



RIELLO PROGETTA INSIEME

**SOSTENIBILITÀ ED EFFICIENZA NEGLI
EDIFICI: TRA RISPARMI ATTESI E
RISULTATI MISURATI**



ITALIA

eurotherm[®]
radiant comfort systems

Certified
B
BENEFIT

GRUNDFOS X
Possibility in every drop

RIELLO



ORDINE DEI PERITI INDUSTRIALI
DELLE PROVINCE DI BOLOGNA E FERRARA

BENVENUTI

RIELLO PROGETTA INSIEME

RIELLO

Agenda della Riunione

RIELLO PROGETTA INSIEME



Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

Sostenibilità ed efficienza negli edifici: tra risparmi attesi e risultati misurati

RIELLO

| inizio | | relatore |
|--------|--|---|
| 14.25 | ▪ Saluti istituzionali | |
| 14:30 | ▪ La verifica dei consumi post-intervento: dalla teoria dell'ex-ante alla pratica dell'ex-post | <i>Laurent SOCAL – Presidente ANTA (Associazione Nazionale Termotecnici ed Aerotecnici)</i> |
| 16:15 | ▪ Tecnologie impiantistiche avanzate per la sostenibilità degli edifici esistenti | <i>Nicola Brunelli – Sales Engineering Professional Italy Riello – Carrier RLC Europe</i> |
| 16.45 | ▪ Sistemi radianti nell'evoluzione edilizia: integrazione, prestazioni e prospettive | <i>Ing. Marta Avantaggiato - Head of Technical Department Eurotherm</i> |
| 17:15 | ▪ alla Diagnosi all'Azione: Ottimizzazione Energetica e Incentivi per un'Edilizia Sostenibile" | <i>Giuseppe Astemio Marcinnò - Senior After Market Sales Engineer Grunfos</i> |
| 17.45 | ▪ Question time – chiusura lavori | |
| 18:00 | ▪ Aperitivo di ringraziamento | |



Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only



eurotherm
radiant comfort systems



GRUNDFOS
Possibility in every drop

RIELLO

La verifica dei consumi post-intervento: dalla teoria dell'ex-ante alla pratica dell'ex-post

Ing. Laurent Socal

RIELLO PROGETTA INSIEME



Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

| AGENDA

RIELLO

- R** La misura della prestazione energetica Il protocollo IPMVP e non solo.
- R** L'acqua calda sanitaria: un servizio energeticamente «difficile»



Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

Il contesto

- È finita l'ubriacatura del superbonus.
 - Avendo drenato eccessive risorse, ora non ci sono risorse limitate per gli incentivi
 - Avendo spinto tutti ad intervenire, esaurito l'incentivo c'è un momento di pausa
- Dovremmo sapere alla fine del 2025 se e come verrà applicata la direttiva EPBD IV e più in generale il «Green Deal» che dovrebbe per lo meno ricalibrarsi su tempi più congrui
Nel frattempo la produzione di leggi e norme tecniche sulla prestazione energetica degli edifici è ferma.
- Non ci sono nuove tecnologie dopo la caldaia a condensazione e la pompa di calore
In un periodo di relativa calma si può tentare di proporsi in maniera innovativa per farsi largo nel poco mercato che resta.

Cosa abbiamo trascurato negli anni passati «facili»?



Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

RIELLO

Perché misura e verifica?

- **Strumento di verifica di quanto progettato ed eseguito**
 - Ho ottenuto i risultati voluti dopo l'intervento?
 - Il mio impianto / edificio ha i consumi energetici attesi?
- **Strumento di gestione dell'energia**
 - Controllo dell'uso dell'energia e delle risorse negli edifici e impianti industriali
- **Strumento fondamentale per un contratto di rendimento energetico**
 - Quantificare i risparmi ottenuti per stabilire la remunerazione di un contratto di rendimento energetico
- **Strumento regolamentare**
 - Determinare le emissioni di CO₂ ai fini dell'ETS
 - **Utopia?** ottenere incentivi in funzione del risultato raggiunto in termini di prestazione energetica reale

Come passare
da ex-ante a ex-post
In un campo di battaglia, i morti si contano alla fine...

**Per tutti questi scopi occorre conoscere le basi della
misura e verifica della prestazione energetica
e più in generale dell'uso di risorse**



Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

| Chi ha già provato a misurare risparmi energetici o di risorse?

RIELLO

**Quanti di Voi hanno già misurato dei risparmi energetici?
... rispondere al sondaggio ...**



Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

10

| La verità

RIELLO

**Quanti di Voi hanno già misurato dei risparmi energetici?
... rispondere al sondaggio ...**

**NON È POSSIBILE «MISURARE» RISPARMI ENERGETICI
IN QUANTO PER DEFINIZIONE È ENERGIA
CHE NON È STATA UTILIZZATA, CHE NON ESISTE...**

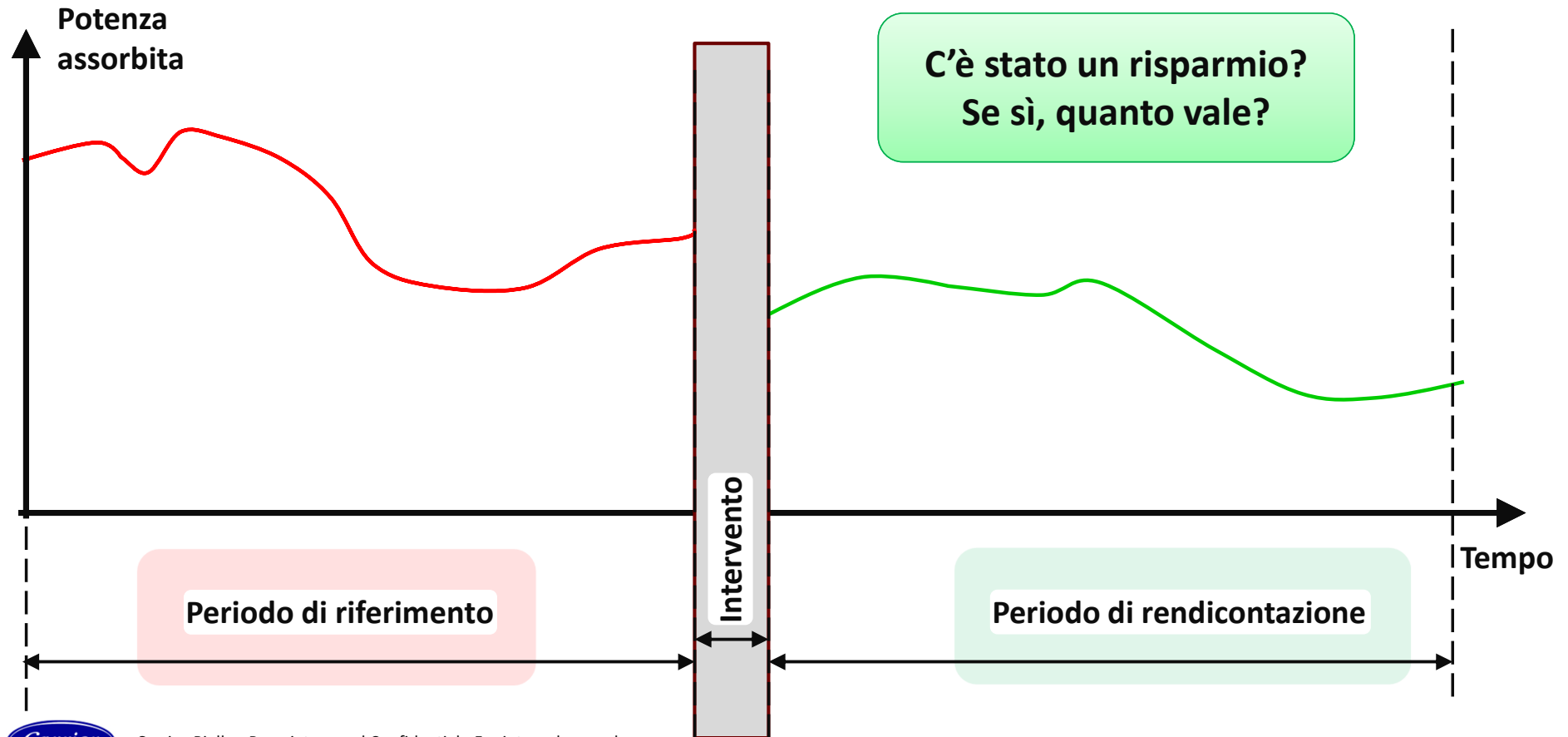


Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

11

RIELLO

Confronto con i consumi del periodo precedente?

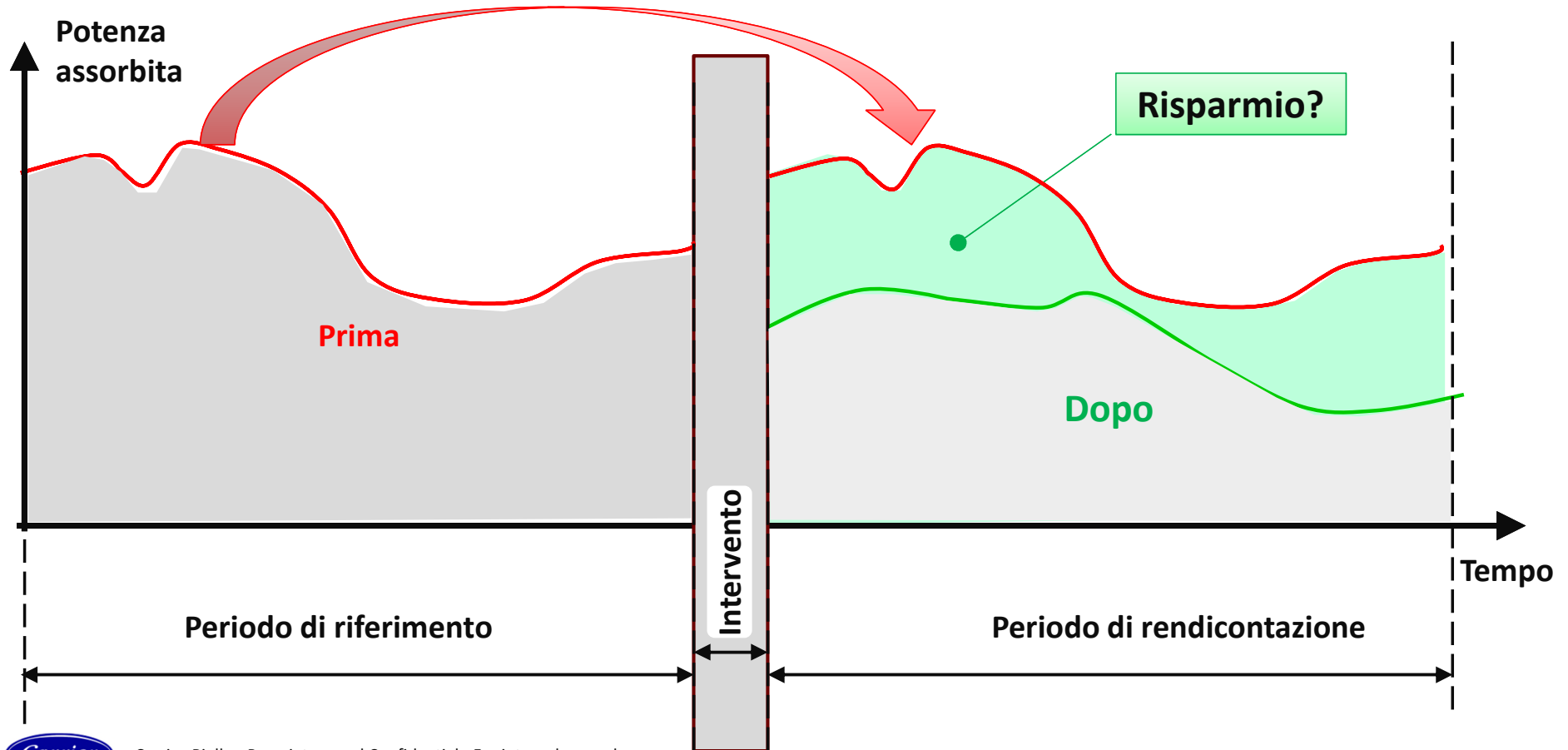


Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

12

RIELLO

Confronto con i consumi del periodo precedente?

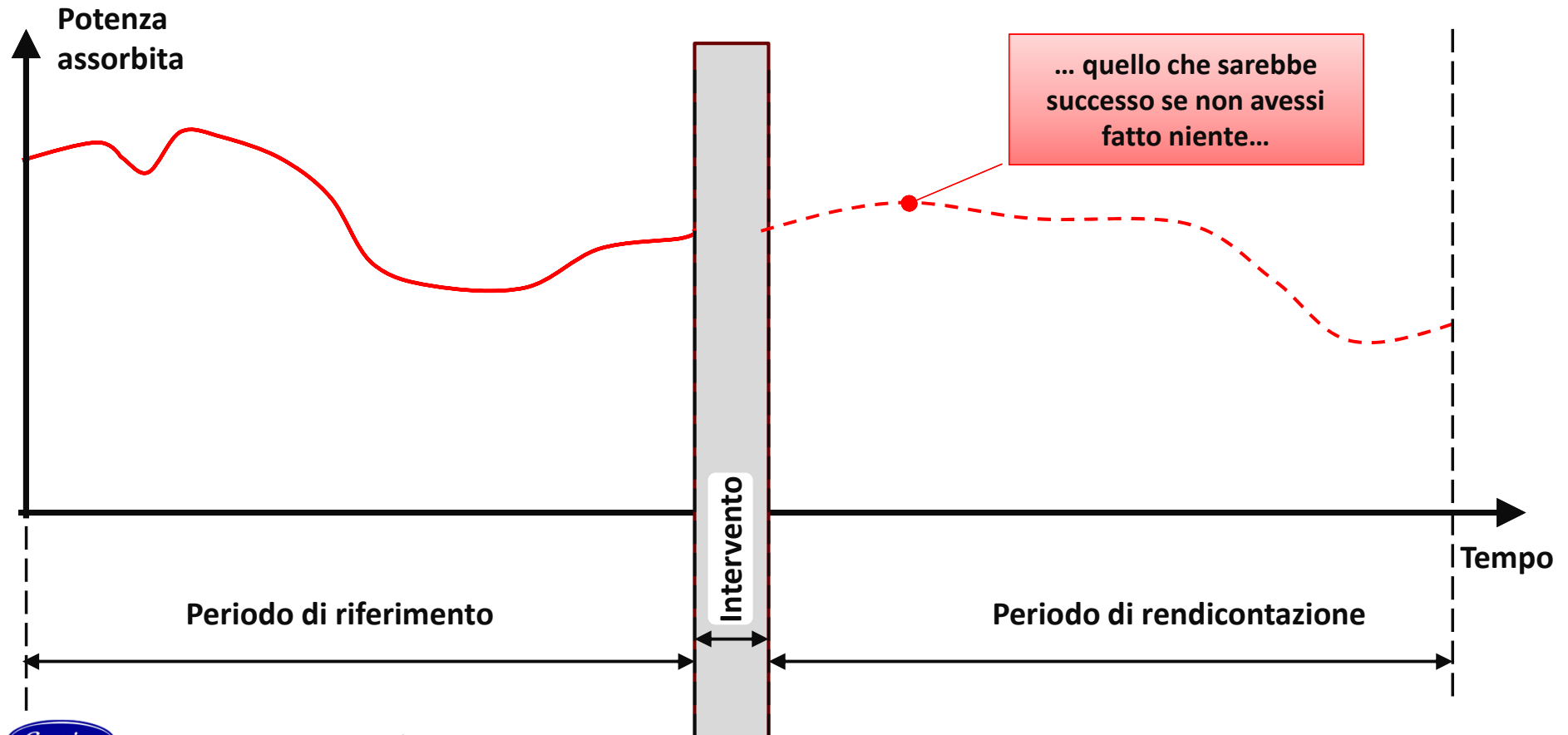


Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

13

RIELLO

Il metodo controfattuale si basa sulla valutazione di ...

