

Dott. Mag. David Capaccioli

**ANALISI STATISTICA PER IL CONTROLLO E L'OTTIMIZZAZIONE
DELLO STATO AMBIENTALE E DEL CONSUMO ENERGETICO DI
GAS METANO DI UNA STRUTTURA COMPLESSA**

08 Maggio 2013

INDICE

Introduzione		Pag. 1
1 I dati oggetto dell'analisi		Pag. 2
2 Analisi dei dati tramite indicatori statistici		Pag. 3
3 Analisi dei dati tramite modelli statistici		
3.1 Modelli di analisi della varianza.....		Pag. 5
3.2 Modello di analisi della covarianza	»	6
4 Interpretazione dei risultati ottenuti		Pag. 9
5 Decisioni strategiche		Pag. 10
6 Verifica delle strategie adottate: risparmio energetico effettivo		
6.1 Consumo energetico previsto correlato alle variabili metereologiche e al livello di occupazione.....		Pag. 11
6.2 Quantificazione del risparmio energetico effettivo	»	12
 Appendice	 Fogli di calcolo elettronici, tabelle e grafici attinenti alla metodologia statistica adottata	

Introduzione

Si analizza uno **strumento** realizzato attraverso la costruzione di indicatori e modelli statistici, il quale consente di **spiegare l'andamento** delle **temperature** nei mesi invernali all'interno dei locali di una qualsiasi struttura complessa (composta cioè da un elevato numero di stanze diverse tra loro).

La sperimentazione di tale strumento è stata effettuata su una particolare struttura, caratterizzata da ampia metratura, composta da molte stanze, corridoi e suddivisa in due ali ed estesa su cinque piani, nella quale un'associazione accoglie ospiti (generalmente anziani) autosufficienti.

L'**obiettivo** che abbiamo **raggiunto** è stato quello di **controllare** ed **ottimizzare** le **temperature** all'interno dei locali, consentendo all'edificio stesso, tramite la regolazione mirata delle caldaie e dei riscaldamenti, dunque **senza** l'apporto di **modifiche strutturali** dell'edificio, sia **uniformità di temperatura** tra i vari locali, che è condizione ideale per chi vi risiede (basti pensare alla **legge sulla sicurezza** riguardante **microclima** e **stress termico** da temperatura), sia un notevole **risparmio energetico** (si parla di una previsione di risparmio stimabile intorno al 33%).

Il vantaggio fondamentale di tale strumento, ossia di un'analisi statistica di questo tipo, si può concretizzare nel fatto che, innanzitutto, dobbiamo considerare il **risparmio energetico** ottenuto come un valore di tipo **dinamico**, che si ripeterà cioè per ogni anno a venire (e non una sola volta); inoltre, considerando i fini perseguiti (si parla chiaramente sempre di stato ambientale e risparmio energetico), **aggiornando** con i dati futuri i modelli statistici, quest'ultimi forniranno **previsioni** sempre più **corrette**, consentendoci di prendere **decisioni strategiche**, relativamente alla regolazione di riscaldamenti e caldaie, sempre più **ottimali**.

Di seguito verrà spiegato a livello più dettagliato, con l'ausilio anche di una vasta serie di fogli di calcolo elettronici, tabelle e grafici, consultabili in appendice, la **metodologia** adottata¹ per ottenere tali **risultati**, in modo da avvalorare accuratezza e veracità dello studio svolto.

¹ Nelle note talvolta sono previste anche informazioni di natura estremamente tecnica che possono tranquillamente essere non considerate a discrezione dell'utente.

1 I dati oggetto dell'analisi

Si osservi la matrice dei dati oggetto dell'analisi effettuata (**fig.1**): le unità statistiche che compongono il campione sono le “stanze/zone” in cui avvengono le rilevazioni, la numerosità campionaria n è pari a 106 rilevazioni²; la validità dello strumento che stiamo analizzando verte sullo studio incrociato di 6 **variabili**, cioè caratteristiche le cui modalità (i dati appunto) sono state rilevate su ciascuna stanza/zona appartenente al campione, e 5 **fattori**, definibili come caratteristiche delle unità statistiche (le stanze/zone) le cui modalità, dette livelli, assumono valori interi appartenenti ad un intervallo finito.

