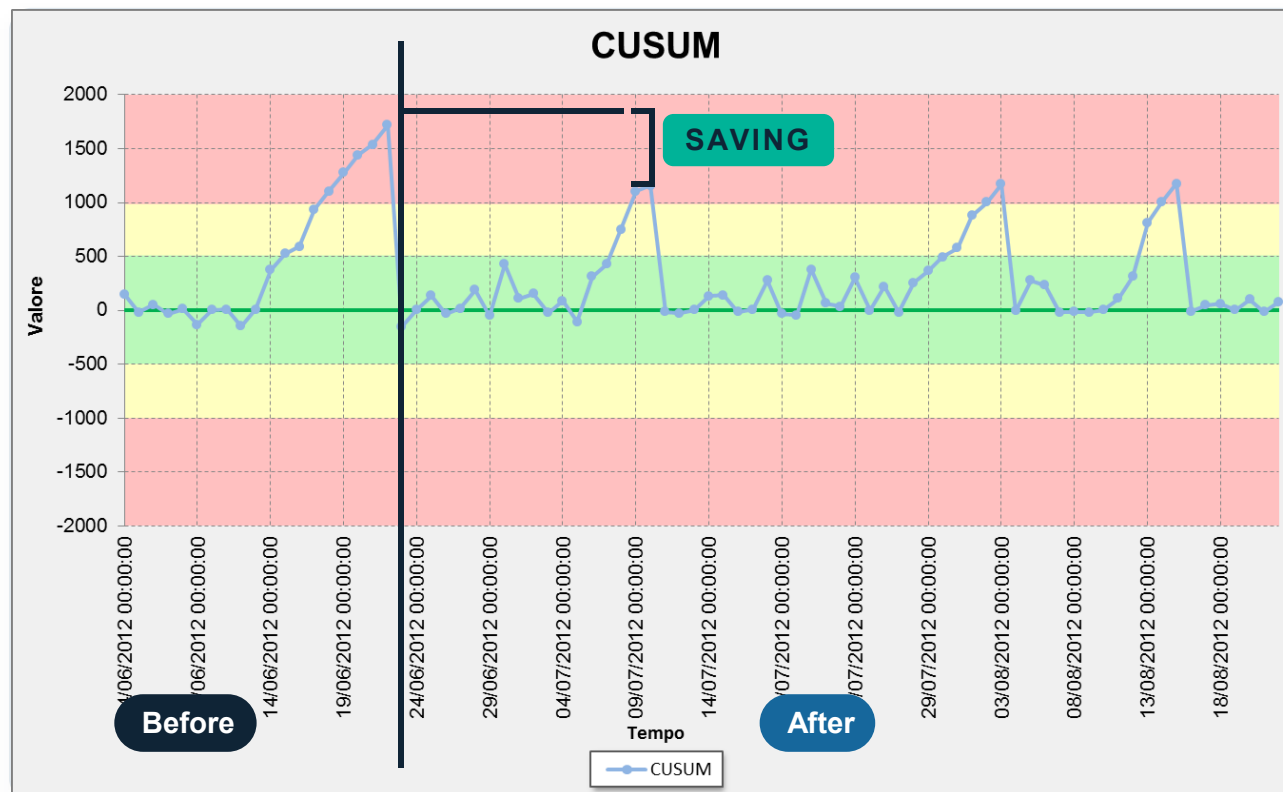
Informazioni manutentive (Cambio filtri)

ALGORITMO

Regressione lineare multivariabile



Baseline energetica HVAC e ottimizzazione della manutenzione



Nell'esempio, la CUSUM prima e dopo il cambio di approccio per la sostituzione dei filtri.

Grazie all'ottimizzazione della manutenzione in funzione del consumo energetico e dell'effettivo intasamento dei filtri, si è raggiunto il **20% di saving dei costi**.

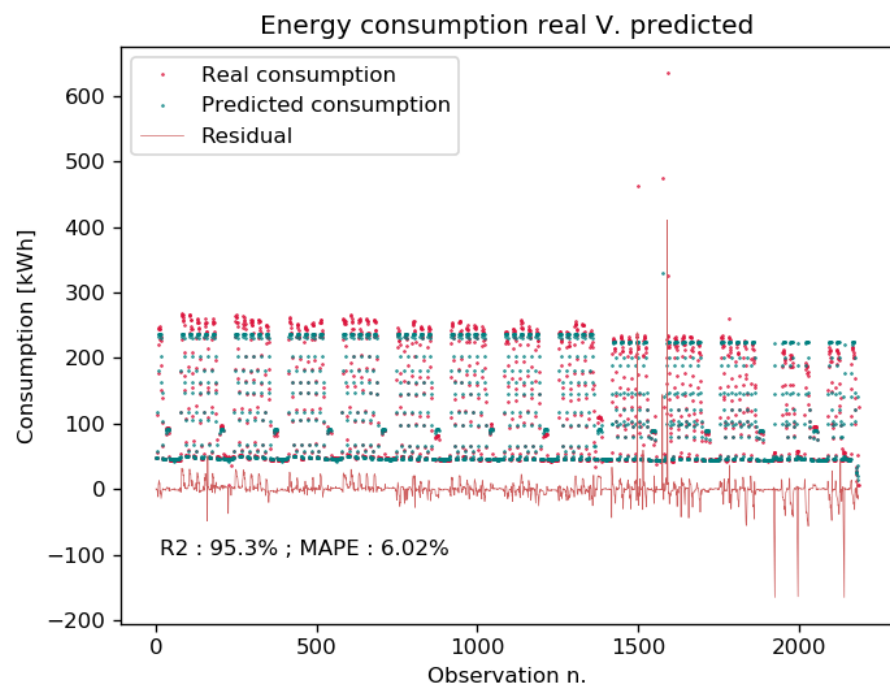
Controllo Performance impianto ciclo combinato



Gli uffici, soprattutto nei grossi edifici in cui il numero di persone è alto, sono caratterizzati da consumi ripetibili e dipendenti da poche variabili.

Nel caso studio analizzato, si è testata la performance di un modello in grado di prevedere la curva di consumo oraria di un edificio in base alle sole informazioni di calendario (mese, giorno, festivo o feriale, ora).

Baseline riferimento per consumo edificio



La precisione ha un errore percentuale assoluto di **c.ca 6%**.

Si nota che l'algoritmo (azzurro) prevede bene il consumo atteso (rosso), ma tende a mediare tra due comportamenti differenti.

Il comportamento invernale si mantiene fino all'ora 1500 circa (inizio di marzo), il consumo quindi diminuisce nel mese di marzo.

Nel modello manca almeno un driver importante: la temperatura esterna. Per migliorare il modello, è possibile includere la T esterna, l'irradiazione, la T set point, l'umidità, in modo da caratterizzare al meglio il contributo dovuto alla climatizzazione.



0444-232500