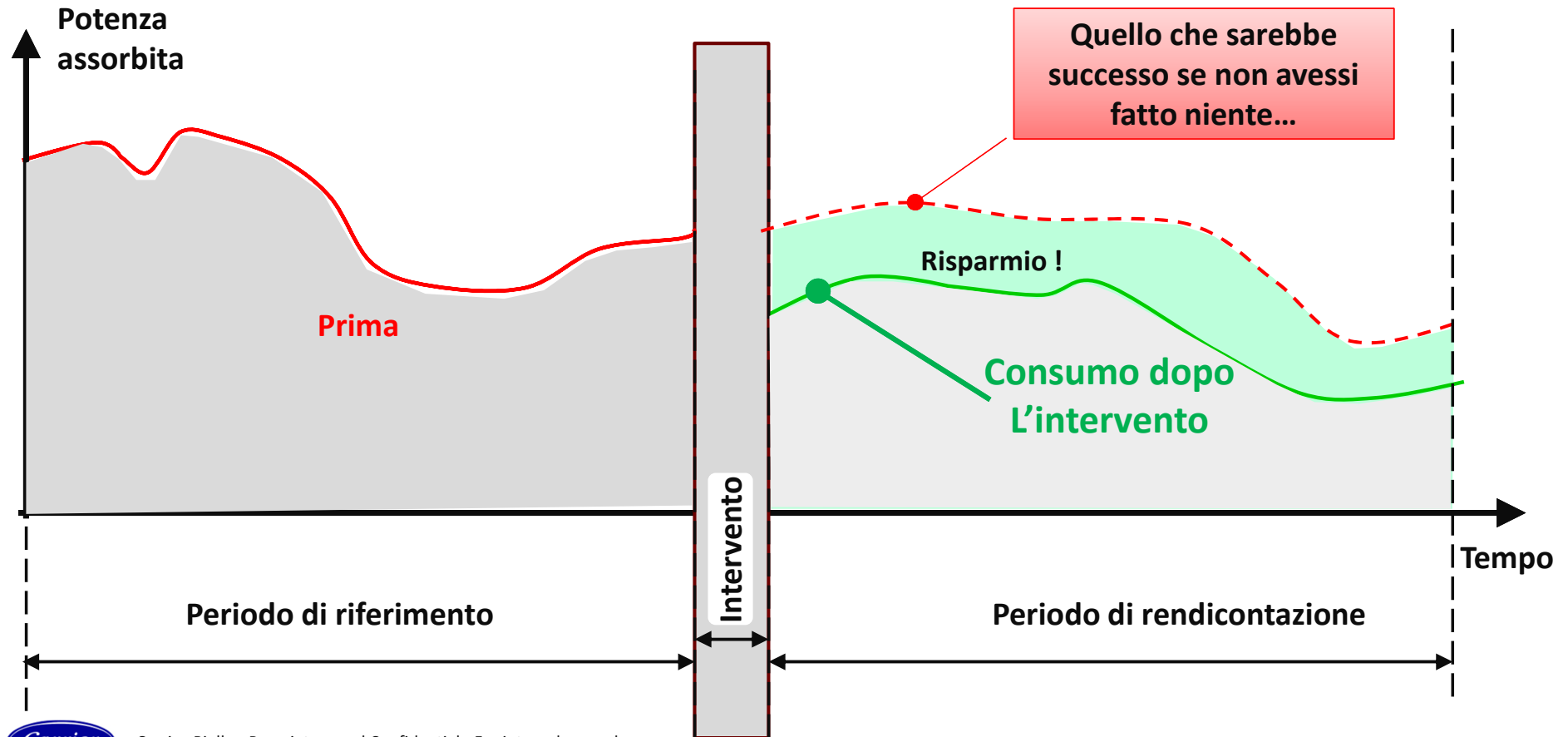


Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

14

RIELLO

Il metodo controfattuale

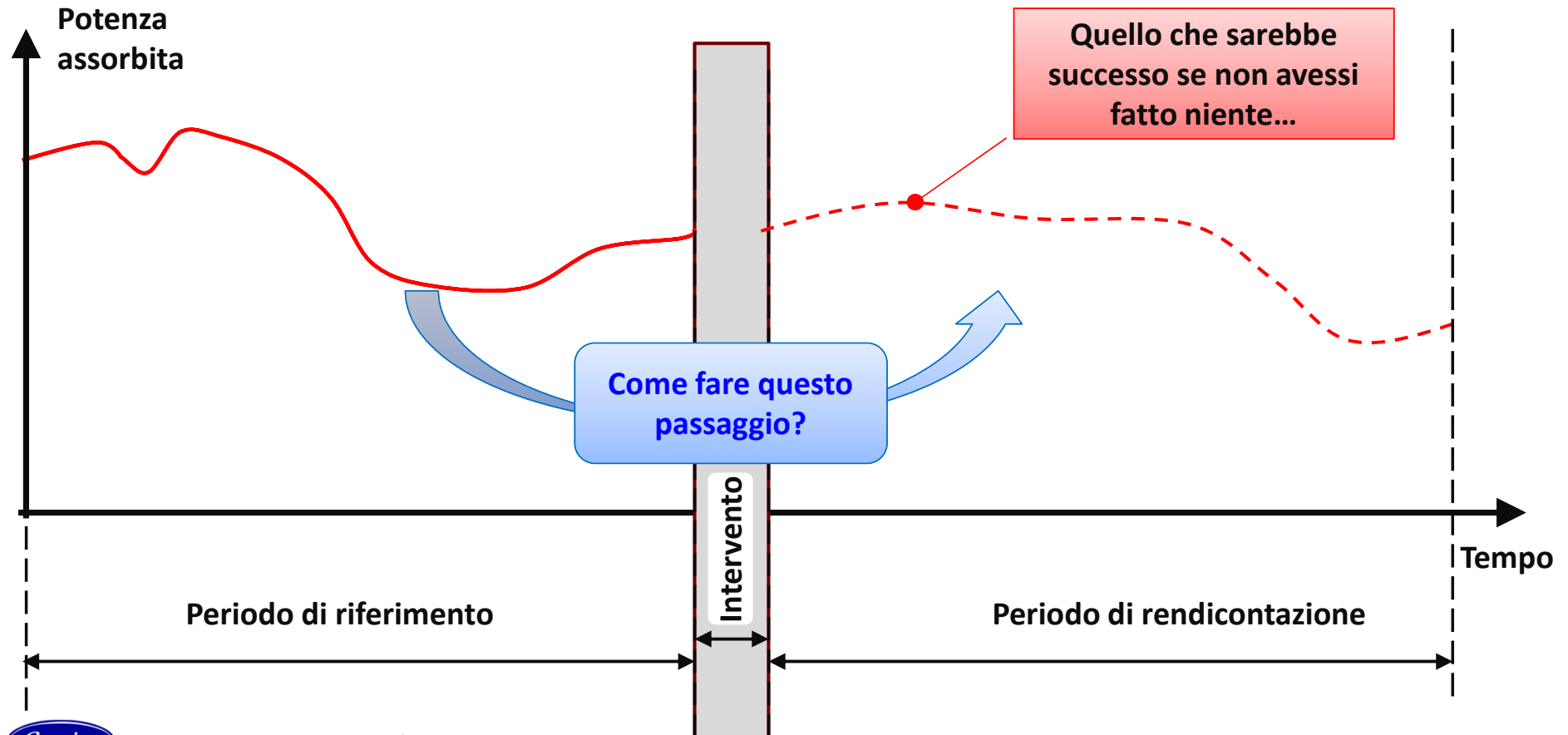


Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

15

RIELLO

La domanda per applicare il metodo controfattuale



Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

16

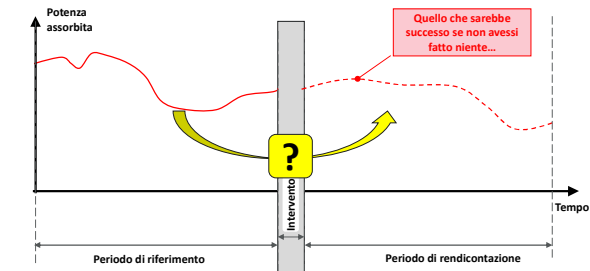
RIELLO

Il metodo controfattuale

Occorre calcolare «cosa sarebbe successo se non avessimo fatto nulla».

Per questo, occorre in sequenza:

- **Creare** e **validare** un **modello** del nostro edificio, impianto, o sistema mediante i dati rilevati nel **periodo di riferimento**
- **Utilizzare questo modello** nel **periodo di rendicontazione** per calcolare cosa sarebbe successo in assenza del nostro intervento («**aggiustamento**»)
- Ciò comporta la misura e/o l'identificazione di :
 - **Uso dell'energia** o della risorsa (variabile dipendente)
 - **Ragione** dell'uso dell'energia (variabile indipendente, **fattori di influenza**)
 - **Relazione** fra la ragione dell'uso dell'energia e l'uso dell'energia (statistica o deterministica)



Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

Alcune regole fondamentali

I risparmi di energia e di uso delle risorse non si misurano, si calcolano per confronto fra i consumi misurati in presenza di intervento ed i consumi stimati se non si fosse fatto nulla

**La determinazione dei risparmi di risorse inizia ben prima dell'intervento
Durante il periodo di riferimento occorre determinare e validare un modello**

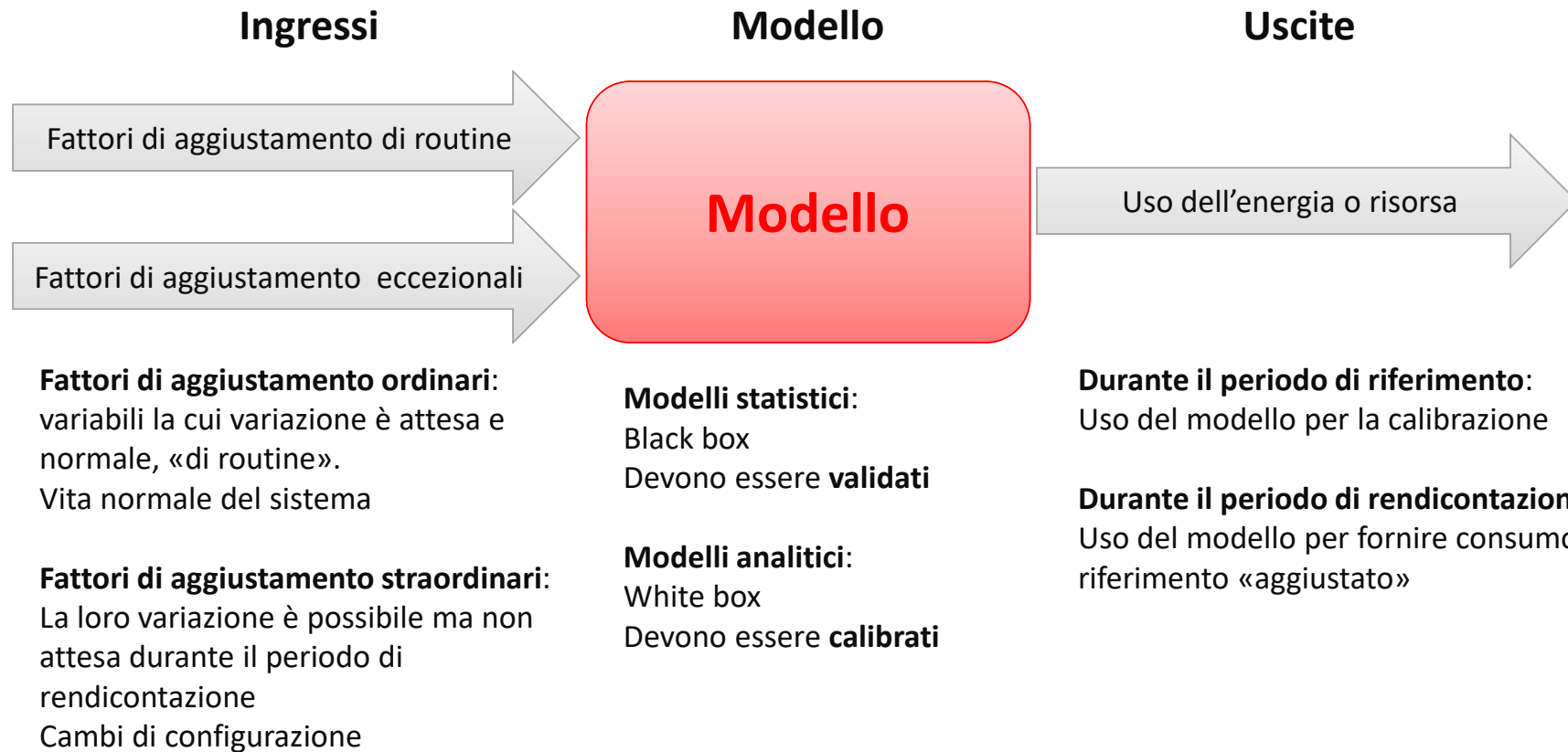
**Misurare i risparmi è...
... misurare un fantasma...**



Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

RIELLO

Il modello di consumo



Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

| Un semplicissimo esempio

Sostituzione di una serie di lampade.

Modello di consumo: potenza per tempo di utilizzazione $Q \text{ [kWh]} = P \text{ [kW]} \times t \text{ [h]}$

L'intervento consiste nella sostituzione delle lampade con altre di potenza minore

Possibili **fattori di aggiustamento:**

- Uso dell'edificio: quanto tempo sono accese le lampade, agisce sul parametro ore T
 - Tensione di rete: può influire sul parametro potenza P, dipende dal tipo di lampade
- Ipotesi frequenti (da concordare prima della valutazione):
- dopo la sostituzione, l'utilizzo delle lampade rimane uguale (T invariato)
 - la tensione di alimentazione mediamente non cambia (P ha valore medio costante)
 - non ci sono effetti interattivi significativi (impatto su altri servizi come riscaldamento)

RIELLO

Un semplicissimo esempio



| | Prima | Dopo | Differenza |
|-------------------|---------------|-----------------|------------|
| Potenza misurata | 2500 W | 850 W | - 1650 W |
| Ore di accensione | 1250 ore | 1250 ore | 0 |
| Energia consumata | 3125 kWh | 1062 kWh | - 2063 kWh |

NOTA: Questo è un esempio di «*risparmio normalizzato*» perché non è riferito all'uso effettivo delle lampade ma ad un uso presunto, supposto uguale prima e dopo l'intervento.

Altrimenti, le ore di accensione rilevanti sono quelle «dopo»



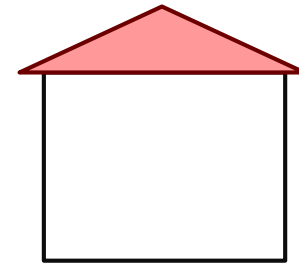
Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

21

RIELLO

Fattori di aggiustamento (o di influenza) ordinari

- **Fattori che determinano l'uso dell'energia la cui variazione è attesa e normale,** sia durante il periodo di riferimento che di rendicontazione
- **Ingressi del modello** (variabili indipendenti) che dovranno sicuramente essere misurati prima e dopo l'intervento
- Esempi
 - La temperatura esterna nella valutazione dei risparmi per riscaldamento
 - Il volume di acqua calda sanitaria prelevato per il servizio acqua calda sanitaria
 - La portata di acqua di un gruppo di pompaggio
 - ...
- **Sinonimi: fattori di influenza «di routine» o «periodici»**



Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

RIELLO

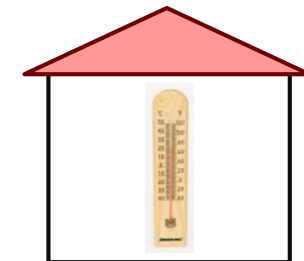
Fattori di aggiustamento straordinari

- **Fattori che determinano l'uso dell'energia la cui variazione non è attesa** (ma potrebbe accadere), sia durante il periodo di riferimento che di rendicontazione
- Ingressi del modello (variabili indipendenti) che dovranno essere tenuti sotto osservazione prima e dopo l'intervento



- Esempi
 - L'occupazione dell'edificio nella valutazione dei risparmi per riscaldamento
 - La temperatura di produzione per il servizio acqua calda sanitaria
 - La pressione di mandata di un gruppo di pompaggio
 - La tensione di alimentazione di apparecchi elettrici
 - ...

Sinonimi: fattori di influenza «eccezionali» o «non-periodici»

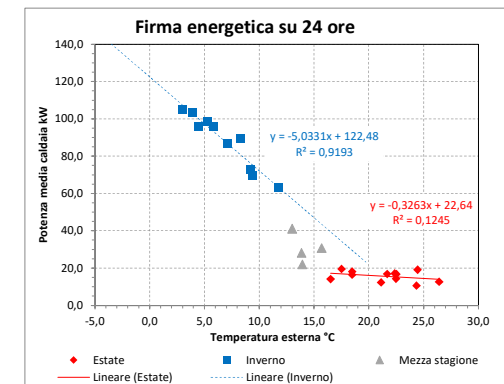


Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

23

Modelli statistici

- **Modelli solitamente fondati su regressioni lineari**
 - Di regola con **singola variabile** (esempio: temperatura esterna), raramente con più variabili
 - Di regola suddivisi in base alle **condizioni di funzionamento** (riscaldamento / acqua calda sanitaria)
- Necessitano di dati relativi ad un periodo di riferimento sufficiente per **generare e validare** la correlazione fra i fattori di aggiustamento ordinari e la potenza assorbita
- Parametri statistici di **validazione** delle regressioni: **Errore medio, R^2 , CVRMSE**
- Rende **elementare** tenere conto degli **aggiustamenti ordinari**
- In generale, **difficile** introdurre gli **aggiustamenti straordinari**
- Forniscono solo un risultato «globale», non fanno vedere i dettagli delle varie influenze/interventi
- **Esempio: firma energetica di un edificio**



Modelli fisici

- **Modelli solitamente fondati su principi fisici più o meno elaborati**
 - Di regola con numerose variabili (esempio: temperatura esterna, apporti solari, occupazione, ...)
 - Il modello permette spesso di coprire tutte le condizioni di funzionamento previste
- Necessitano di un periodo di riferimento sufficiente per la **calibrazione**
- **Calibrazione** di modelli complessi laboriosa (ho fatto un numero «pari» di errori...?)
- Elementare tenere conto degli aggiustamenti ordinari
- Di solito **facile introdurre gli aggiustamenti straordinari**
- **Forniscono anche risultati parziali**, ad esempio per valutare contributi parziali relativi ad interventi multipli.
- **Esempio: modello di calcolo UNI-TS 11300 dell'edificio**



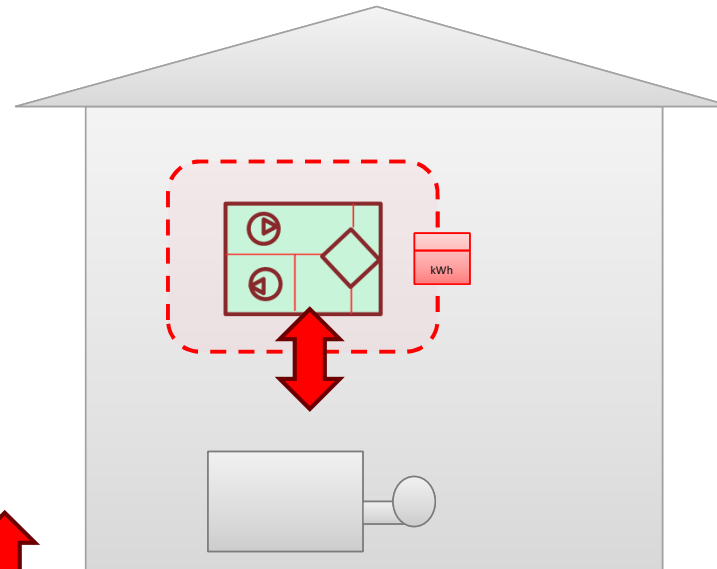
UNI-TS
11300



Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

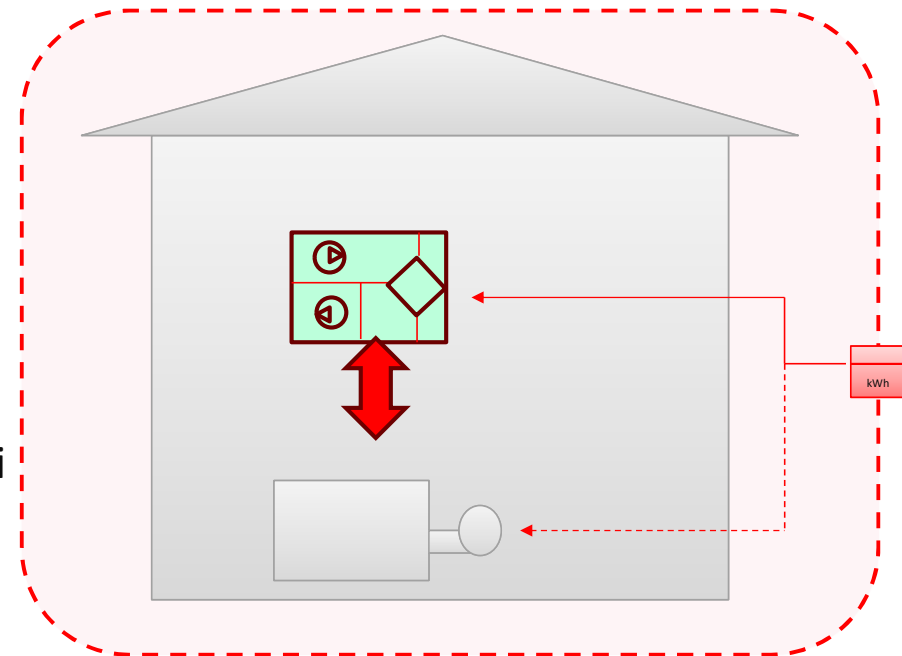
I quattro metodi principali

- Metodi con **isolamento dell'intervento**: il perimetro di misura è tale da misurare esclusivamente il consumo energetico dell'oggetto dell'intervento
 - **Metodo A**: fondato su **misure istantanee** di potenza
Energia = potenza x tempo di utilizzo
 - **Metodo B**: fondato su **misure continue** di energia o potenza ed uso dell'impianto
Il modello può essere fisico o statistico.
- **Problema possibile: effetti interattivi**



I quattro metodi principali

- Metodi a livello di **sito intero** con misure continue
(il perimetro di misura dell'energia include anche altri sistemi che quindi creano «rumore»)
- **Metodo C:** fondato su **correlazioni statistiche**
(firma energetica)
- **Metodo D:** fondato su **modelli di calcolo fisici**
(simulazione calibrata)
- **Risolve** il problema degli effetti interattivi
- **Problema:** «rumore» degli altri utilizzi

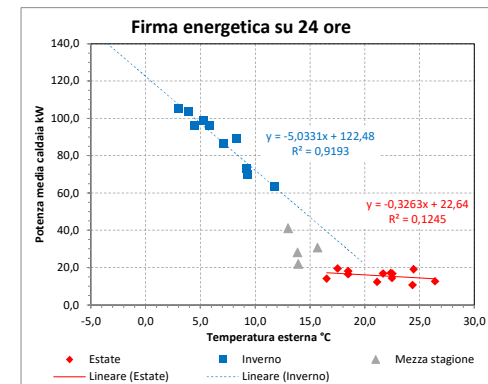


RIELLO

Statistica

- Spesso si fa uso di **campionamenti** per effettuare delle misure su una popolazione di oggetti (potenza delle lampade).
- La validazione dei modelli e l'espressione dei risultati delle misure richiede l'uso di indicatori statistici come media, R^2 , varianza σ , CVRMSE, ...