Le **variabili** in questione sono: temperatura in gradi centigradi rilevata nelle stanze/zone appartenenti al campione (che a livello immediato indica la **non-uniformità** tra i locali della struttura (**fig.2**)), numero degli elementi dei riscaldamenti, regolazione dei riscaldamenti, dimensione delle stanze, numero finestre/portefinestre, apertura delle finestre/portefinestre in metri lineari.

I **fattori** in questione, come si può esaminare a livello dettagliato (**fig.3**), sono:

- 1) piano in cui si trova la stanza/zona in cui è avvenuta la rilevazione, composto da 5 livelli (1 = piano terra, 2 = piano primo, 3 = piano secondo, 4 = piano terzo, 5 = piano quarto).
- 2) Ala dell'edificio contenente la stanza/zona, composto da 2 livelli (1 = ala centrale, 2 = ala laterale).
- 3) Periodo di tempo in cui avviene la rilevazione, composto da 2 livelli (1 = Dicembre (freddo moderato), 2 = Gennaio (freddo intenso)).
- 4) Orientamento della stanza/zona, composto da 4 livelli (1 = Nord, 2 = Sud, 3 = Est, 4 = Ovest).
- 5) area dei piani, composto da 5 livelli (1 = Ala centrale sinistra, 2 = Ala centrale destra, 3 = Ala centrale anteriore, 4 = Ala laterale anteriore, 5 = Ala centrale posteriore).

² Si noti che se il campione è composto da $n = 106$ stanze in cui avvengono le rilevazioni questo non significa che i dati si riferiscono a 106 locali diversi tra loro, infatti come osserveremo due rilevazioni possono essere state effettuate anche sullo stesso locale, magari in tempi diversi.

2 Analisi dei dati tramite indicatori statistici

Si elaborano i dati in una serie di tabelle e grafici che forniscono appropriati **indicatori statistici**³ che segnalano:

- 1) Come varia la temperatura entro ciascun piano e tra i piani (**fig.4 e fig.5**): il grafico presenta alcune linee orientate in senso verticale in cui viene evidenziato un pallino; quest'ultimo presenta il valore mediano del fenomeno, la linea invece, indicando ai suoi estremi il valore massimo e minimo, rappresenta la variabilità del fenomeno (è preferibile perciò, a prescindere dal valore mediano che deve essere nella norma, una linea più corta che indica minore variabilità della temperatura tra i vari locali)
- 2) Come varia la temperatura entro ciascuna ala e tra le ali (**fig.8 e fig.9**).
- 3) Come varia la temperatura entro il tempo di rilevazione e quindi tra i vari momenti di rilevazione (**fig.12 e fig.13**).
- 4) Come varia la temperatura entro l'orientamento delle stanze e tra l'orientamento delle stanze (**fig.16 e fig.17**).

³ **Media campionaria** (valore atteso): singolo valore numerico che descrive sinteticamente un insieme di dati campionari; in generale la media ha lo scopo di fornire un'idea dell'ordine di grandezza del fenomeno oggetto dell'indagine. $\bar{X} = (1/n) \sum_{i=1}^n X_i$ (i = 1, ..., n)

Mediana campionaria $X_{0.5}$ valore assunto dalle unità statistiche (oppure dalla singola unità) che si trovano nel mezzo della distribuzione campionaria, ordinata in senso crescente, della variabile quantitativa.

Asimmetria : valore che fornisce una misura della mancanza di simmetria della distribuzione intorno ad un valore fissato X_0

$$\beta_3 = E\left[\frac{(X-\mu)^3}{\sigma^3}\right] = \mu_3 \text{ momento terzo standardizzato}$$

Una distribuzione è simmetrica se $\beta_3 = 0$ (condizione necessaria ma non sufficiente) e se il valore atteso, la mediana e la moda statistica (modalità della variabile alla quale è associata la frequenza più alta) coincidono tra loro (ad esempio in una distribuzione normale).