Altezza media della popolazione italiana ?



28



Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

RIELLO

Alcuni indicatori statistici per una popolazione di oggetti

Indicatori semplici

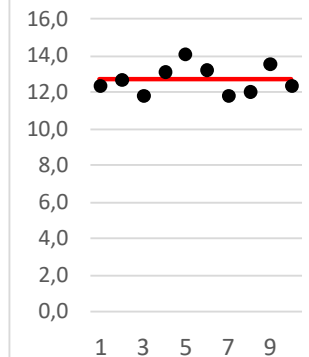
- Massimo
- Minimo
- Media
- Mediana

Indicatori più complessi:

- **Varianza σ^2 o s^2 :**
media dei quadrati delle differenze (residui) rispetto alla media
- **Deviazione standard σ o s**
radice quadrata della varianza
- **Coefficiente di variazione CV:**
rapporto fra la deviazione standard e il valore medio

| | Valori | Media | Differenze | | Varianza | Deviazione standard | Coefficiente di variazione |
|-------|-------------|-------|------------|---------------|------------|---------------------|----------------------------|
| N | X | X_m | $X - X_m$ | $(X - X_m)^2$ | σ^2 | σ | $CV = \sigma / X_m$ |
| 1 | 12,4 | 12,74 | -0,3 | 0,12 | 0,53 | 0,7 | 6% |
| 2 | 12,7 | | 0,0 | 0,00 | | | |
| 3 | 11,8 | | -0,9 | 0,88 | | | |
| 4 | 13,1 | | 0,4 | 0,13 | | | |
| 5 | 14,1 | | 1,4 | 1,85 | | | |
| 6 | 13,3 | | 0,6 | 0,31 | | | |
| 7 | 11,9 | | -0,8 | 0,71 | | | |
| 8 | 12,1 | | -0,6 | 0,41 | | | |
| 9 | 13,6 | | 0,9 | 0,74 | | | |
| 10 | 12,4 | | -0,3 | 0,12 | | | |
| Media | 12,7 | | 0,0 | 0,53 | | | |
| Somma | | | 0,0 | | | | |

Valori dei campioni



Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

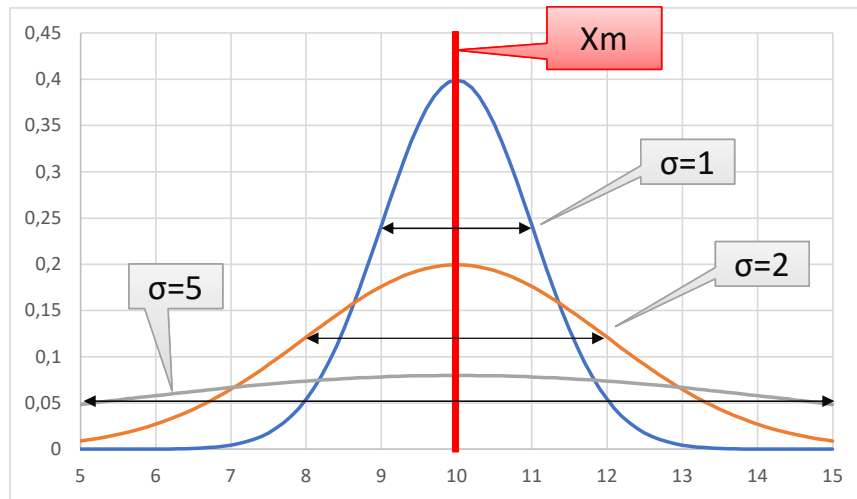
Distribuzione normale (Gaussiana)

- Se si fanno delle misure di un valore, l'errore che si commette ha in generale due componenti:
 - **Errore sistematico**, presente con lo stesso valore in tutte le misure.
Ad esempio, errore a causa di una errata calibrazione della strumentazione
 - **Errore casuale**, che cambia per ciascuna misura in maniera casuale
Errore dovuto a circostanze fortuite della singola misura
Diminuisce aumentando la taglia del campione

La distribuzione degli errori viene descritta con delle «curve di distribuzione». Quella più usata se non vi è una qualche causa specifica che determini una certa distribuzione degli errori è la distribuzione di Gauss.

RIELLO

Esempi di distribuzione Gaussiana



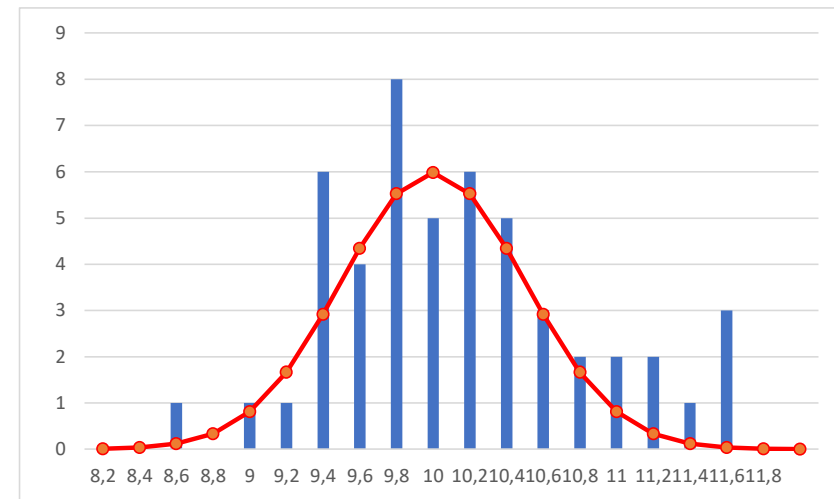
Queste tre distribuzioni hanno tutte la stessa media ma diversa deviazione standard.

Media = 10

Deviazione standard $\sigma = 1, 2 \text{ e } 5$

L'area sottesa alla curva in un intervallo dà la probabilità che il valore sia compreso in quell'intervallo.

L'area totale vale 1.



Esempio di distribuzione casuale di misure con media 10 e deviazione standard 0,7 per un totale di 50 campioni

I valori nell'istogramma sono il numero di campioni in ciascun intervallo di ampiezza pari a 0,2

Se si fanno molti insiemi di misure con errori casuali, la media di ciascuna barra blu converge alla curva rossa. I singoli insiemi di misure hanno distribuzioni di errore diverse da quella teorica media



Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

31

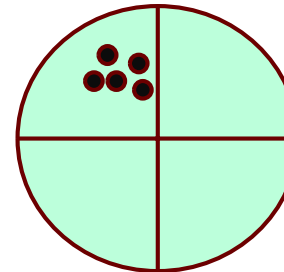
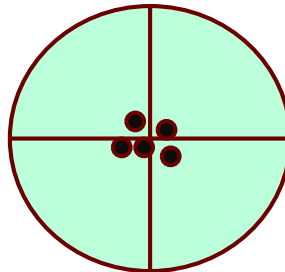
RIELLO

Precisione ed accuratezza

- **Precisione:** tutte le misure sono simili, **varianza** piccola, errore casuale piccolo
- **Accuratezza:** la **media** delle misure è centrata sul valore vero, errore sistematico piccolo

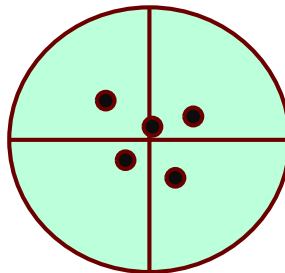
**POCA
VARIANZA**

PRECISO

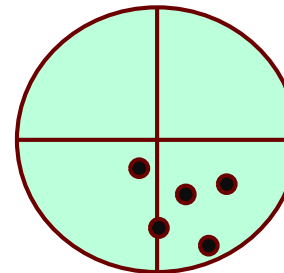


**ELEVATA
VARIANZA**

**NON PRECISO
ERRORE CASUALE**



**ACCURATO
MEDIA CENTRATA**



**NON ACCURATO
MEDIA NON CENTRATA
ERRORE SISTEMATICO**



Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

I Intervallo di confidenza e livello di confidenza

Quanto riportiamo una misura o un calcolo che può essere affetto da errore, lo si dovrebbe qualificare con:

- Un **intervallo di confidenza**, ad esempio $1000 \pm 10 \text{ kWh}$
- Un **livello di confidenza** (ad esempio il **90%**) che rappresenta la **probabilità** che il valore vero sia compreso nell'intervallo di confidenza

Data una serie di misure, si può calcolare la coppia intervallo di confidenza/livello di confidenza desiderati. Di solito **si richiede un livello di confidenza** e poi **si determina l'intervallo di confidenza** corrispondente.

Ogni risultato relativo ai risparmi dovrebbe essere riportato insieme ad una coppia incertezza / livello di confidenza:

$125 \pm 10 \text{ kWh}$ con confidenza 90% = C'è il 90% di probabilità che i risparmi veri cadano nell'intervallo 115...135 kWh.

Intervalli di confidenza tipici
 99% ed oltre: metrologia
 95%: applicazioni critiche
 80...90% applicazioni tecniche
 67%: sondaggi, opinioni

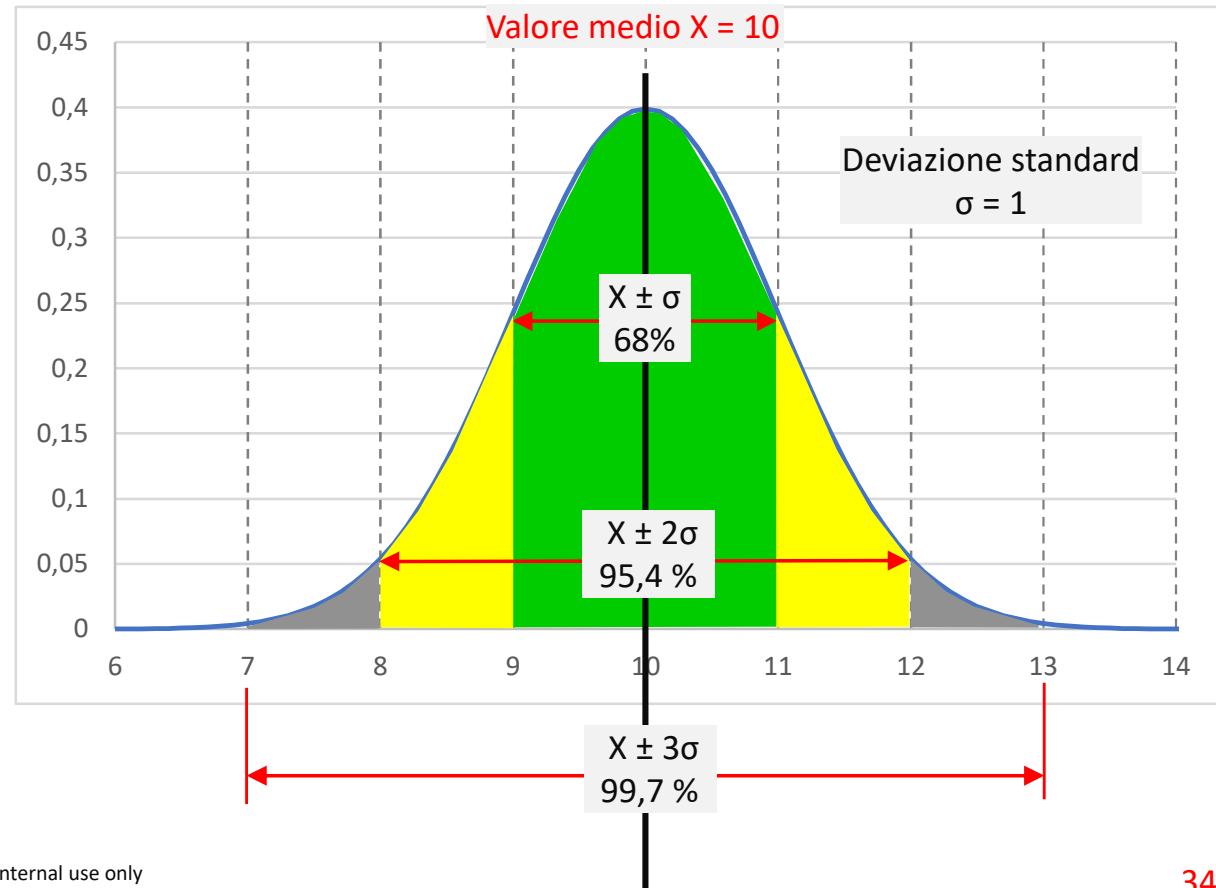
Relazione fra distribuzione Gaussiana ed incertezza di misura

Se si fanno numerose misure di una grandezza X e si ipotizza che vi sia solo un errore casuale con distribuzione gaussiana ...

Il 68% delle misure cadrà nell'intervallo $X - \sigma \dots X + \sigma$

Il 95,4% delle misure cadrà nell'intervallo $X - 2\sigma \dots X + 2\sigma$

Il 99,7% delle misure cadrà nell'intervallo $X - 3\sigma \dots X + 3\sigma$



RIELLO

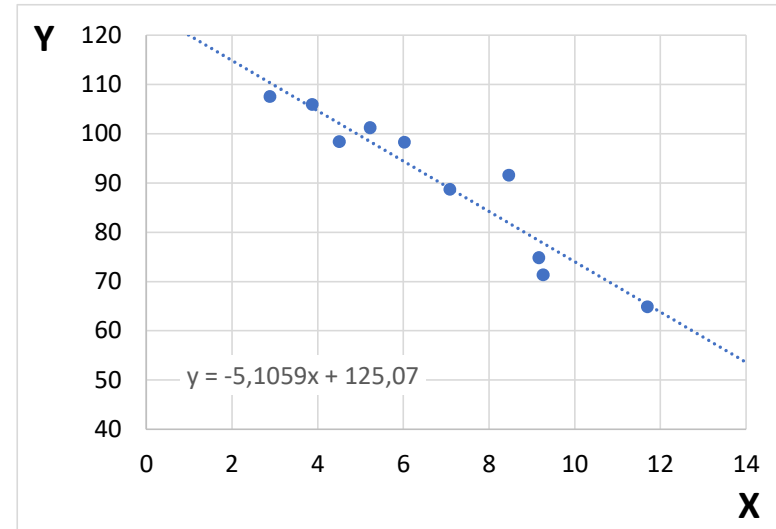
Regressione lineare

- Dato un insieme di coppie di valori
 - di una variabile dipendente Y
 - in funzione della variabile indipendente X
- ... trovare la retta $Y' = aX + b$ che minimizza la somma dei quadrati degli errori $(Y - Y')$ = interpolazione lineare col metodo dei minimi quadrati (degli errori)
 - le incognite sono i parametri a (pendenza) e b (valore in corrispondenza di $X=0$) della retta, date dalle equazioni:

$$a = \frac{\sum_{j=1}^N [(x_i - x_m) \cdot (y_i - y_m)]}{\sum_{j=1}^N (x_i - x_m)^2}$$

$$b = y_m - a \cdot x_m$$

- ... oppure «aggiungi linea di tendenza» in Excel, con molte opzioni sui criteri
- ... oppure funzioni «Pendenza» ed «Intercetta» di Excel
- ... oppure funzione «regressione lineare» del componente aggiuntivo «Analisi dati» di Excel



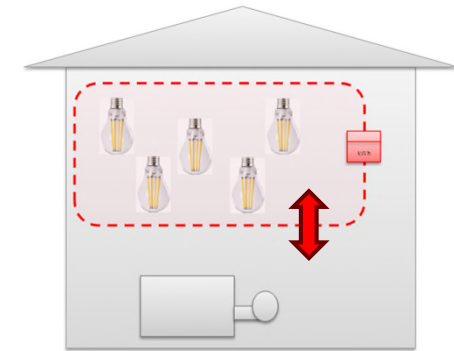
Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

35

Metodo «A»

Metodo A = isolamento della misura e misura istantanea

- Modello tipico di calcolo: $E = P \times t$
- Obbligatoria la misura del parametro modificato, prima e dopo l'intervento
- Misura diretta sui singoli apparecchi (campione statistico) oppure sulla linea che alimenta un gruppo di lampade sostituite
- Occorre giustificare il valore scelto dei parametri che restano fissi (es. ore di utilizzazione)
- Occorre escludere (o tenere conto di) eventuali fattori di aggiustamento straordinari (cambiamento della tensione di alimentazione di apparecchi elettrici)
- Occorre verificare il livello di servizio prima e dopo l'intervento
- Occorre tenere conto a parte di eventuali **effetti interattivi** significativi (cambio le lampade → aumenta il fabbisogno per riscaldamento)
- Esempi tipici: sostituzione lampade, sostituzione caldaia



RIELLO

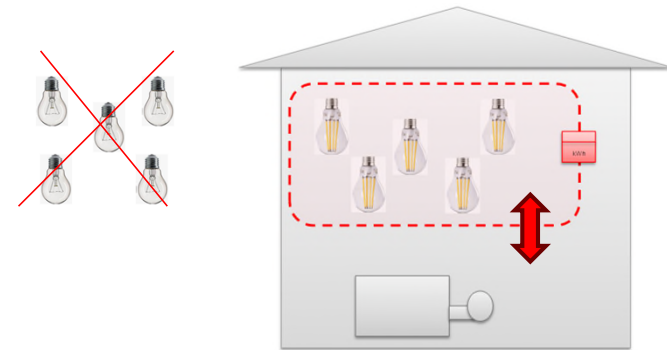


Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

Sostituzione delle sole lampade senza interventi sulle regolazioni

Esempio di verifica di riduzione dei consumi: sostituzione lampade, metodo A

- Fare il piano di misura e verifica (vedi seguito)
- Fare un elenco delle lampade da sostituire
- Verificare il livello di illuminazione (prima)
- Misurare la potenza delle lampade esistenti (*campione di lampade o tutte accese*)
- Decidere come valutare le ore di accensione: fisse oppure contatore ore accensione ...
- Installare le nuove lampade
- Verificare il nuovo livello di illuminazione
- Misurare la potenza delle lampade nuove (campione o tutte accese)
- Fare la stima dei risparmi



Esempi tipici di livello A

Sostituzione lampade:

- Ipotesi: costanza delle ore di utilizzazione delle lampade (da giustificare)
- Si trascurano effetti interattivi
- Si trascurano eventuali effetti dovuti a variazione di tensione (?)
- **Le potenze** prima e dopo **devono essere misurate** (campione o linea che alimenta tutte)

| | Prima | Dopo | Differenza |
|-------------------|---------------------------|--------------------------|------------|
| Tipo di lampade | Fluorescenti T18 | LED | |
| Potenza misurata | 16 x 4 x 20,1 W = 1,29 kW | 16 x 4 x 6,7 W = 0,43 kW | - 0,86 kW |
| Ore di accensione | 1500 ore | 1500 ore | ----- |
| Energia consumata | 1935 kWh | 643 kWh | - 1292 kWh |



Esempi tipici di livello A

Sostituzione caldaia:

- Ipotesi: costanza dell'energia utile prodotta (da giustificare)
- I rendimenti prima e dopo l'intervento devono essere misurati
- Si trascurano eventuali effetti dovuti a variazioni di temperatura (?)

| | Prima | Dopo | Differenza |
|---------------|------------|------------|------------|
| Energia utile | 12.500 kWh | 12.500 kWh | 0 |
| Rendimenti | 90% | 102% | +12% |
| Consumo | 13.890 kWh | 12.255 kWh | - 1635 kWh |



Metodo «B»

Metodo B = isolamento della misura e misura continua

- Misura **dell'energia consumata**, prima e dopo l'intervento
- Misura del servizio reso prima e dopo l'intervento (oppure ipotesi costanza servizio)
- Misura dell'energia tipicamente su un contatore che alimenta l'apparecchio sostituito
- Misura del servizio reso più complessa e varia
- Occorre escludere (o tenere conto di) eventuali fattori di aggiustamento straordinari (cambiamento della tensione di alimentazione di apparecchi elettrici)
- Occorre tenere conto di effetti interattivi
- Occorre verificare il livello di servizio prima e dopo l'intervento
- Può utilizzare sia modelli statistici che fisici.
- Richiede un adeguato periodo di riferimento (scorrere l'intera gamma di condizioni di funzionamento possibili) per la validazione o calibrazione
- Esempi tipici: comando illuminazione con rilevatore presenza, inserimento di un inverter su un gruppo di pompaggio o sul ventilatore di una UTA.



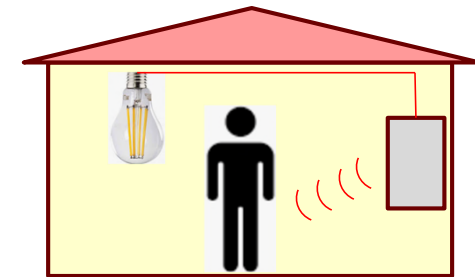
Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

RIELLO

Esempi tipici di livello B

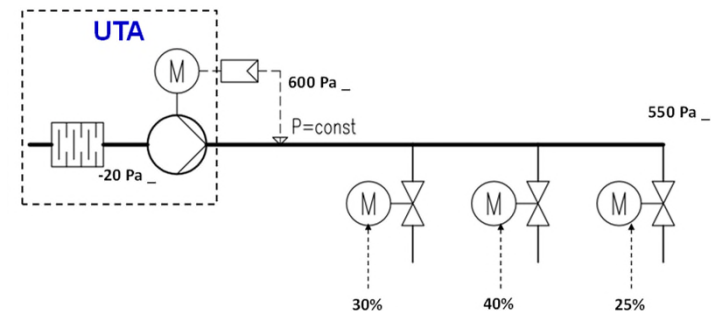
Sostituzione lampade ed aggiunta di sensori di presenza

- L'energia prima e dopo deve essere misurata con continuità
- La variazione delle ore di accensione è parte dell'effetto atteso, non basta fare una misura di potenza istantanea...
... ma l'energia utilizzata potrebbe essere influenzata dall'occupazione: ipotesi o misura per l'occupazione? Contare i giorni lavorativi? E se cambia l'orario di lavoro? ...



Installazione di un inverter su un ventilatore con set-point di pressione

- L'energia prima e dopo deve essere misurata con continuità
- Occorre misurare anche la portata di aria per avere una valutazione corretta del servizio fornito e quindi verificare il risparmio a parità di metri cubi di aria pompata.
- Occorre anche misurare la pressione dell'aria fornita per escludere un calo di servizio



Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

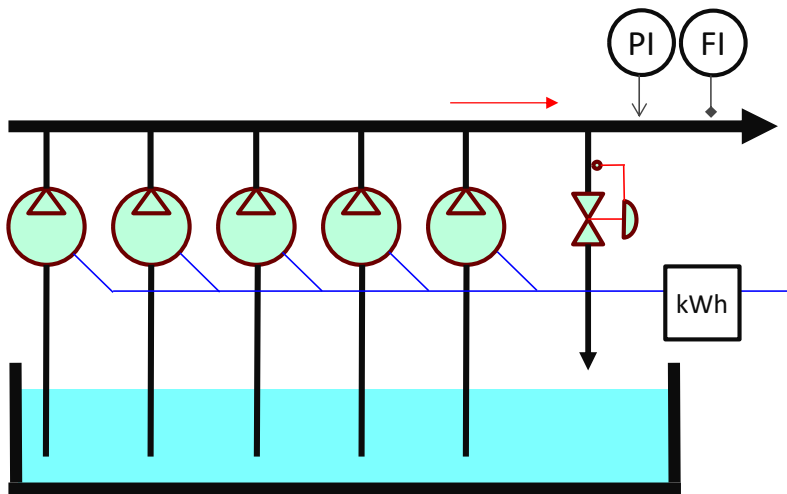
41

RIELLO

Esempio con gruppo di pompaggio

Descrizione del sistema

Il gruppo di pompaggio ha 5 pompe in parallelo, 400 m³/h e circa 50 kW cadauna



Si vuole proporre un'automazione per migliorare l'efficienza energetica.

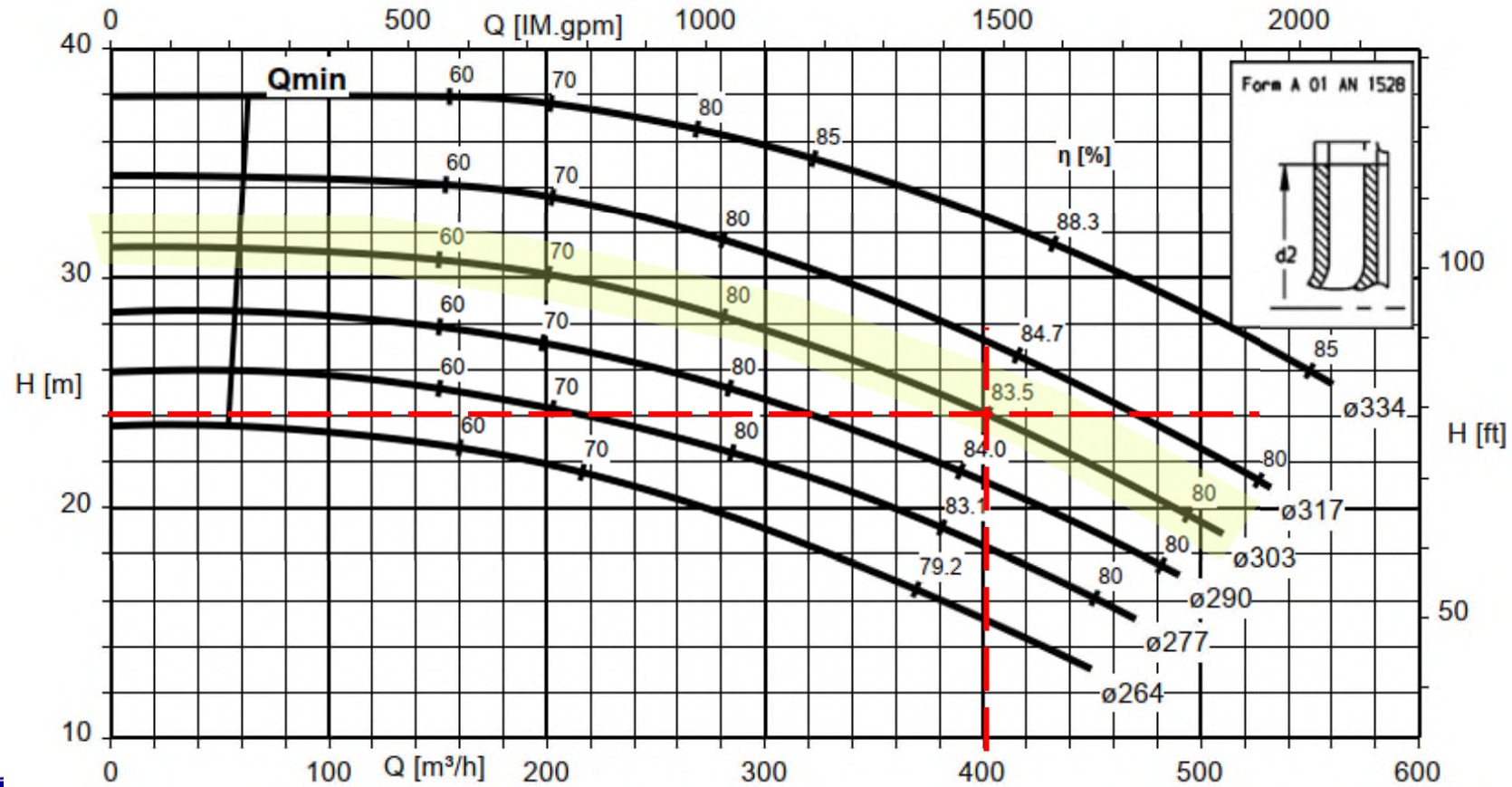
Prima di fare l'intervento occorre identificare il consumo attuale



Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

RIELLO

Curva delle pompe



Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

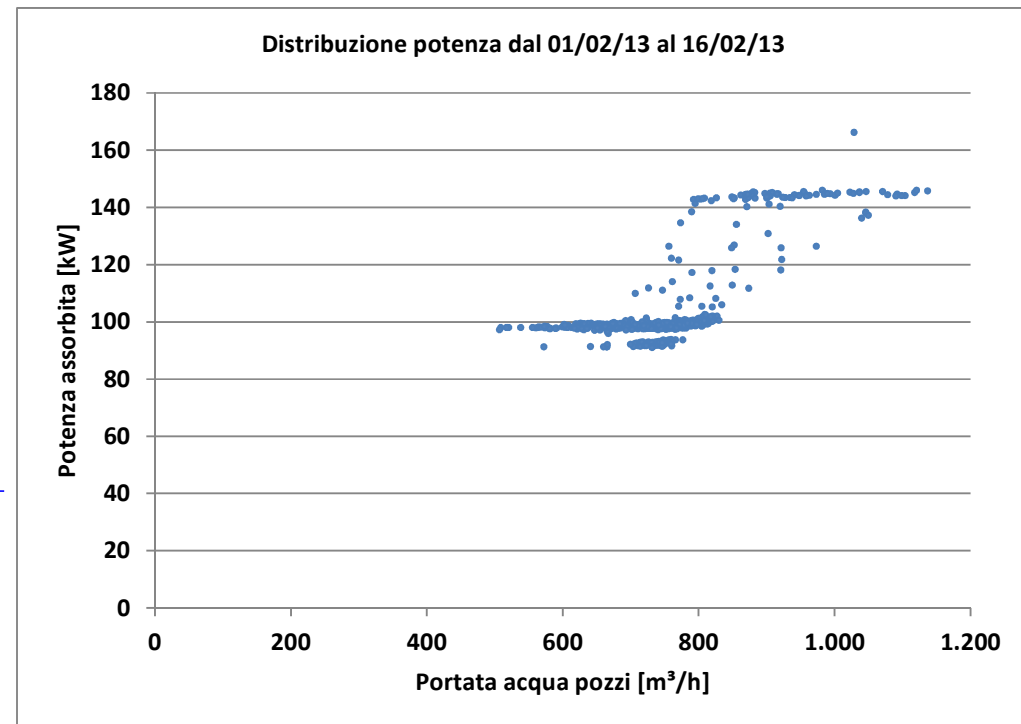
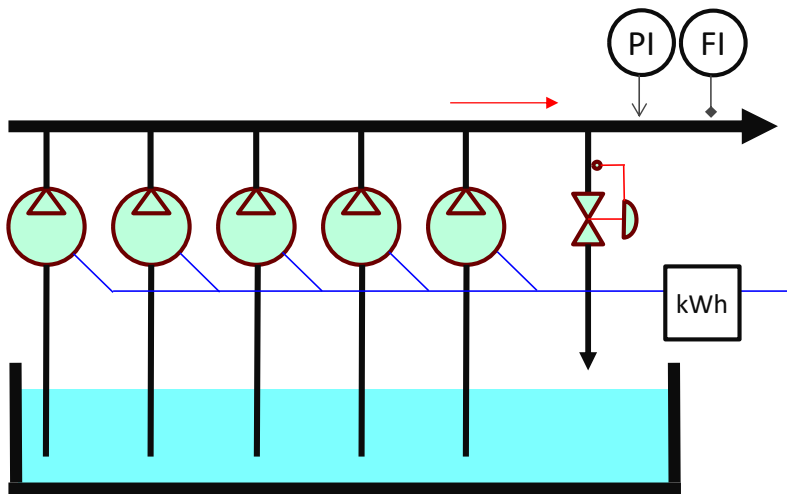
43

RIELLO

Monitoraggio iniziale

Descrizione del sistema

Il gruppo di pompaggio ha 5 pompe in parallelo, 400 m³/h e circa 50 kW ciascuna



Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

RIELLO

Esempio su gruppo di pompaggio

Valutazione dell'efficienza

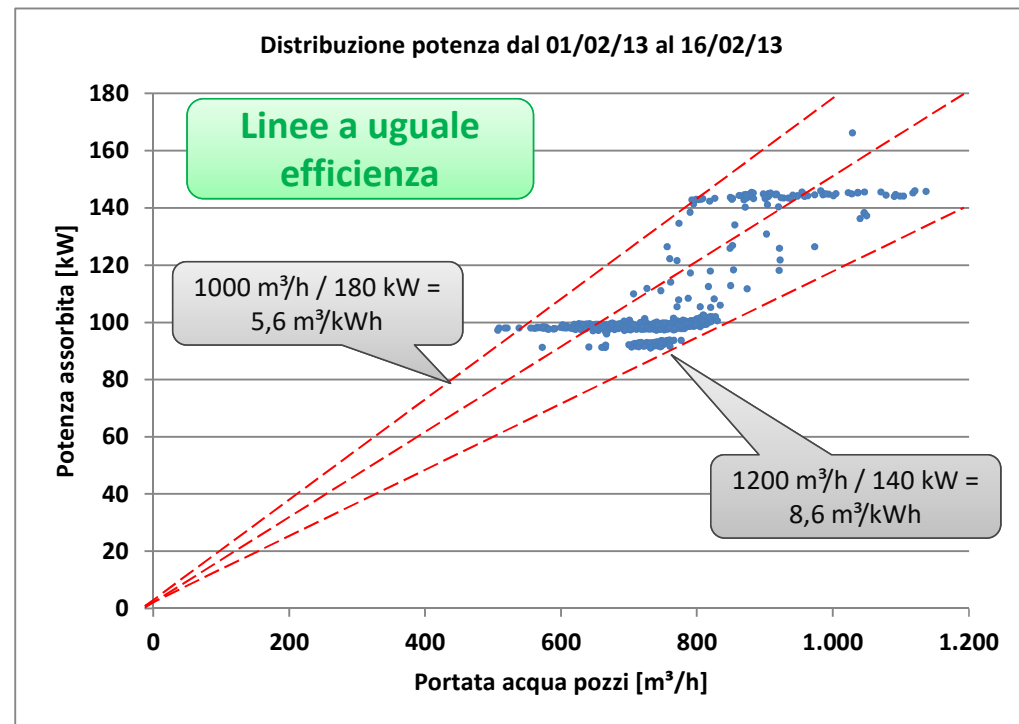
L'efficienza del sistema di pompaggio è data dal rapporto fra:

- portata acqua (effetto utile)
- potenza elettrica (costo energetico)

Unità di misura: $\text{m}^3/\text{h} / \text{kW} = \text{m}^3/\text{kWh}$

Le linee a uguale efficienza sono indicate nel grafico a lato.

Occorre inserire pompe aggiuntive il più tardi possibile, quando la pressione non può più essere mantenuta.



Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

45

RIELLO

Esempio su gruppo di pompaggio

Identificazione del modello

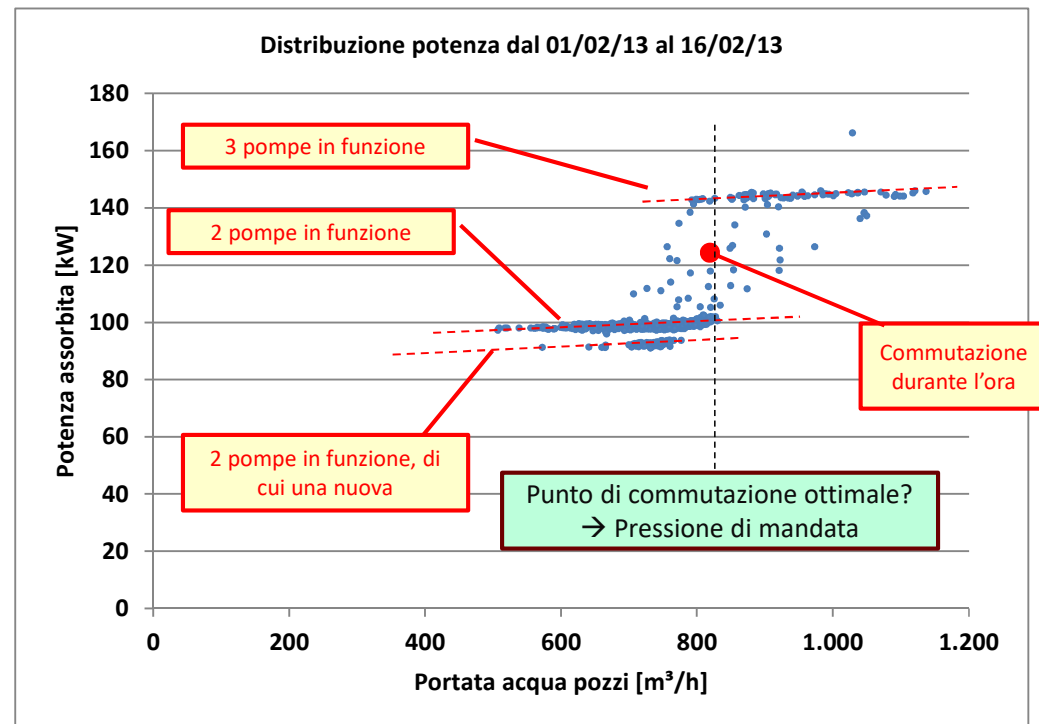
Il modello sono segmenti in funzione del numero e tipo di pompe accese.

La sostituzione di una pompa con una nuova ha già ridotto i consumi.

I punti intermedi sono relativi ad ore in cui c'è stato un funzionamento misto 2/3 pompe

Già lo studio del comportamento Potenza/portata fa vedere come ottimizzare la gestione.

Per completare lo studio occorre misurare anche la pressione



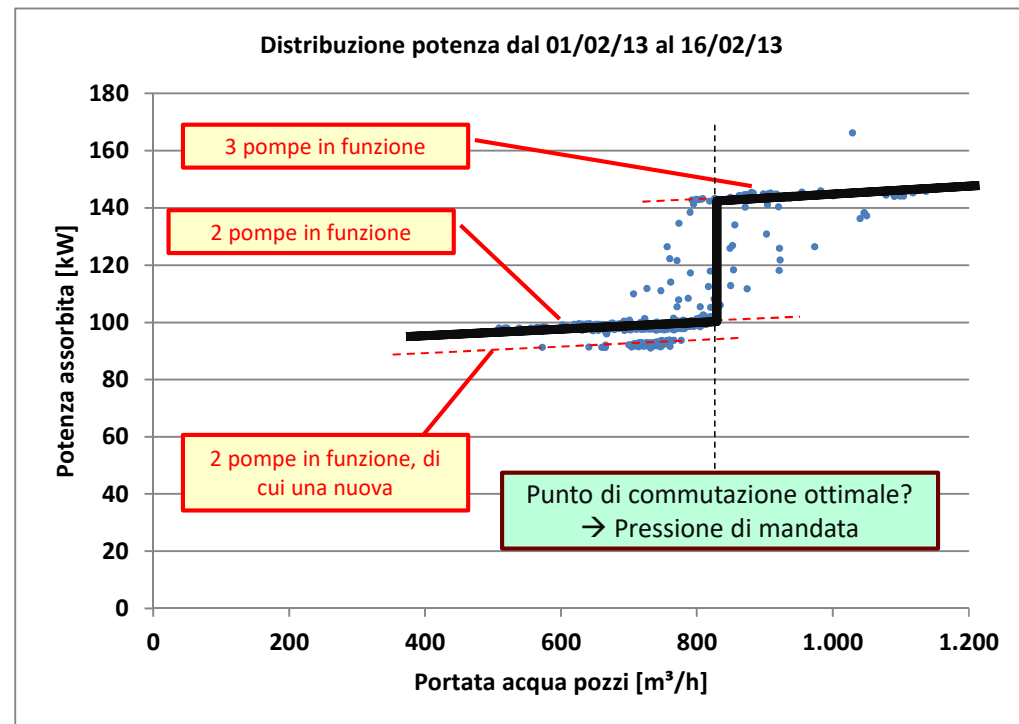
Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

Esempio su gruppo di pompaggio

RIELLO

Identificazione del modello

Modello istantaneo

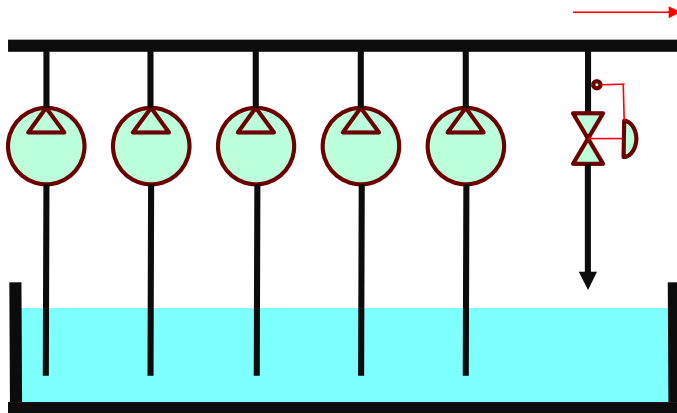


Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

RIELLO

| Quale strategia di regolazione

Quale potrebbe essere la strategia di regolazione più efficace da suggerire?