Una distribuzione è asimmetrica positivamente se $\beta_3 > 0$

Una distribuzione è asimmetrica negativamente se $\beta_3 < 0$

Curtosi: valore che fornisce una misura dello spessore delle code di una funzione di densità, ovvero il grado di "appiattimento" di una distribuzione (allontanamento dalla normalità distributiva).

$$B_4 = E\left[\frac{(X-\mu)^4}{\sigma^4}\right] = \mu_4 \text{ momento quarto standardizzato}$$

Una distribuzione viene detta normale se $\beta_4 = 3$

Una distribuzione viene detta leptocurtica se $\beta_4 > 0$

Una distribuzione viene detta platicurtica se $\beta_4 < 0$

Deviazione standard (e.s) campionaria: valore che misura la dispersione dei dati intorno al loro valore atteso (media campionaria) $S = \text{radq}\left\{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{(n-1)}\right\}$

- 5) Come varia la temperatura entro le aree dei piani in cui si trovano le stanze e tra le aree dei piani (**fig.20 e fig.21**).
- 6) Come varia il numero degli elementi dei riscaldamenti entro i piani e tra i piani (**fig.24 e fig.25**).
- 7) Come varia il numero degli elementi dei riscaldamenti entro ciascuna ala e tra le ali (**fig.28 e fig.29**).
- 8) Come varia il numero degli elementi dei riscaldamenti entro l'orientamento delle stanze e tra l'orientamento delle stanze (**fig.32 e fig.33**).
- 9) Come varia la temperatura entro le aree dei piani in cui si trovano le stanze e tra le aree dei piani (**fig.36 e fig.37**).
- 10) Come varia la regolazione dei riscaldamenti entro i piani e tra i piani (**fig.40 e fig.41**).
- 11) Come varia la regolazione dei riscaldamenti entro ciascuna ala e tra le ali (**fig.44 e fig.45**).
- 12) Come varia la regolazione dei riscaldamenti entro il tempo di rilevazione e tra i vari momenti di rilevazione (**fig.48 e fig.49**).
- 13) Come varia la regolazione dei riscaldamenti entro l'orientamento delle stanze e tra le stanze (**fig.52 e fig.53**).
- 14) Come varia la regolazione dei riscaldamenti entro le aree dei piani in cui si trovano le stanze e tra le aree dei piani (**fig.56 e fig.57**).

Gli indici proposti segnalano che la **variabilità della temperatura** all'interno dell'edificio è in larga parte **non casuale**, si intravede che la componente sistematica è rilevante, in poche parole tale variabilità ha una spiegazione: trovandola saremmo in grado di ottimizzare tale situazione, consentendo uniformità di temperatura tra i locali, e, conseguentemente, otterremmo un cospicuo risparmio energetico.

Per **spiegare la variabilità del fenomeno** oggetto di studio, ossia capire i motivi della variabilità delle temperature dell'edificio e di conseguenza ottimizzarle, si costruisce una serie di **modelli statistici**.

3 Analisi dei dati tramite modelli statistici

3.1 Modelli di analisi della varianza

Si fornisce una serie di modelli di analisi della varianza in cui i fattori prima descritti vengono analizzati singolarmente, rispetto alle variabili risposta “temperatura”, “numero elementi dei riscaldamenti”, “regolazione dei riscaldamenti” (...)⁴: questi modelli non esprimono molto per la globalità del fenomeno⁵, ma ci suggeriscono, tuttavia, che potrebbe essere estremamente interessante considerare tutte le variabili ed i fattori non più singolarmente, ma a livello complessivo (cioè tutte insieme).

Dopo aver costruito il modello generale, si omettono le variabili ed i fattori **non-significativi**⁶, si inseriscono eventuali **interazioni**⁷ tra variabili e fattori, eventualmente si inseriscono anche i **termini quadratici**⁸; a questo punto si inseriscono di nuovo, una per volta, le variabili ed i fattori omessi in precedenza, se quest’ultimi risultano non-significativi ancora una volta, allora il modello è finito.