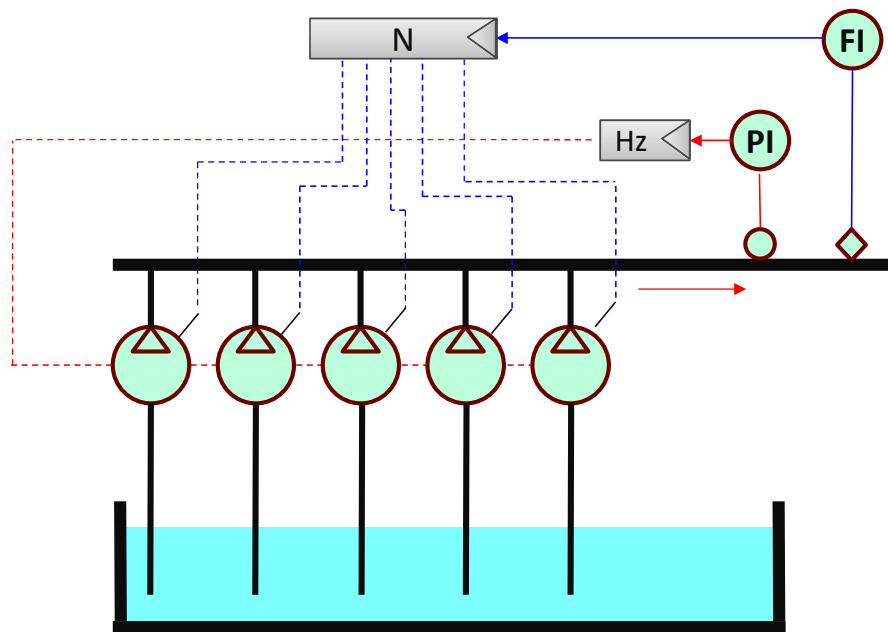


Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

48

RIELLO

Soluzione proposta



Eliminato il by-pass

Il misuratore di portata decide il numero di pompe in funzione.

Portate di commutazione da determinare sulla base della curva di efficienza delle pompe, previa verifica della pressione di mandata

La pressione è mantenuta regolando la velocità di rotazione delle pompe in modo che si suddividano equamente il carico

| Portata | Rendimento | Consumo |
|---------|------------|---------|
| 400 | 83,5 | 479 |
| 200 | 70 | 286 |
| 600 | 78,5 | 765 |

300 80,2

Conviene ripartire il carico in parti uguali



Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

Metodo «C»

C = Approccio del sito intero, modello statistico

- Determinare la correlazione fra energia consumata e indicatore di servizio reso (fattore di aggiustamento di routine), prima dell'intervento
- Misura energia su un contatore che alimenta l'intero edificio o reparto
- Non facile tenere conto di eventuali fattori di aggiustamento straordinari (esempio: cambiamento dell'uso dell'edificio)
- Effetti interattivi sono automaticamente tenuti in conto (con singolo vettore energetico)
- Usato spesso in presenza di più misure di efficientamento contemporanee
- Non fornisce il dettaglio degli effetti delle singole misure
- **Richiede un effetto almeno del 10% sul totale per emergere dal «rumore»**
- Richiede un adeguato periodo di riferimento (scorrere l'intera gamma di condizioni di funzionamento possibili) per la identificazione del modello
- Esempi tipici: interventi molteplici su un edificio.

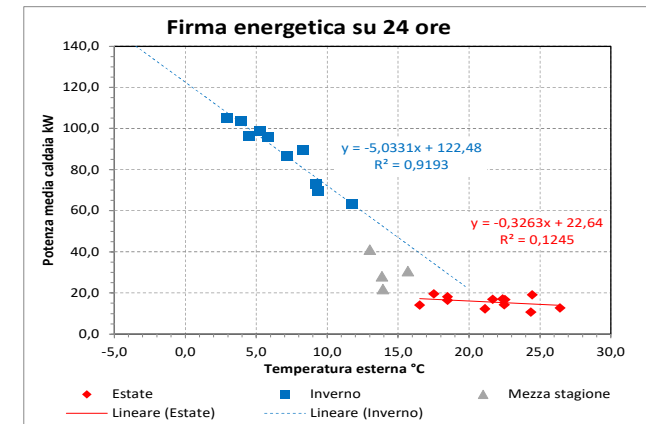


RIELLO

Esempio tipico di livello C

Interventi multipli su un edificio condominiale

- Coibentazione parziale, cambio caldaia (o installazione pompa di calore), ...
- L'energia prima e dopo devono essere misurate
- L'utilizzo prima e dopo devono essere misurati
- Strumento tipico: **firma energetica**
- **Problema: costo delle operazioni di misura e verifica**
 - Non dovrebbe superare il 10% dei risparmi conseguiti
 - Nel seguito: un semplice strumento per l'uso di base della firma energetica



Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

51

I dati relativi ai consumi

I dati relativi ai consumi di gas ed energia elettrica si possono trovare:

- Sul portale dei consumi di ARERA, accesso con SPID
<https://www.arera.it/consumatori/il-portale-consumi>

- Visualizza tutte le forniture **elettriche e gas** associate ad un codice fiscale o partita IVA
- Permette di scaricare i **dati storici mensili** delle letture dei contatori
- **Occorre ottenere l'accesso ai propri dati** (immediato per privati con SPID)

- Sul portale del distributore elettrico

- **ENEL distribuzione** permette di scaricare tutti i dati dei contatori bidirezionali e di produzione con intervallo di 15 minuti se il contatore è di 2° generazione

<https://www.e-distribuzione.it/supporto/monitora-i-tuoi-consumi-e-l-energia-prodotta.html>



RIELLO

Un esempio applicativo

In un condominio di 40 appartamenti su 2 palazzine con impianto centralizzato di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria, rete a zone, è stato proposto:

- Sostituzione delle caldaie tradizionali con caldaie a condensazione
- Installazione di valvole termostatiche e pompe elettroniche
- Installazione di cronotermostati, valvole di zona e contatore di calore
- Installazione di contatori individuali dell'acqua calda
- Sostituzione del bollitore per la produzione dell'acqua calda sanitaria

Chi ha proposto l'intervento ha «garantito» un risparmio del 30%
(... *ma faremo anche meglio...*)

... ma nessuna clausola contrattuale relativamente alla garanzia di prestazione...



Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

53

RIELLO

Esempio di classificazione dei dati di consumo

Per ogni mese, ricavare la potenza assorbita dall'impianto.

Classificare i dati in tre categorie:

- H = sicuramente riscaldamento
- NH = non c'è riscaldamento
- HNH casi dubbi

L'identificazione deve essere eseguita su insiemi di dati con il medesimo tipo di funzionamento

| | Data lettura iniziale | Lettura iniziale m³ | Data lettura finale | Lettura finale m³ | Consumo Sm³ | Costo € | Prezzo specifico €/m³ | Temperatura media °C | Potenza media [kW] | | |
|-----------|-----------------------|------------------------|---------------------|----------------------|----------------|------------|--------------------------|-------------------------|--------------------|-------|------|
| | | | | | | | | | NH | H | HNH |
| Maggio | 30/04/2014 | 37477 | 31/05/2014 | 38988 | 1541 | 1.311,01 | 0,851 | 17,5 | 20,0 | | |
| Giugno | 31/05/2014 | 38988 | 30/06/2014 | 40271 | 1309 | 1.081,45 | 0,826 | 22,3 | 17,5 | | |
| Luglio | 30/06/2014 | 40271 | 31/07/2014 | 41573 | 1328 | 1.012,98 | 0,763 | 22,5 | 17,2 | | |
| Agosto | 31/07/2014 | 41573 | 31/08/2014 | 42876 | 1329 | 979,25 | 0,737 | 21,7 | 17,2 | | |
| Settembre | 31/08/2014 | 42876 | 30/09/2014 | 44238 | 1389 | 1.098,94 | 0,791 | 18,5 | 18,6 | | |
| Ottobre | 30/09/2014 | 44238 | 31/10/2014 | 46613 | 2423 | 1.874,98 | 0,774 | 15,8 | | | 31,4 |
| Novembre | 31/10/2014 | 46613 | 30/11/2014 | 51363 | 4845 | 3.911,17 | 0,807 | 11,7 | | 64,9 | |
| Dicembre | 30/11/2014 | 51363 | 31/12/2014 | 58799 | 7585 | 5.837,60 | 0,770 | 6,0 | | 98,3 | |
| Gennaio | 31/12/2014 | 58799 | 31/01/2015 | 66815 | 8176 | 6.552,81 | 0,801 | 3,9 | | 105,9 | |
| Febbraio | 31/01/2015 | 66815 | 28/02/2015 | 73731 | 7054 | 5.654,99 | 0,802 | 5,2 | | 101,2 | |
| Marzo | 28/02/2015 | 73731 | 31/03/2015 | 79394 | 5776 | 4.828,55 | 0,836 | 9,2 | | 74,8 | |
| Aprile | 31/03/2015 | 79394 | 30/04/2015 | 82476 | 3144 | 2.357,88 | 0,750 | 13,0 | | | 42,1 |
| Maggio | 30/04/2015 | 82476 | 31/05/2015 | 83749 | 1298 | 1.097,93 | 0,846 | 18,4 | 16,8 | | |
| Giugno | 31/05/2015 | 83749 | 30/06/2015 | 84827 | 1100 | 871,25 | 0,792 | 22,4 | 14,7 | | |
| Luglio | 30/06/2015 | 84827 | 31/07/2015 | 85810 | 1003 | 787,46 | 0,785 | 26,5 | 13,0 | | |
| Agosto | 31/07/2015 | 85810 | 31/08/2015 | 87292 | 1512 | 1.173,40 | 0,776 | 24,4 | 19,6 | | |
| Settembre | 31/08/2015 | 87292 | | | | 39,43 | | | | | |
| Ottobre | 30/09/2015 | 87292 | 31/10/2015 | 88990 | 1732 | 1.377,22 | 0,795 | 14,0 | | | 22,4 |
| Novembre | 31/10/2015 | 88990 | 30/11/2015 | 4378 | 6840 | 6.003,70 | 0,878 | 8,5 | | 91,6 | |
| Dicembre | 30/11/2015 | 4378 | 31/12/2015 | 11824 | 7595 | 5.909,96 | 0,778 | 4,5 | | 98,4 | |
| Gennaio | 31/12/2015 | 11824 | 31/01/2016 | 19962 | 8301 | 6.128,37 | 0,738 | 2,9 | | 107,5 | |
| Febbraio | 31/01/2016 | 19962 | 29/02/2016 | 26241 | 6405 | 4.712,71 | 0,736 | 7,1 | | 88,7 | |
| Marzo | 29/02/2016 | 26241 | 31/03/2016 | 31638 | 5505 | 4.062,61 | 0,738 | 9,3 | | 71,3 | |
| Aprile | 31/03/2016 | 31638 | 30/04/2016 | 33750 | 2154 | 1.444,79 | 0,671 | 13,9 | | | 28,8 |
| Maggio | 30/04/2016 | 33750 | 31/05/2016 | 34841 | 1113 | 762,23 | 0,685 | 16,5 | 14,4 | | |
| Giugno | 31/05/2016 | 34841 | 30/06/2016 | 35767 | 945 | 652,37 | 0,691 | 21,0 | 12,6 | | |
| Luglio | 30/06/2016 | 35767 | 31/07/2016 | 36589 | 838 | 594,38 | 0,709 | 24,4 | 10,9 | | |



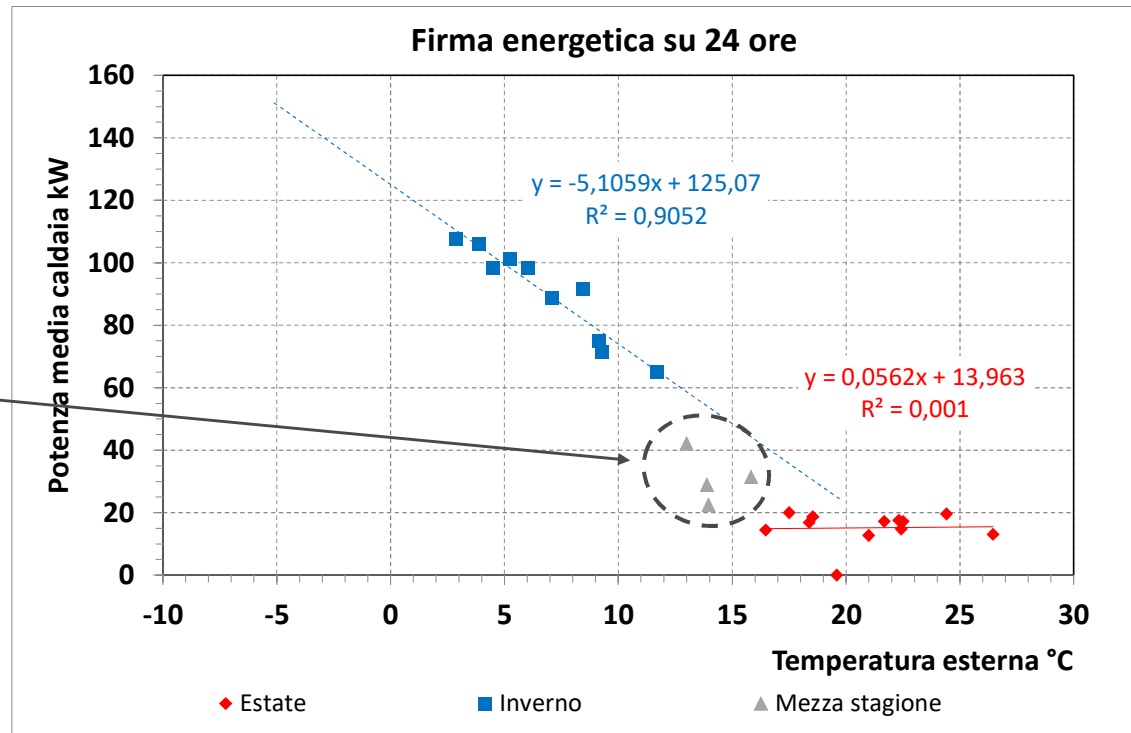
Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

RIELLO

Identificazione del modello sulla base dei consumi ante intervento

Il calcolo delle due firme energetiche del periodo di osservazione si può fare molto facilmente con Excel tracciando il grafico ed aggiungendo una linea di tendenza.

Si vede molto bene perché occorre scartare i dati grigi: corrispondono ad una miscela dei due funzionamenti.



Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

55

Validazione del modello

- **Parametro R^2 :**
 - utile quando c'è una variabile dominante, indica quale parte della variazione della variabile indipendente è spiegato dalla variabile indipendente
 - Valori accettabili: almeno 80%, altrimenti significa che ci sono altre variabili indipendenti
- **Parametro CV(RMSE)**
 - Indica il «rumore» attorno alla regressione
 - Dovrebbe essere inferiore al 15%
- **Parametro BIAS**
 - La media dei valori predetti dal modello deve coincidere con quella dei dati di partenza. $BIAS = 0$
- **Analisi dei residui**
 - Facendo un grafico dei residui in funzione della variabile indipendente, la distribuzione deve essere casuale
- **Criterio prescrittivo ASHRAE: $CV(RMSE) < 30\%$ e risparmi $> 10\%$**

Regression for M&V: Reference Guide

Bonneville Power Administration
DOE\BP-4353 - May 2012

<https://www.bpa.gov/-/media/Aep/energy-efficiency/measurement-verification/3-bpa-mv-regression-reference-guide.pdf>

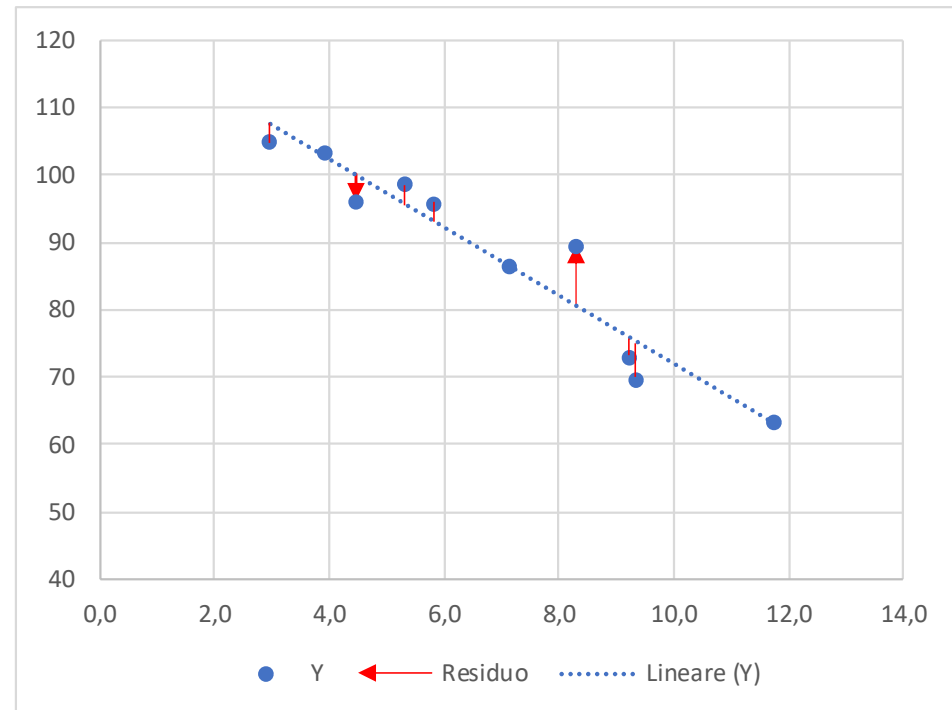


Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

RIELLO

Che cos'è il CVRMSE: rumore relativo rispetto alla previsione

| N | X | Y | Y' | Y'-Y | (Y'-Y) ² |
|----------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|---------------------|
| 1 | 11,7 | 63,33 | 63,4 | 0,09 | 0,01 |
| 2 | 5,8 | 95,95 | 93,2 | -2,71 | 7,36 |
| 3 | 3,9 | 103,43 | 102,7 | -0,75 | 0,56 |
| 4 | 5,3 | 98,80 | 95,7 | -3,05 | 9,32 |
| 5 | 9,2 | 73,07 | 76,0 | 2,92 | 8,54 |
| 6 | 8,3 | 89,41 | 80,7 | -8,69 | 75,59 |
| 7 | 4,5 | 96,08 | 100,0 | 3,90 | 15,18 |
| 8 | 3,0 | 105,01 | 107,5 | 2,52 | 6,34 |
| 9 | 7,1 | 86,61 | 86,6 | -0,06 | 0,00 |
| 10 | 9,3 | 69,64 | 75,5 | 5,84 | 34,06 |
| Media | 6,82 | 88,13 | 88,13 | 0,00 | 15,70 |
| Somma | | | | 0,00 | 156,95 |
| Y' = AX + B | | | | A | -5,03 |
| | | | | B | 122,48 |
| Varianza | | | | σ^2 | 15,70 |
| Deviazione standard | | | | σ | 3,96 |
| Coefficiente di variazione | | | | σ/Y_m | 4,5% |



Potrebbe essere interessante normalizzare la deviazione standard non rispetto al valore medio ma rispetto alla differenza fra valori minimo e massimo attesi: nell'esempio deviazione standard $\approx 4 \text{ kW} / (105 - 65) = 10\%$

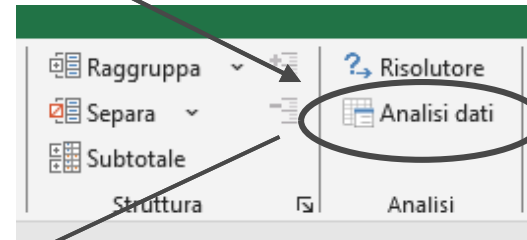
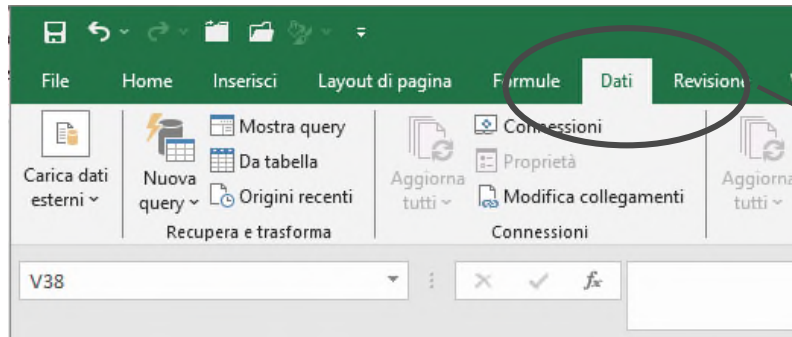


Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

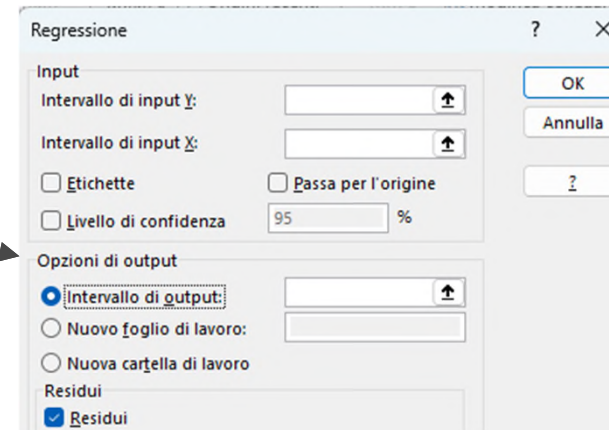
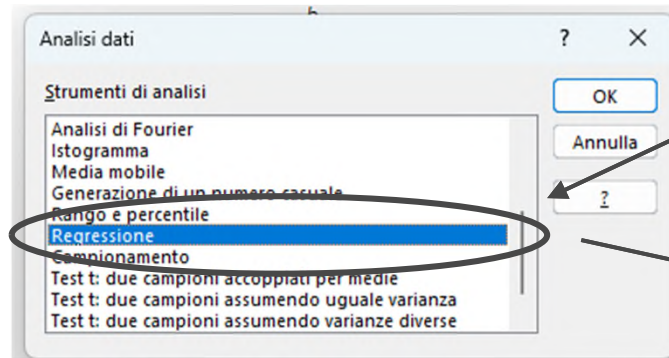
57

RIELLO

Determinazione ed analisi del modello con Excel



Se non trovate lo strumento di analisi dati, va attivato nei componenti aggiuntivi



Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

58

RIELLO

Il risultato di Excel: regressione invernale ante-intervento

| X | Y |
|------|-------|
| 11,7 | 64,9 |
| 6,0 | 98,3 |
| 3,9 | 105,9 |
| 5,2 | 101,2 |
| 9,2 | 74,8 |
| 8,5 | 91,6 |
| 4,5 | 98,4 |
| 2,9 | 107,5 |
| 7,1 | 88,7 |
| 9,3 | 71,3 |

Statistica della regressione

| | |
|------------------------|--------------------|
| R multiplo | 0,951435924 |
| R al quadrato | 0,905230318 |
| R al quadrato corretto | 0,893384108 |
| Errore standard | 4,915547671 |
| Osservazioni | 10 |

Modello invernale:
 $Y = 125,07 \text{ kW} - T \times 5,106 \text{ kW/}^{\circ}\text{C}$

CV (RMSE) **5,4%** = Errore standard / Media Y

ANALISI VARIANZA

| | gdl | SQ | MQ | F | Significatività F |
|-------------|-----|----------|-----------|------------|-------------------|
| Regressione | 1 | 1846,39 | 1846,3902 | 76,4151823 | 2,29457E-05 |
| Residuo | 8 | 193,3009 | 24,162609 | | |
| Totale | 9 | 2039,691 | | | |

I criteri di
validazione sono
ben soddisfatti per
la regressione
invernale

| | Coefficienti | Errore standard | Stat t | Valore di significatività | Inferiore 95% | Superiore 95% | Inferiore 95,0% |
|----------------------|-----------------|-----------------|------------|---------------------------|---------------|---------------|-----------------|
| Intercetta | 125,0718 | 4,274875 | 29,257407 | 2,0174E-09 | 115,2138782 | 134,9296 | 115,2139 |
| Variabile X 1 | -5,1059 | 0,584099 | -8,7415778 | 2,2946E-05 | -6,452883304 | -3,75901 | -6,45288 |



Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

59

RIELLO

Il risultato di Excel: regressione estiva ante-intervento

| X | Y |
|------|-------|
| 17,5 | 19,50 |
| 22,4 | 17,11 |
| 22,5 | 16,80 |
| 21,7 | 16,81 |
| 18,5 | 18,16 |
| 18,5 | 16,43 |
| 22,5 | 14,37 |
| 26,4 | 12,68 |
| 24,5 | 19,12 |
| 16,5 | 14,08 |
| 21,1 | 12,35 |
| 24,4 | 10,61 |

Media Y 15,67

R^2 è basso ma
questo è normale
CV(RMSE) è ancora
accettabile secondo
ASHRAE (< 30%)

Statistica della regressione

| | |
|------------------------|-------------------|
| R multiplo | 0,221096 |
| R al quadrato | 0,04888344 |
| R al quadrato corretto | -0,0567962 |
| Errore standard | 2,57580189 |
| Osservazioni | 11 |

Modello estivo:
 $Y = 20,33 \text{ kW} - T \times 0,1812 \text{ kW/}^\circ\text{C}$

CV (RMSE) 15,6% = Errore standard / Media Y

ANALISI VARIANZA

| | gdl | SQ | MQ | F | Significatività F |
|-------------|-----|----------|------------|-----------|-------------------|
| Regressione | 1 | 3,06899 | 3,06899001 | 0,4625626 | 0,51354158 |
| Residuo | 9 | 59,7128 | 6,63475539 | | |
| Totale | 10 | 62,78179 | | | |

| | Coefficienti | Errore standard | Stat t | Valore di significatività | Inferiore 95% | Superiore 95% | Inferiore 95,0% |
|----------------------|-------------------|-----------------|------------|---------------------------|---------------|---------------|-----------------|
| Intercetta | 20,3324769 | 5,663211 | 3,59027361 | 0,0058363 | 7,52140367 | 33,14355 | 7,521404 |
| Variabile X 1 | -0,1811591 | 0,266364 | -0,6801196 | 0,5135416 | -0,7837154 | 0,421397 | -0,78372 |



Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

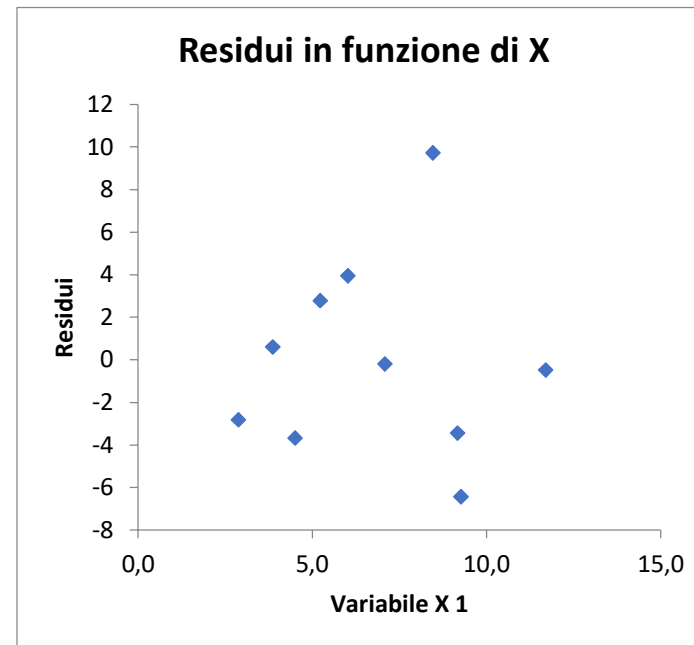
60

Analisi dei residui

| X °C | Y kW | Y' kW | Residui Y-Y' kW |
|---------|---------|----------|-----------------------|
| 11,7 | 64,9 | 65,34 | -0,48 |
| 6,0 | 98,3 | 94,32 | 3,94 |
| 3,9 | 105,9 | 105,32 | 0,61 |
| 5,2 | 101,2 | 98,40 | 2,78 |
| 9,2 | 74,8 | 78,29 | -3,45 |
| 8,5 | 91,6 | 81,85 | 9,72 |
| 4,5 | 98,4 | 102,08 | -3,68 |
| 2,9 | 107,5 | 110,36 | -2,81 |
| 7,1 | 88,7 | 88,89 | -0,19 |
| 9,3 | 71,3 | 77,76 | -6,44 |

Y' è il valore previsto dal modello per il periodo di osservazione

$$Y' = 125,07 \text{ kW} - X \times 5,106 \text{ kW/}^{\circ}\text{C}$$



Nessuno schema evidente, test OK



Calcolo dei risparmi

- Per calcolare i risparmi, si utilizza il modello per stimare, per ciascun mese, quale sarebbe stata la potenza media in assenza di interventi
- Per i mesi a servizio parziale, si interpola fra i due coefficienti a e b per i servizi estivo ed invernale in proporzione al numero di giorni con ciascun regime.
Per semplicità aprile ed ottobre si considerano solo per metà con riscaldamento.

Modello invernale:
 $Y = 125,07 \text{ kW} - T \times 5,106 \text{ kW/}^{\circ}\text{C}$

Modello estivo:
 $Y = 20,33 \text{ kW} - T \times 0,1812 \text{ kW/}^{\circ}\text{C}$

Modello per aprile ed ottobre:
 $Y = 72,702 \text{ kW} - T \times 2,644 \text{ kW/}^{\circ}\text{C}$



Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

RIELLO

Calcolo dei «risparmi» = energia evitata

| Consumi durante il periodo di rendicontazione | | | | | | Se non avessi fatto nulla... | | | | Consumi evitati | | |
|---|---------------|----------------|---------------|-----------------|------|------------------------------|------|-------|----------------|-----------------|---------------|----------|
| Mese | Consumo m³ | Consumo kWh | Potenza kW | Temperatu °C | Tipo | Modello aggiustato | | | | kWh | % | € |
| | | | | | | a | b | kW | kWh | | | |
| Giugno | 1.088 | 10.491 | 14,6 | 23,2 | NH | 20,3 | -0,2 | 16,1 | 11.618 | 1.127 | 9,7% | 84,07 |
| Luglio | 1.048 | 10.097 | 13,6 | 24,8 | NH | 20,3 | -0,2 | 15,8 | 11.778 | 1.681 | 14,3% | 136,05 |
| Agosto | 1.048 | 10.097 | 13,6 | 25,2 | NH | 20,3 | -0,2 | 15,8 | 11.728 | 1.631 | 13,9% | 132,00 |
| Settembre | 1.182 | 11.395 | 15,8 | 20,8 | NH | 20,3 | -0,2 | 16,6 | 11.924 | 529 | 4,4% | 42,12 |
| Ottobre | 1.679 | 16.183 | 21,8 | 15,8 | HNH | 72,7 | -2,6 | 31,0 | 23.088 | 6.905 | 29,9% | 576,30 |
| Novembre | 3.755 | 36.191 | 50,3 | 11,1 | H | 125,1 | -5,1 | 68,4 | 49.214 | 13.024 | 26,5% | 1.426,64 |
| Dicembre | 6.407 | 61.753 | 83,0 | 4,0 | H | 125,1 | -5,1 | 104,5 | 77.766 | 16.013 | 20,6% | 1.303,45 |
| Gennaio | 6.894 | 66.453 | 89,3 | 2,5 | H | 125,1 | -5,1 | 112,1 | 83.415 | 16.962 | 20,3% | 1.417,85 |
| Febbraio | 5.096 | 49.120 | 73,1 | 6,0 | H | 125,1 | -5,1 | 94,3 | 63.375 | 14.256 | 22,5% | 1.185,79 |
| Marzo | 2.488 | 23.980 | 52,6 | 8,8 | H | 125,1 | -5,1 | 80,0 | 36.501 | 12.521 | 34,3% | 0,00 |
| Aprile | 4.000 | 38.560 | 38,3 | 12,3 | HNH | 72,7 | -2,6 | 40,3 | 40.603 | 2.043 | 5,0% | 157,44 |
| Maggio | 2.357 | 22.721 | 30,5 | 15,0 | NH | 20,3 | -0,2 | 17,6 | 13.108 | -9.613 | -73,3% | -724,57 |
| Giugno | 1.102 | 10.618 | 14,7 | 25,1 | NH | 20,3 | -0,2 | 15,8 | 11.360 | 742 | 6,5% | 57,70 |
| Luglio | 976 | 9.409 | 12,6 | 25,1 | NH | 20,3 | -0,2 | 15,8 | 11.742 | 2.333 | 19,9% | 169,67 |
| Agosto | 953 | 9.183 | 12,3 | 24,8 | NH | 20,3 | -0,2 | 15,8 | 11.787 | 2.604 | 22,1% | 205,37 |
| Settembre | 1.019 | 9.822 | 13,6 | 18,9 | NH | 20,3 | -0,2 | 16,9 | 12.169 | 2.347 | 19,3% | 179,41 |
| Ottobre | 1.515 | 14.600 | 19,6 | 14,8 | HNH | 72,7 | -2,6 | 33,6 | 24.988 | 10.388 | 41,6% | 767,06 |
| Novembre | 4.186 | 40.350 | 56,0 | 10,7 | H | 125,1 | -5,1 | 70,7 | 50.887 | 10.537 | 20,7% | 776,44 |
| Dicembre | 5.986 | 57.703 | 77,6 | 6,3 | H | 125,1 | -5,1 | 93,0 | 69.225 | 11.522 | 16,6% | 844,21 |
| TOTALI | | 508.726 | | | | | | | 626.278 | 117.552 | -23,1% | |



Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

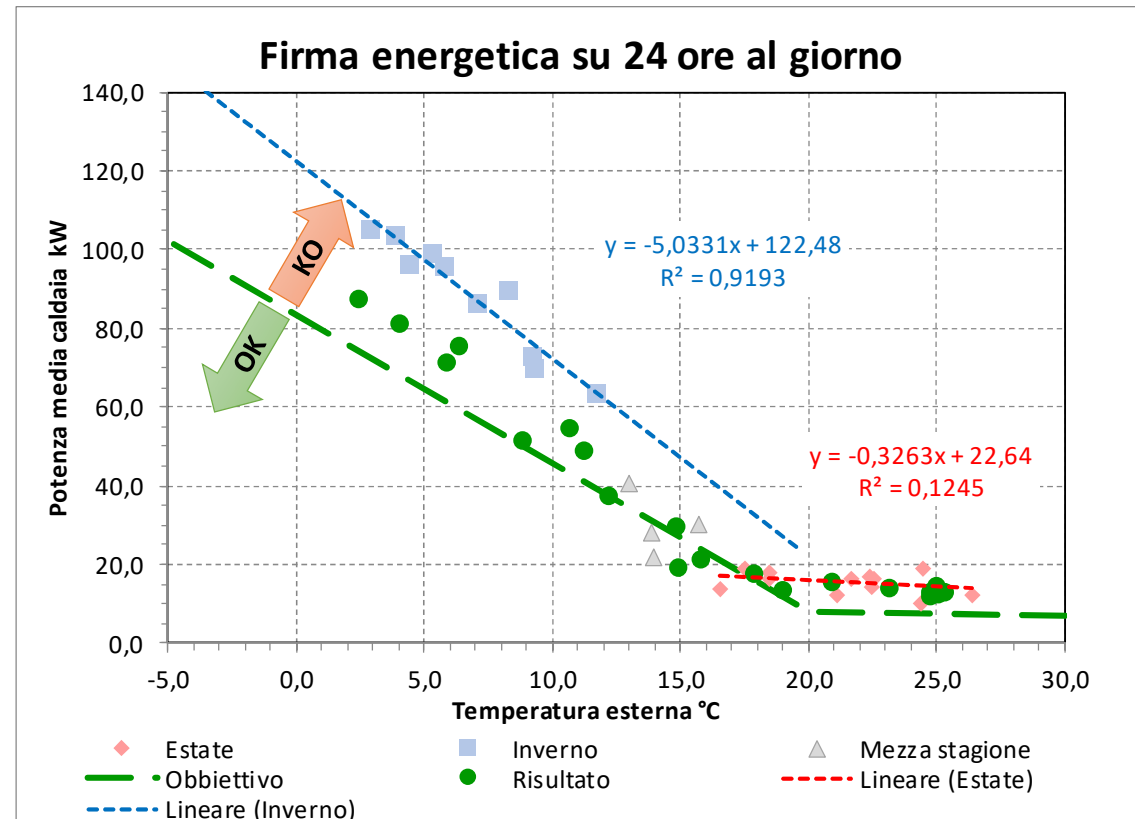
63

RIELLO

In maniera grafica

- Per verificare se la promessa è mantenuta è sufficiente tracciare una linea al 70% della firma energetica rilevata nel periodo di osservazione
- Si vede chiaramente che la maggior parte dei punti sono ben al di sopra della linea obiettivo del -30%

Dal calcolo è risultato -23%
Anziché il -30% promesso



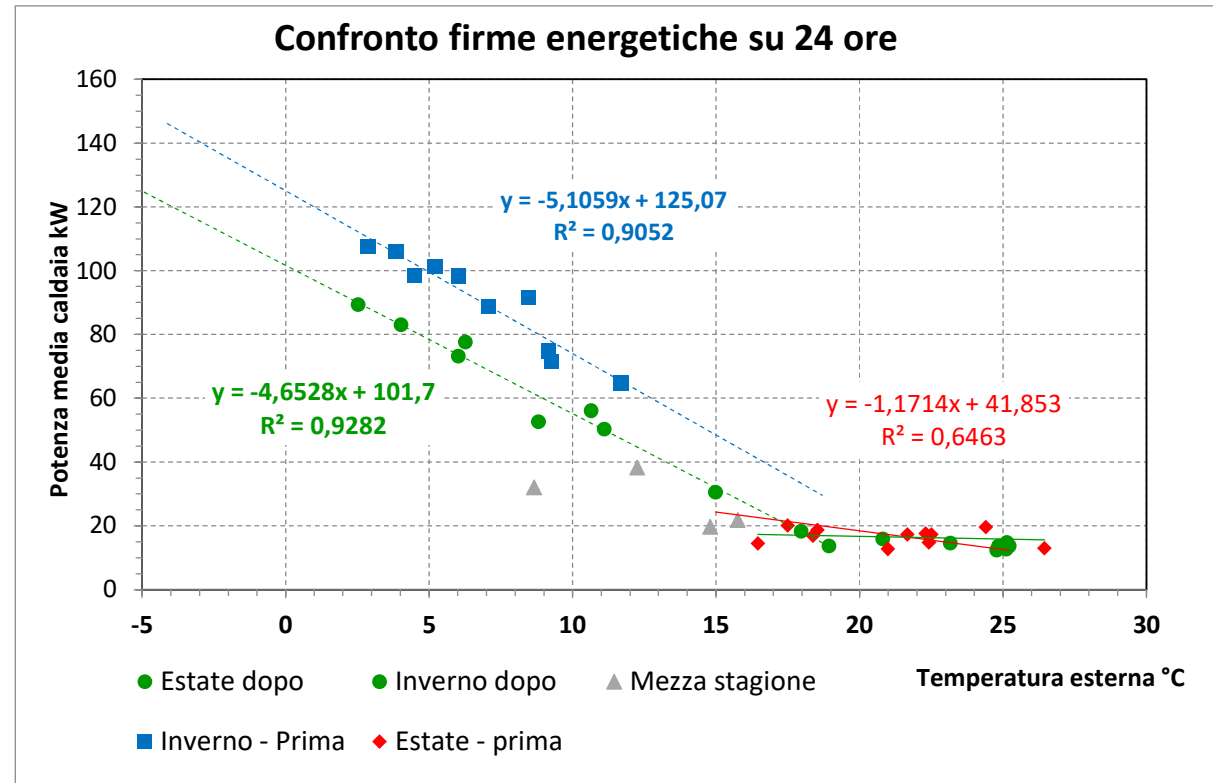
Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

64

RIELLO

Da cosa è dato il risparmio?