Nel nostro caso si arriva ad un particolare modello che verrà esaminato qui di seguito.

⁴ (fig.6 e 7, fig.10 e 11, fig.14 e 15, fig.18 e 19, fig.22 e 23, fig.26 e 27, fig.30 e 31, fig.34 e 35, fig.38 e 39, fig.42 e 43, fig.46 e 47, fig.50 e 51, fig.54 e 55, fig.58 e 59)

⁵ Si osserva infatti innanzitutto che i rispettivi **indici di determinazione lineare** R^2 assumono valori non sufficientemente vicini a 1,00 (tale indice assume un valore che varia nell’intervallo che va da 0,00 a 1,00), inoltre anche i rispettivi **p-value** non assumono spesso valori vicini allo zero.

⁶ Si ricorda che, una variabile o un fattore risultano **significativi** se i rispettivi **p-value**, calcolati in base ai test **t** ed **F** (relativamente alla propria deviazione standard, alla stima dei propri parametri e alla scomposizione della loro variabilità), assumono valori il più vicino possibile a 0.

Si apre una **breve parentesi** per ricordare che il **p-value** è la probabilità che la variabile casuale test assuma un valore più estremo di quello osservato: se il p-value assume un valore alto (generalmente maggiore di 0,10), tale valore si colloca, per livelli di significatività del test bassi (cioè la probabilità di rifiutare ipotesi nulla H_0 quando è vera, ad esempio $\alpha = 0,05$ oppure $\alpha = 0,01$), nella zona di accettazione di $H_0 : \beta_j = 0$, ciò implica che il parametro β_j risulta non-significativo; viceversa se il p-value assume un valore basso (generalmente intorno o minore di 0,01), tale valore si colloca, per livelli di significatività del test comunque bassi (ad esempio $\alpha = 0,05$), nella zona di rifiuto di $H_0 : \beta_j = 0$, e questo implica che stavolta il parametro β_j risulta significativo.

⁷ A differenza della **correlazione** tra due variabili che indica in che modo esse variano contemporaneamente, l’**interazione** tra due variabili assume un concetto più complesso: il far variare una variabile risposta da parte una variabile esplicativa dipende da un’altra variabile esplicativa e viceversa.

⁸ In caso di andamento non propriamente lineare della variabile esaminata (il termine quadratico implica che una variabile si adatti in sintesi all’andamento di una parabola).

3.2 Modello di analisi della covarianza

Si costruisce un modello di analisi della covarianza in cui la variabile risposta è la “temperatura”, si assume una variabile esplicativa che è la “regolazione dei riscaldamenti”, si assumono 3 fattori (“Piano dell’edificio”, “Ala dell’edificio”, “Tempo di rilevazione”) ed un’interazione tra “Ala” e “regolazione dei riscaldamenti”.

Modello di analisi della covarianza con 1 variabile, 3 fattori e 1 interazione					
$Y_i =$	$\mu_{kht[i]}$	$+$	$\beta_1 x_{i2}$	$+$	$\gamma_{h[i]} x_{i2} + \epsilon_i$
$Y_i =$	μ	$+$	$\pi_{k[i]}$	$+$	$\alpha_{h[i]} + \theta_{t[i]} + \beta_1 x_{i2} + \gamma_{h[i]} x_{i2} + \epsilon_i$

Si riportano i dati relativi alla stima dei parametri associati alle variabili e ai fattori coinvolti e l’analisi della tavola della varianza (ANOVA), ossia la tabella riepilogativa della scomposizione della variabilità:

Tabella dei coefficienti stimati per il Modello di analisi della covarianza				
Parameter	Estimate	Standard Error	t - value	p - value
μ	17,2881	0,4424	39,0780	0,000000
π_1	0,0000			
π_2	2,1813	0,3729	5,8496	0,000000
π_3	1,5583	0,3399	4,5846	0,000014
π_4	1,5645	0,3345	4,6771	0,000009
π_5	0,5737	0,3611	1,5888	0,115370
α_1	0,0000			
α_2	1,0657	0,7382	1,4436	0,152060
θ_1	0,0000			
θ_2	0,6733	0,1989	3,3851	0,001028

β_1	0,5821	0,1042	5,5864	0,000000
Y_1	0,0000			
Y_2	-0,8393	0,1883	-4,4572	0,000022

ANOVA relativa a Modello di analisi della covarianza					
Fonte di varianza	Df	Sum Sq	Mean Sq	F - value	p - value
variabile X_2 = regolaz riscaldamenti	1	15,7870	15,787000	15,402571	0,00016239
Fattore P = piano	4	24,1590	6,039750	5,892676	0,00027455
Fattore A = ala	1	83,0150	83,015000	80,993502	0,00000000
Fattore T = tempo	1	11,4860	11,486000	11,206305	0,00116134
Interazione tra X_2 e A	1	20,3630	20,363000	19,867141	0,00002230
errore	97	99,4210	1,024959	15,402571	0,00016239

Il modello in questione (**fig.60**) si **adatta**⁹ piuttosto **bene** alla successione dei dati; per questo motivo è possibile, attraverso le previsioni, calcolare la temperatura effettiva in funzione della regolazione dei riscaldamenti, suddivisa per piano, per ala, per intervallo temporale (a titolo esemplificativo possiamo osservare nella tabella sottostante le temperature (in °C) previste nel caso in cui i riscaldamenti fossero regolati a 2,50), ed è possibile di conseguenza uniformarla in modo da **ottimizzare** lo **stato ambientale** della struttura in questione e, chiaramente, ottenere un considerevole **risparmio energetico**.

Oltre ad uniformare la temperatura nei locali si può anche analizzare in maniera specifica i risultati fornitoci dal modello, dando un'interpretazione logica a tali risultati in modo da intervenire, eventualmente, sulla struttura in maniera mirata.

L'interpretazione dei risultati ottenuti sarà argomento del prossimo paragrafo.

⁹ Si possono osservare i valori relativi alla stima dei parametri (con le rispettive deviazioni standard), l'**indice di determinazione lineare** R^2 , i valori assunti dai **test F di significatività** con i rispettivi **p-value** che assumono valori estremamente vicini allo zero.

P	A	T	y_i^{\wedge}	
1	1	1	y_i^{\wedge}	= 18,7434
1	1	2	y_i^{\wedge}	= 19,4167
1	2	1	y_i^{\wedge}	= 17,7108
1	2	2	y_i^{\wedge}	= 18,3841
2	1	1	y_i^{\wedge}	= 20,9247
2	1	2	y_i^{\wedge}	= 21,5980
2	2	1	y_i^{\wedge}	= 19,8921
2	2	2	y_i^{\wedge}	= 20,5654
3	1	1	y_i^{\wedge}	= 20,3017
3	1	2	y_i^{\wedge}	= 20,9750
3	2	1	y_i^{\wedge}	= 19,2691
3	2	2	y_i^{\wedge}	= 19,9424
4	1	1	y_i^{\wedge}	= 20,3079
4	1	2	y_i^{\wedge}	= 20,9812
4	2	1	y_i^{\wedge}	= 19,2753
4	2	2	y_i^{\wedge}	= 19,9486
5	1	1	y_i^{\wedge}	= 19,3171
5	1	2	y_i^{\wedge}	= 19,9904
5	2	1	y_i^{\wedge}	= 18,2845
5	2	2	y_i^{\wedge}	= 18,9578

4 Interpretazione dei risultati ottenuti

Le previsioni forniteci dal modello adattato ai dati mostrano, per quanto riguarda la variabilità termica all'interno della struttura, **due aspetti** molto interessanti:

1) a parità di regolazione dei riscaldamenti, i locali presenti nell'ala laterale della struttura presentano temperature complessivamente più basse: questo dipende ovviamente dal maggiore isolamento termico dovuto al cappotto, presente solo nell'ala centrale, e dalla diversa forma ed esposizione a venti freddi di tramontana; la cosa però interessante è che aumentando la regolazione dei riscaldamenti il divario fra le due zone non solo non è proporzionale, ma aumenta sempre di più¹⁰: l'unica spiegazione a tale fenomeno si può intravedere nel fatto che per qualche motivo l'ala laterale sia penalizzata da qualche fattore tecnico intrinseco alla distribuzione del calore da parte dell'impianto termico.