- In estate c'è stato pochissimo cambiamento. Le dispersioni dell'anello non cambiano
- In inverno, buona parte della riduzione conseguita è grazie alla temperatura interna più bassa (effetto contabilizzazione)
- La riduzione della pendenza (= efficienza dell'impianto) è data da:
 $(4,65-5,11)/5,11 = -9\%$



Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

65

Uso della firma energetica

In generale, la firma energetica è la presentazione grafica del rapporto fra

- La potenza assorbita dall'impianto (kW elettrici assorbiti dalle pompe)
- L'intensità (velocità) del servizio fornito (portata di acqua in m³/h)

Altri esempi di utilizzo...

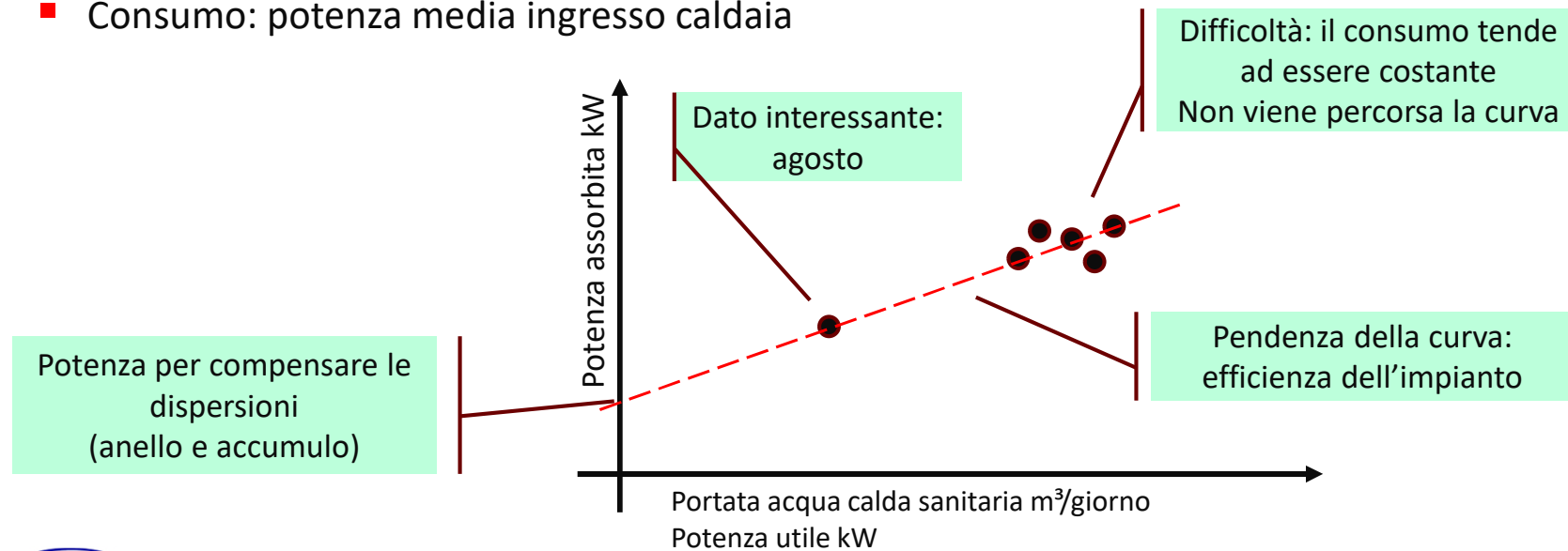
- Anche in raffrescamento, con le misure dell'energia elettrica assorbita da un chiller
- **Per verificare se quanto progettato è stato realizzato:** generare la «firma energetica di progetto» e confrontare i dati misurati con la firma di progetto
(è la stessa tecnica usata nell'esempio precedente, ove la «firma di progetto dell'intervento» è stata ottenuta applicando la riduzione del 30% a quella misurata ante.
- **Per la gestione di un impianto:** confrontare la firma energetica di riferimento con il funzionamento corrente dell'edificio o dell'impianto.



RIELLO

Usò della firma energetica in produzione di acqua calda sanitaria

- Fattore di aggiustamento ordinario: prelievo di acqua calda sanitaria
- Fattore di aggiustamento secondario: temperatura esterna
- Fattore di aggiustamento straordinario: cambio temperatura di produzione
- Potenza utile: portata di acqua calda sanitaria per DT fra punto di misura e acquedotto
- Consumo: potenza media ingresso caldaia



Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

RIELLO

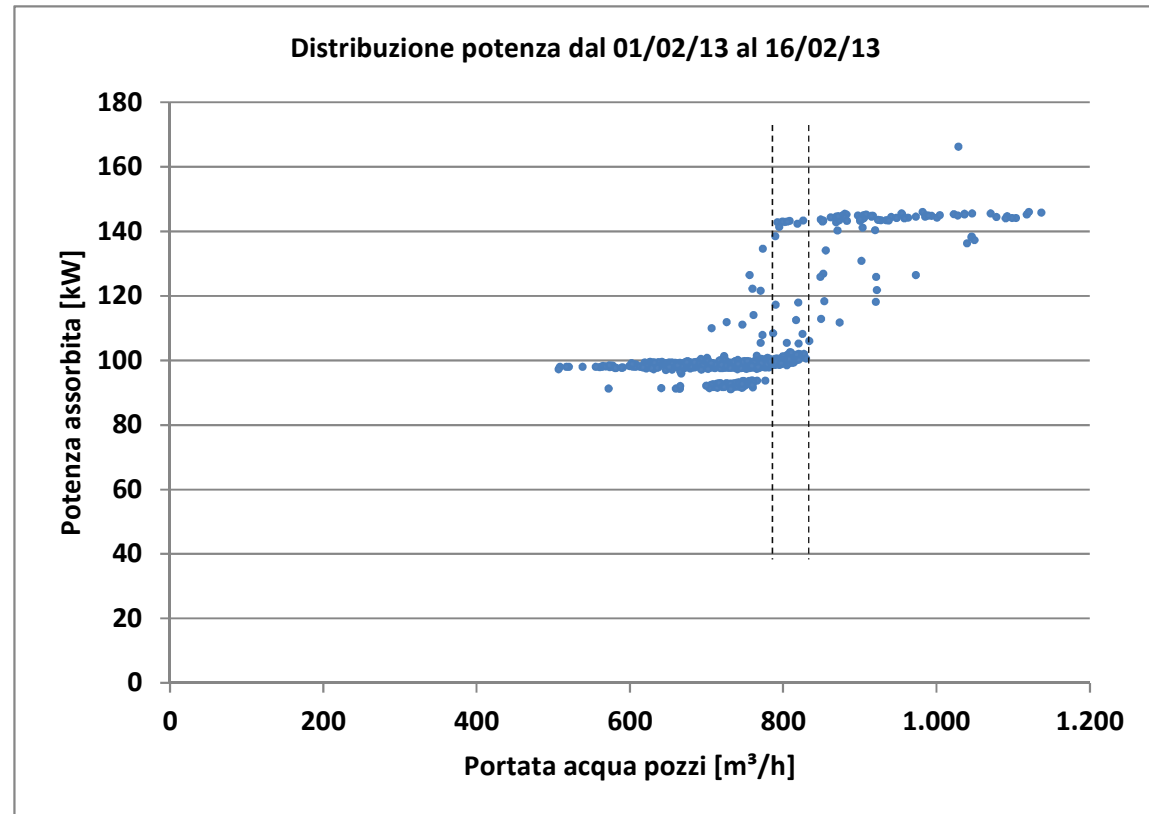
Esempio di utilizzo della firma energetica per la gestione

In generale, la firma energetica è la presentazione grafica del rapporto fra

- La potenza assorbita dall'impianto (kW elettrici assorbiti dalle pompe)
- L'intensità (velocità) del servizio fornito (portata di acqua in m³/h)

Il grafico a lato è stato generato per un gruppo con 5 pompe da circa 50 kW cadauna

Il grafico a lato dovrebbe essere integrato dalla pressione di consegna per valutare fino a che punto si può «tirare il collo» alle pompe prima di inserirne una terza



Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

68

Metodo «D»

D = sito intero, modello fisico

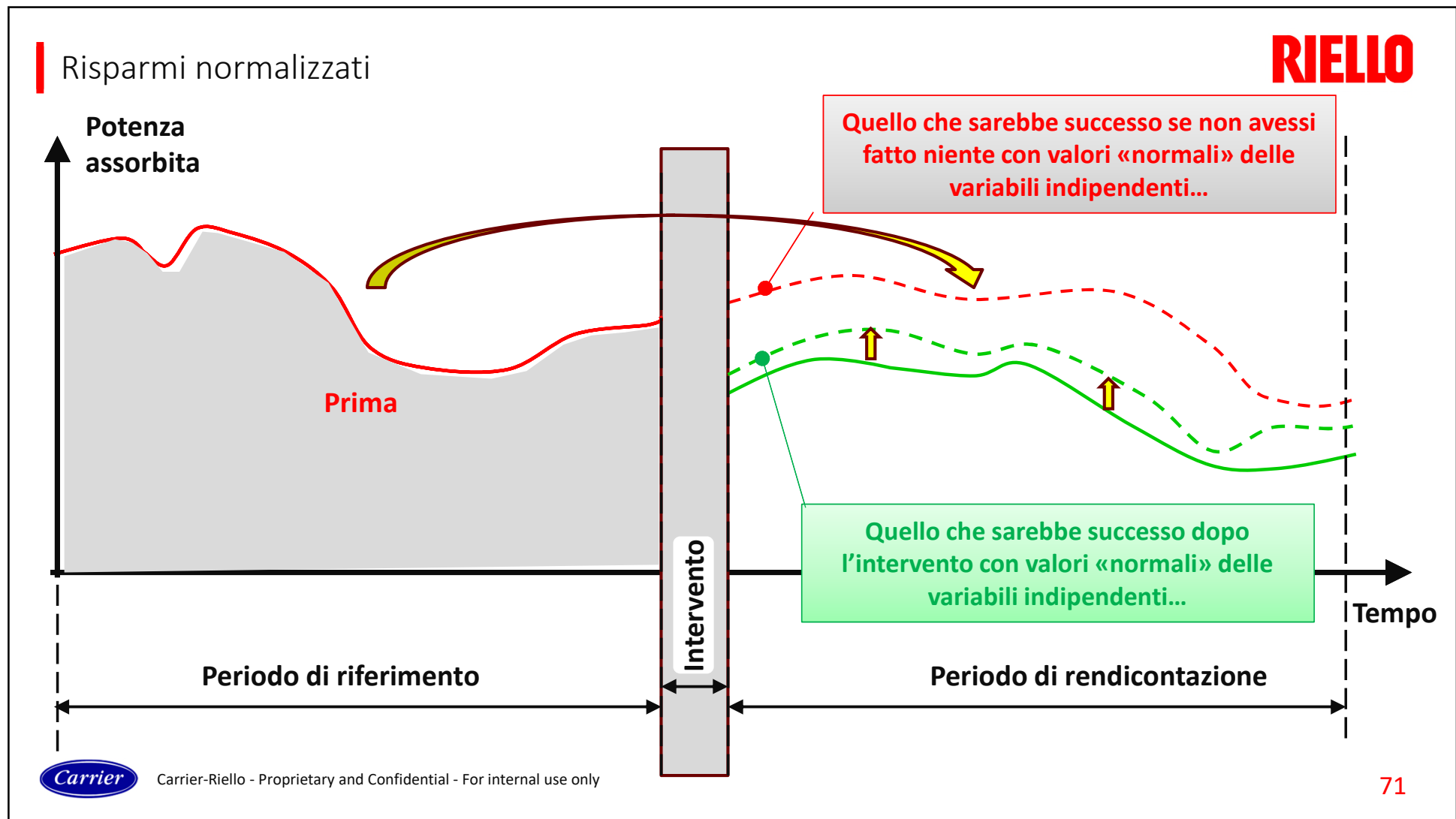
- Modello fondato su leggi fisiche: modello UNI-TS 11300
- Misura tipica su un contatore che alimenta l'intero edificio
- Normalmente facile introdurre aggiustamenti straordinari
- Di solito non ci sono effetti interattivi
- Usato spesso quando non ci sono misure nel periodo di riferimento (**nuovi edifici**)
- Fornisce il dettaglio degli effetti delle singole misure ma occorre precisare l'ordine in cui vengono applicate se si desiderano misure quantitative
- **Richiede un effetto almeno del 10% per emergere dal «rumore»**
- Calibrazione in generale complessa, richiede analisi di sensibilità
- Esempi tipici: confronto di soluzioni costruttive di un nuovo edificio.

Esempio tipico di livello D

Nuovo edificio, valutazione dei risparmi conseguiti con scelte progettuali diverse oppure risparmi conseguiti a seguito di opere di efficientamento e modifiche dell'edificio

- Non esiste un periodo di riferimento valido
- La statistica non è applicabile per mancanza di dati storici
- Occorre un «modello» capace di simulare coerentemente ed equamente le diverse soluzioni proposte e/o quello che sarebbe successo in assenza delle modifiche
- **Il modello deve essere calibrato** sulla base del periodo di osservazione (che diventa di fatto il riferimento)
- Una volta calibrato il modello si può calcolare (confermare) cosa sarebbe successo con soluzioni diverse.





Uso dei risparmi normalizzati

Risparmi normalizzati, confronto fra

- Cosa sarebbe successo nello stato ante-intervento con un andamento «normale» delle variabili indipendenti (clima ed uso di riferimento)
 - Aggiustare il consumo di riferimento alle condizioni normali **con modello ante intervento**
- Cosa sarebbe successo nello stato post-intervento con un andamento «normale» delle variabili indipendenti (clima ed uso di riferimento)
 - Aggiustare il consumo rendicontato alle condizioni normali **con modello post intervento**

Utilizzare i risparmi normalizzati quando una parte non vuole che fattori esterni influenzino il risultato della valutazione

ESEMPIO: Contratto di rendimento energetico di una ESCO remunerato in base ai risparmi energetici.

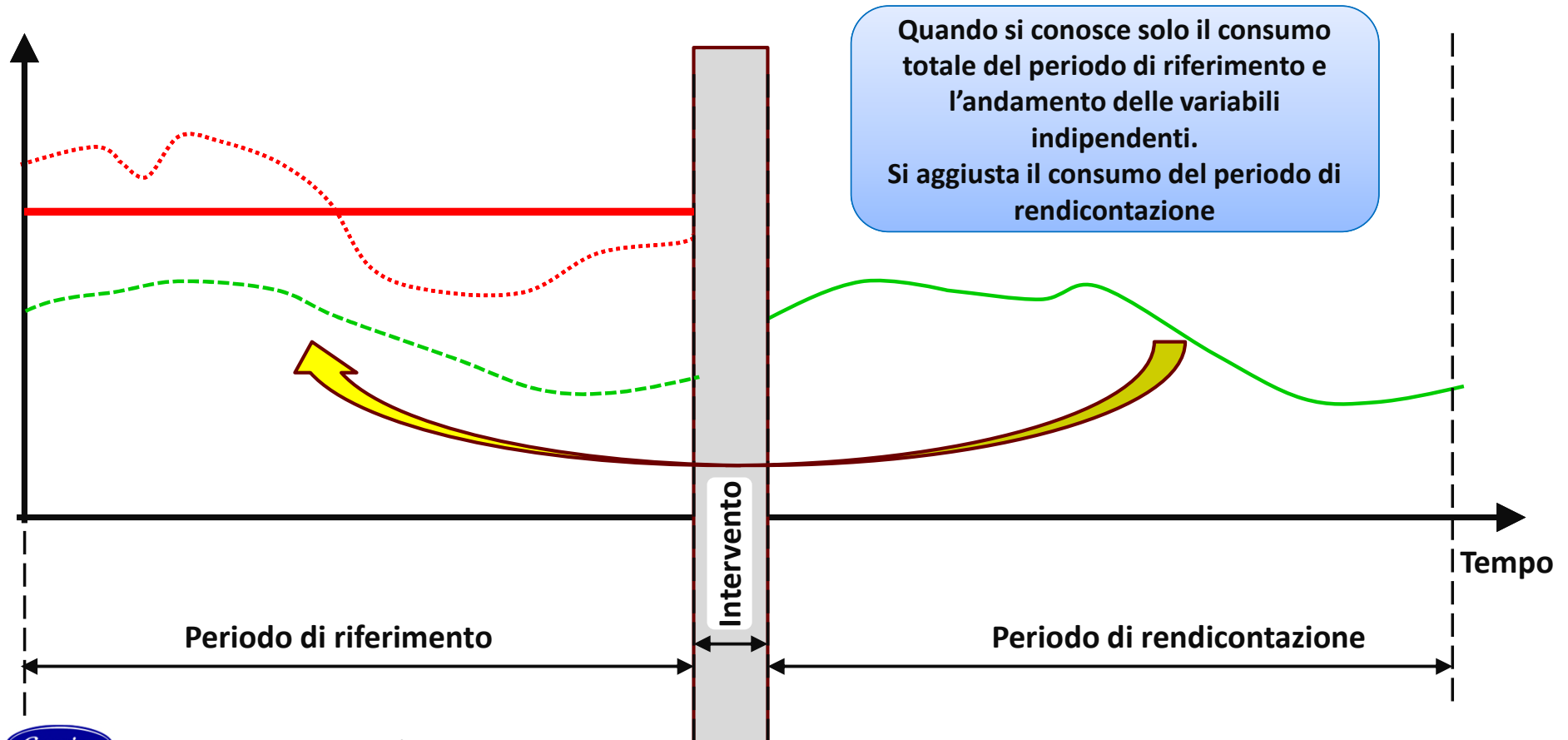
Se non si elimina l'influenza di clima e utilizzo, le parti si assumono un rischio.

O si maggiorano gli importi per sicurezza o si elimina questa influenza indesiderata (costo ulteriore di misura)

→ Valutazione costi benefici

RIELLO

Backcasting – Analisi retrospettiva



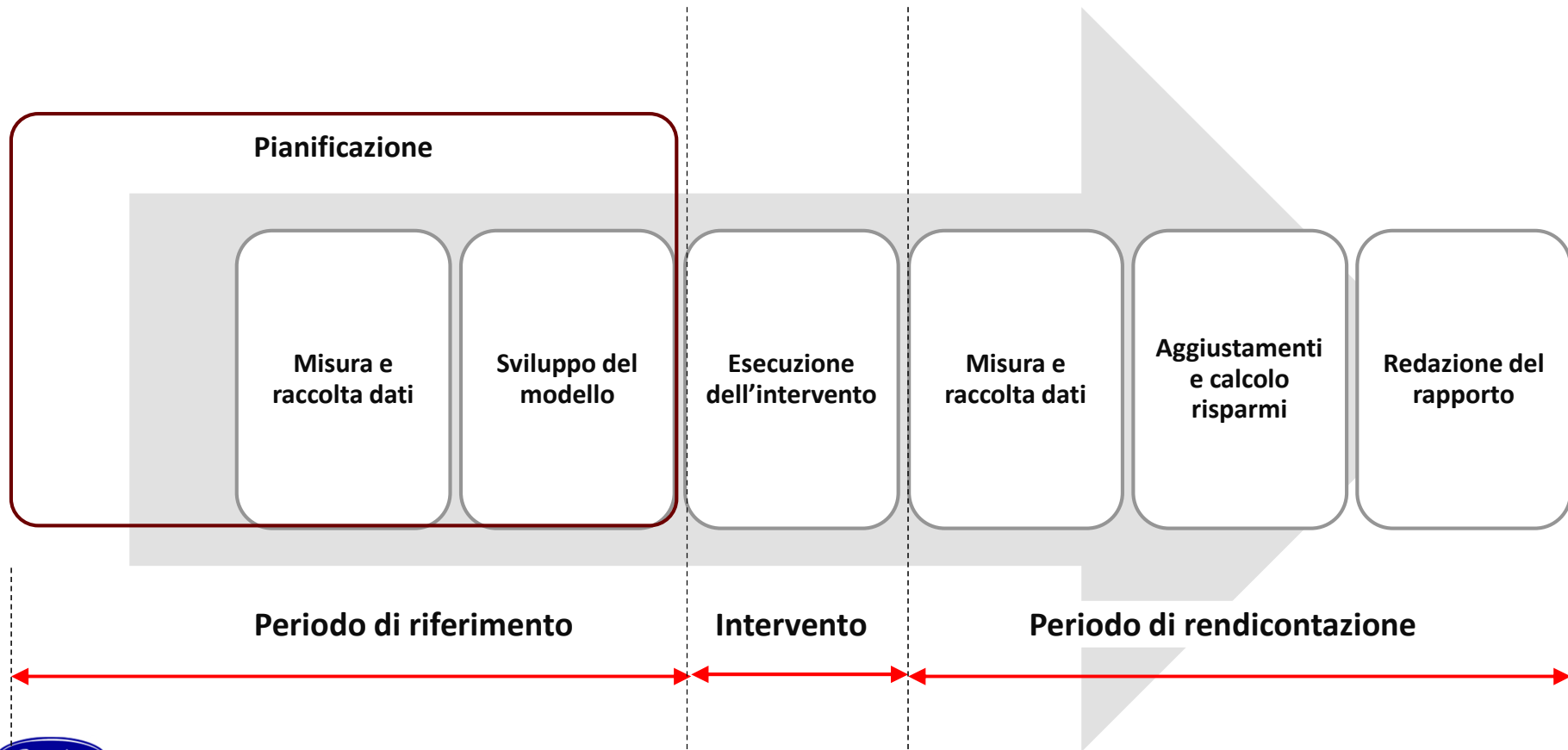
Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

73

| Il percorso formale secondo IPMVP ed altri protocolli simili

- Richiesta la formalizzazione del processo di misura e verifica mediante redazione di un «piano di misura e verifica» in cui si descrivono preventivamente
 - Il processo sotto osservazione e i criteri di identificazione e validazione del modello energetico
 - Le operazioni di misura e le relative responsabilità, sia nelle fasi di osservazione che di rendicontazione
 - I criteri di valutazione del consumo energetico evitato e della sua valorizzazione economica
 - Il formato dei report da produrre, nei quali si evidenziano i risparmi conseguiti
- Il piano di misura e verifica deve essere preventivamente approvato dalle parti interessate (committente, fornitore del servizio di misura, ESCO, eventuali altre parti interessate)
- Tutto il procedimento di misura e verifica è finalizzato alla produzione di un report che permetta di utilizzare i risultati della misura e verifica:
 - Confermare gli obiettivi di risparmio energetico (una tantum)
 - Remunerare un contratto di rendimento energetico (periodico)

Il percorso complessivo per la misura e verifica dei consumi post-intervento



| Il contesto

Una buona pianificazione deve tenere conto di diversi contesti

- **Tecnico:** corretta identificazione del modello
- **Giuridico:** regolamentazione nazionale, locale, incentivi, ...
- **Contrattuale:** contratto di rendimento energetico, ETS, ...
- **Economico:** costo della misura e verifica, costo dei vettori energetici

Non esiste «il piano di monitoraggio e verifica» perfetto

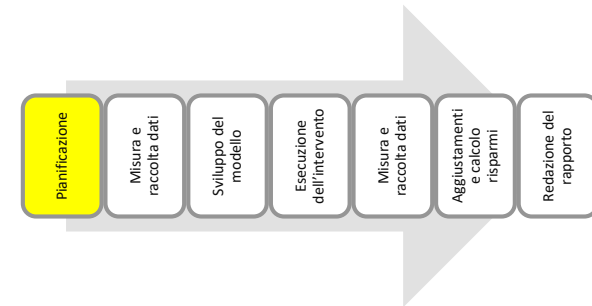
Occorre redigere un **piano** che tenga conto delle esigenze delle **parti coinvolte** e sia per loro accettabile ed **accettato**, tenuto conto del contesto **e dei costi**.



RIELLO

Il piano di misura e verifica

- È il documento che fa da **guida** al processo e **dettaglia l'applicazione del protocollo** di misura e verifica al caso specifico.
- Deve essere **approvato** da tutte le **parti interessate** (soprattutto da committente e fornitore della misura di efficientamento energetico)
- La sua redazione inizia con il processo di misura e verifica ma termina solo alla fine dello sviluppo del modello
- Spesso viene dimenticato e redatto in corso d'opera (troppo tardi...)
- IPMVP fornisce un elenco di contenuti obbligatori
- ➔ **Contesto tecnico: Pensare prima di fare = progettare**
- ➔ **Contesto contrattuale: Ci mettiamo d'accordo prima**



Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

77

Principi guida da applicare nella redazione del piano

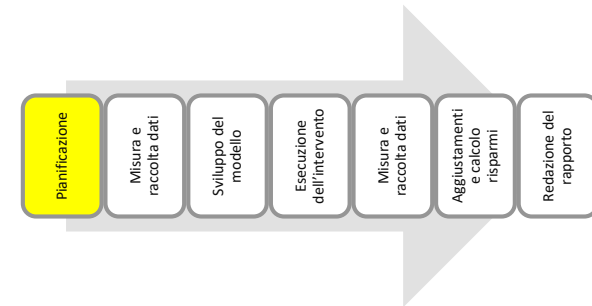
- **Accuratezza** → per quanto possibile e ragionevole sotto il profilo dei costi
- **Coerenza** → tipi di progetti, professionisti, periodi di tempo
- **Completezza** → considerare tutti gli effetti (valutazione effetti interattivi)
- **Conservatività** → evitare sotto o sovrastime dei risparmi
- **Pertinenza** → fondato su misure sull'oggetto osservato
- **Trasparenza** → (tracciabilità) ogni passo deve essere documentato



RIELLO

Il piano di misura e verifica

- Descrizione generale del lavoro
- «**Intento**» = analisi del **contesto** della M&V
→ intervento osservato, parti interessate, contratti, ...
- Selezione dell'**opzione** (A/B/C/D) prevista
- Piano di **misura** per il **periodo di riferimento**
→ identificare variabili dipendenti, indipendenti, fattori di aggiustamento ordinari e straordinari, periodo di riferimento, effetti interattivi, criteri di validazione del modello,
- Requisiti per la verifica della corretta messa in opera della misura di efficienza energetica
- Piano di **misura** per il **periodo di rendicontazione**
- **Criteri di aggiustamento** → consumo evitato, normalizzato → metodi di calcolo
- Procedura di **calcolo dei risparmi** energetici e di risorse **ed esempio di calcolo**
- Criteri di **valutazione economica** → prezzo dei vettori energetici, tassi interesse, ...

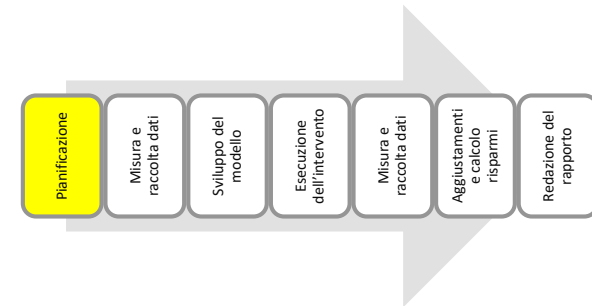


Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

RIELLO

Il piano di misura e verifica

- Dettagli sulle misure: **strumentazione**, periodicità, esigenze di calibrazione, responsabilità
- Monitoraggio e **reportistica**: chi è responsabile della raccolta ed elaborazione dei dati (può essere ripartita fra le varie parti)
- **Accuratezza** attesa: incertezza e livello di confidenza dei risparmi calcolati
- **Budget**: installazione e gestione degli strumenti, raccolta ed elaborazione dei dati
- Contenuti, numero e frequenza dei **rapporti di M&V**: in funzione del contesto
- Garanzia della **qualità**: analisi di rischio, procedure e provvedimenti di mitigazione

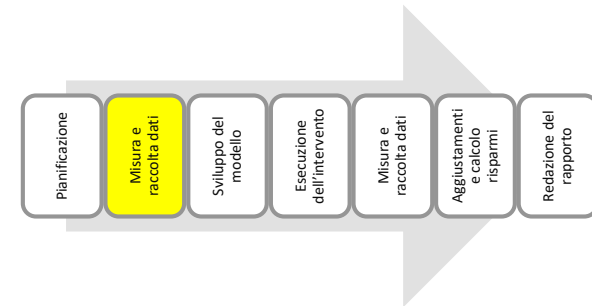


Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

RIELLO

Misura e raccolta dati del periodo di riferimento

- Misura e raccolta dati nel periodo di riferimento
- Deve avvenire **PRIMA** di applicare la misura
- La misura deve coprire almeno un ciclo completo di utilizzo di impianti ed edificio
- La misura deve contenere abbastanza dati per costruire / validare il modello
- La misura deve anche confermare il livello del servizio
- **Spesso trascurate e dimenticate in fase di pianificazione**
- A volte può consistere nella semplice raccolta delle fatture con i dati di consumo oppure nello scaricamento dei dati del portale consumi e dei dati climatici
- Da svolgere in base al piano di misura e verifica
- Deve essere chiara la responsabilità dell'esecuzione delle misure (mantenimento strumentazione in esercizio, letture dati, archiviazione dati, ...)

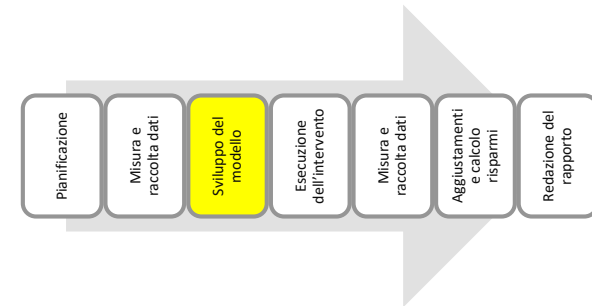


Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

RIELLO

Costruzione del modello

- Il modello può essere statistico o fisico
- Il modello deve essere validato:
 - Alimentandolo con l'uso storico (periodo di riferimento) deve fornire i consumi storici
 - Per i modelli statistici, soglie degli indicatori raccomandate:
 - $R^2 > 0,85$ → correlazione con la variabile principale.
In alcuni casi potrebbe essere non significativo (la variabile non ha influenza in determinati modi)
 - $CVRMSE < 15\%$ → «rumore» atteso, incertezza al 95% di confidenza del modello.
 - **Errore medio** (bias) = 0 → il modello non deve sistematicamente sovra o sottostimare i consumi.
- Il modello deve permettere l'esecuzione degli aggiustamenti straordinari prevedibili.

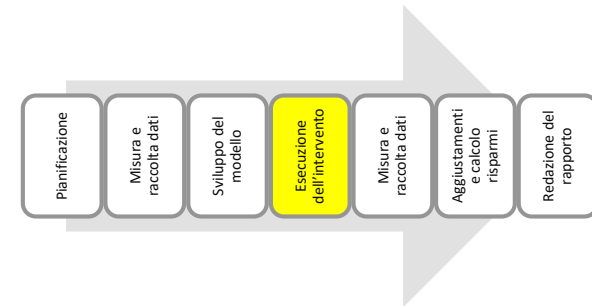


Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

RIELLO

Esecuzione della misura di efficientamento

- Gli interventi devono essere eseguiti solo **dopo**
 - la raccolta dei dati necessari a costruire il modello
 - l'esecuzione della validazione del modello
- La messa in opera della misura di miglioramento dell'efficienza energetica dovrebbe essere assoggettata a **Commissioning** completo per garantire la corretta messa in opera, messa a punto e collaudo della misura di efficientamento energetico.

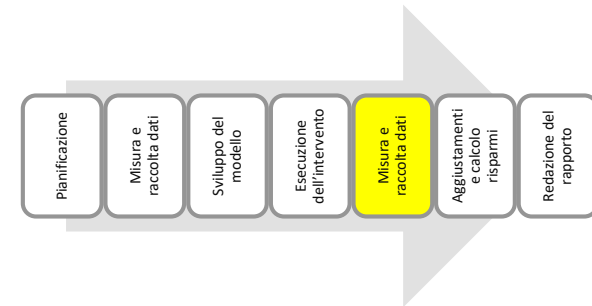


Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

RIELLO

Esecuzione delle misure nel periodo di rendicontazione

- Le misure devono essere sufficienti a costruire report validi
- La durata delle misure dipende dal contesto
Spesso si inizia con frequenze elevate
poi può essere sufficiente garantire una frequenza inferiore per la verifica del mantenimento della prestazione nel tempo
- Il piano dirà cosa e con che frequenza misurare
- Occorre misurare innanzitutto l'energia ed i fattori di aggiustamento ordinari
I fattori di aggiustamento straordinari devono anche loro essere tenuti sotto controllo
- Deve essere chiara la responsabilità dell'esecuzione delle misure
(mantenimento strumentazione in esercizio, letture dati, archiviazione dati, ...)

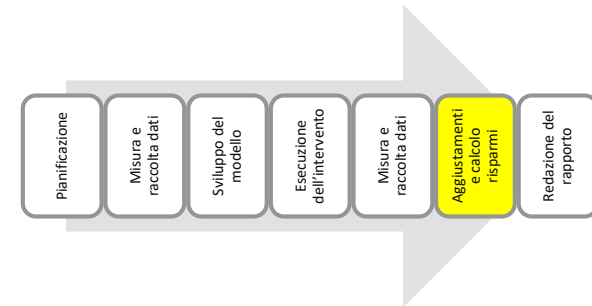


Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

RIELLO

Esecuzione degli aggiustamenti e calcolo dei risparmi

- Occorre utilizzare il modello per calcolare
 - Il consumo di riferimento aggiustato
 - I risparmi energetici e/o di risorse
- L'applicazione dei fattori di aggiustamento ordinari dovrebbe essere automatica in base metodo previsto nel piano di misura e verifica.
- Occorre sorvegliare i valori dei fattori di aggiustamento straordinari. Se variano, di solito le correzioni si fanno manualmente o con procedura determinata in base al caso specifico.
- Parte dei risparmi possono essere mascherati dall'aver ripristinato livelli di servizio adeguati.

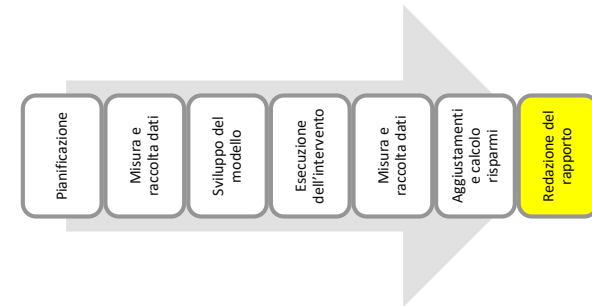


Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

RIELLO

Produzione e consegna dei report

- Tutto il procedimento di misura e verifica è finalizzato alla produzione di un report che permetta di utilizzare i risultati della misura e verifica
 - Confermare gli obiettivi di risparmio energetico (una tantum)
 - Remunerare un contratto di rendimento energetico (periodico)
- Il numero e la periodicità dei report dipende dal contesto
 - Da un solo report a valle della sostituzione delle lampade...
 - ... a un report all'anno per tutta la durata di un contratto di rendimento energetico
- Il contenuto del report deve focalizzarsi su ciò che serve alle parti interessate



Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only

Per andare oltre

Liberamente scaricabili da internet

- **IPMVP:** <https://fire-italia.org/ipmvp/> *International Performance Measurement and Verification Protocol*
- **FEMP:** https://www.energy.gov/sites/default/files/2016/01/f28/mv_guide_4_0.pdf
Federal Energy Management Program
- **Bonneville Power Administration**
 - Measurement & Verification (M&V) Protocol Selection Guide and Example M&V Plan
 - Regression for M&V: Reference Guide
 - <https://www.bpa.gov/energy-and-services/efficiency/document-library>

Da acquistare

- **Ashrae** guideline 14 - Measurement of Energy, Demand, and Water Savings
- **Norme ISO:** in fase di sviluppo
- **NSW** (New South Wales - Australia) **guidelines**



Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only



Ex-ante o ex-post? Carta o misura? Teoria o pratica?

- Attualmente gli incentivi vengono per lo più concessi con criteri fondati su:
 - Prova cartacea (APE prima e dopo)
 - Prove ex-ante: prestazione «certificate» dei prodotti
- Qualche volta sono concessi in base a misure → GSE richiede sì monitoraggi ma procedure rigide, molti certificati e uscire dai casi tipici è molto difficile

E se nel settore degli edifici si legassero gli incentivi e la loro entità ai risparmi conseguiti a fronte della presentazione preventiva ed esecuzione di piano di M&V fondato sulla firma energetica?

Forse sarebbe istruttivo per tutti, proteggerebbe i committenti e garantirebbe un uso decente delle risorse pubbliche



Carrier-Riello - Proprietary and Confidential - For internal use only