2) A parità di regolazione dei riscaldamenti, i locali presenti nell'edificio presentano temperature globalmente più alte nei periodi di freddo intenso rispetto a periodi di freddo moderato: anche questa volta la spiegazione va ricercata nella struttura dell'impianto termico; in questo caso particolare, l'andamento del fenomeno è collegato ai sensori dell'impianto stesso, che nei periodi più freddi provvedono a far attivare automaticamente il riscaldamento per scansioni temporali prolungate, consentendo alla struttura di mantenere, anche se può sembrare un paradosso, una temperatura più alta.

Alla luce di queste considerazioni è possibile, dunque, effettuando a livello tecnico (non strutturale) **interventi mirati** sull'impianto termico, **ottimizzare**, in maniera ancora più marcata, uniformità di temperatura, stato ambientale e risparmio energetico.

Uno studio mirato e consapevole e un'azione specifica sull'impianto che regola l'erogazione del gas metano permettono, così, il raggiungimento di un notevole **risparmio**, non solo in termini economici, ma anche di **impatto ambientale**, per non dire, aspetto altrettanto fondamentale, che permettono **condizioni abitative** sicuramente più consone all'utenza che, nel caso specifico, si ospita.

¹⁰ Infatti nel modello di analisi della covarianza il parametro γ_2 relativo all'interazione tra la regolazione dei riscaldamenti e l'ala laterale dell'edificio assume un valore negativo (= - 0,8393)

5 Decisioni strategiche

In relazione ai risultati ottenuti occorre effettuare, per **ottimizzare lo stato ambientale** ed il **consumo energetico** della struttura, **due tipi di intervento**:

a) Innanzitutto si deve **intervenire sull'impianto termico** a livello **tecnico**: per risolvere il problema di non uniformità di andamento della temperatura fra le due ali dell'edificio¹¹, occorre regolare la distribuzione del calore compensando le zone penalizzate; per risolvere la paradossale incongruenza dell'andamento della temperatura interna rispetto alle condizioni metereologiche esterne dell'edificio¹², occorre regolare in maniera appropriata i sensori esterni, che consentono all'impianto termico di attivarsi automaticamente: nel caso specifico occorre abbassare, durante i periodi invernali più freddi, il limite minimo di temperatura esterna che innesta la partenza automatica della caldaia.

b) Si deve **intervenire** successivamente sui **singoli riscaldamenti**, tramite la regolazione della **termovalvola** presente su ciascuno di essi (la regolazione prevede un intervallo che va da 0 a 5 unità, suddivise a loro volta in venticinquesimi, ad esempio 2,25): per effettuare tale intervento, occorre prendere in considerazione che l'andamento della temperatura di ogni zona e di ogni stanza dell'edificio deve essere esaminato non solo a livello singolo, ma anche, a causa dell'interferenza dei locali fra loro stessi, comprovata dalla parte di variabilità spiegata dai modelli statistici costruiti¹³, a livello complessivo.

Si arriva perciò alla sequenza finale delle **decisioni strategiche** da adottare nella **regolazione dei riscaldamenti** della struttura (**fig.87**), tramite il confronto tra le **previsioni delle temperature** interne all'edificio relative ai valori assumibili dalla variabile "regolazione dei riscaldamenti" (**fig.66**)¹⁴, intervenendo dunque in maniera mirata su fattori e variabili significative inerenti a ciascuna zona e ciascun intervallo temporale (**fig.67**,...,**fig.86**)¹⁵.

¹¹ Cfr. 4, punto 1

¹² Cfr. 4, punto 2

¹³ Cfr. 3.1 e 3.2

¹⁴ I valori raccolti in tabella indicano le **previsioni (fig.61, ..., fig.65)** fornite dal modello generale (Cfr. 3.2).

¹⁵ Si ricorda che un **modello statistico** ottimale non solo ha la funzione di **spiegare l'andamento** di un determinato **fenomeno** e di fare delle **previsioni** future, ma ha anche la funzione di **spiegare come si mostrerebbe** tale fenomeno **interagendo** sui **fattori influenti** sulla risposta, essendo così in grado di **ottimizzarlo** (si intende dunque non solo prevedere il futuro, ma anche **modificarlo** a nostro piacimento).

6 Verifica delle strategie adottate: risparmio energetico effettivo

6.1 Consumo energetico previsto correlato alle variabili metereologiche e al livello di occupazione

Per verificare la **bontà delle decisioni strategiche** adottate e **quantificare** il valore effettivo di **risparmio energetico** ottenuto, si effettua un'**analisi statistica integrativa**; tramite un'ulteriore serie di **indicatori** e **modelli statistici** adeguati si quantifica il **consumo previsto** di **gas metano** (mt.³) in base alle **variabili metereologiche** e al **livello di occupazione** della struttura: è chiaro, infatti, che il consumo energetico di un'edificio varia anche in relazione alle condizioni metereologiche esterne ed al numero di persone che vi si trovano (nel caso specifico un livello di occupazione più basso comporta la chiusura di alcune camere ed in termini relativi un risparmio energetico e viceversa).

Si osservi la matrice dei **dati** oggetto dell'analisi integrativa effettuata (**fig.88**): le unità statistiche che compongono il campione sono le "rilevazioni all'interno ed all'esterno della struttura in intervalli temporali mensili (invernali)", la numerosità campionaria n è pari a 20 rilevazioni; l'analisi verte sullo studio incrociato di 8 **variabili** e 2 **fattori**.

Le **variabili** in questione sono: consumo di gas metano (mt.³), temperatura esterna media (°C), temperatura esterna minima (°C), temperatura esterna massima (°C)¹⁶, umidità media (%), velocità media del vento (Km/h), livello di occupazione (%) dell'edificio, intervalli temporali mensili cumulati.

I **fattori** invece sono:

- 1) mese, composto da 5 livelli (1 = Novembre, 2 = Dicembre, 3 = Gennaio, 4 = Febbraio, 5 = Marzo).
- 2) Stagione invernale, composto da 4 livelli (1 = 2009/10, 2 = 2010/11, 3 = 2011/12, 4 = 2012/13).

¹⁶ Il valore di temperatura media è inteso, essendo riferito ad un intervallo temporale mensile, come media fra le temperature medie giornaliere; quello di temperatura minima come media fra le temperature minime giornaliere, quello di temperatura massima come media fra le temperature massime giornaliere.

Si costruisce una serie di **indicatori statistici** e relativi **grafici** per individuare l'andamento delle condizioni metereologiche nell'intervallo temporale comprendente varie stagioni invernali (**fig.89**,...,**fig.99**), l'andamento del consumo di gas metano durante il medesimo intervallo di tempo (**fig.100**,...,**fig.107**) e l'andamento mensile del livello di occupazione della struttura (**fig.108**,...,**fig.114**), il quale, analizzato dettagliatamente in altra sede¹⁷, evidenzia un significativo incremento dell'occupazione nel tempo.

Gli indici proposti evidenziano che la variabilità delle condizioni metereologiche esterne alla struttura influenza non solo la temperatura all'interno della stessa, ma anche, come ovvio che fosse, il consumo di gas metano; il livello di occupazione della struttura sembra, invece, in questo caso, non essere significativo.

Ci interessa tuttavia, per capire l'esatta relazione tra queste variabili, sintetizzare il rapporto tra di esse con una funzione matematica: si costruisce perciò una serie di **modelli statistici**.

6.2 Quantificazione del risparmio energetico effettivo

Innanzitutto si costruisce un modello della varianza, nel quale viene effettuata l'analisi del consumo di gas metano relativamente al fattore "mese" (**fig.115** e **fig.116**), per avere la quota di significatività del fattore stesso, quota che in questo caso risulta essere piuttosto alta ($= 0,80$)¹⁸.

Incrociando poi tra loro tutte le variabili e i fattori considerati nella matrice dei dati, considerando solo le variabili e fattori significativi ed gli eventuali termini quadratici e le interazioni¹⁹, si arriva a 6 modelli che consentono di fare, con attendibilità medio-alta, le previsioni del consumo necessario di gas metano al variare delle condizioni metereologiche (i modelli confermano la non-significatività, almeno in questo contesto particolare, del livello di occupazione della struttura):

¹⁷ E' stato effettuato uno studio statistico su **costi** e **ricavi** della struttura per determinare un **listino prezzi ideale** (equilibrato rispetto al valore di utile e alla giusta competitività sul mercato) e la **Break even analysis** (numero minimo di ospiti necessari a determinare una situazione di pareggio di esercizio).

¹⁸ Si osserva infatti che l'**indice di determinazione lineare** R^2 assume un valore pari a 0,80 abbondantemente vicino a 1,00 (tale indice assume un valore che varia nell'intervallo che va da 0,00 a 1,00), anche i **p-value** relativi ai parametri e al modello assumono valori estremamente vicini allo zero.

¹⁹ Cfr. 3.1

- 1) **modello di regressione lineare semplice (fig.117,...,fig.120):** variabile risposta = consumo gas metano (Mt.³), variabile esplicativa = temperatura esterna media (°C), attendibilità = 6 (media).
- 2) **Modello di analisi della covarianza (fig.121 e fig.122):** variabile risposta = consumo gas metano (Mt.³), variabile esplicativa = temperatura esterna media (°C), fattore = “mese”, attendibilità = 6 (media).
- 3) **Modello di regressione lineare multipla (fig.123):** variabile risposta = consumo gas metano (Mt.³), variabili esplicative = temperatura esterna media (°C) e temperatura esterna minima (°C), attendibilità = 6,5 (media).
- 4) **Modello di regressione lineare multipla (fig.124):** variabile risposta = consumo gas metano (Mt.³), variabili esplicative = temperatura esterna media (°C) e temperatura esterna massima (°C), attendibilità = 6,5 (media).
- 5) **Modello di regressione lineare multipla (fig.125):** variabile risposta = consumo gas metano (Mt.³), variabili esplicative = temperatura esterna media (°C) e umidità media (%), attendibilità = 6,5 (media).
- 6) **Modello di analisi della covarianza (fig.126):** variabile risposta = consumo gas metano (Mt.³), variabili esplicative = temperatura esterna media (°C) e temperatura esterna minima (°C), fattore = “mese”, attendibilità = 7,5 (alta).

Attraverso i modelli considerati si effettua il confronto tra il consumo effettivo mensile di gas metano e quello previsto (dai modelli stessi) (fig.127 e fig.128): è immediato stimare in tal modo il **risparmio** di consumo di gas metano **rispetto alle variabili metereologiche** (fig.129); ovviamente una volta quantificato il **risparmio effettivo**, tale valore subirà un **incremento** nel caso che i valori metereologici indichino un **periodo invernale più rigido** del precedente²⁰, e viceversa **diminuirà** di fronte a valori metereologici che indichino un **periodo invernale meno rigido** del precedente²¹.

Nel caso specifico, si stima, attraverso una media ponderata che considera il peso statistico di attendibilità di ciascun modello utilizzato, un **risparmio effettivo** collocabile intorno al **33,46%**.

²⁰ Ipotizzando che la stessa situazione metereologica (cioè un periodo invernale più rigido) si fosse presentata nel periodo precedente, il consumo energetico della stagione precedente stessa sarebbe stato maggiore e di conseguenza si deve considerare un valore di risparmio effettivo maggiore.

²¹ Ipotizzando che la stessa situazione metereologica (cioè un periodo invernale meno rigido) si fosse presentata nel periodo precedente, il consumo energetico della stagione precedente stessa sarebbe stato minore e di conseguenza si deve considerare un valore di risparmio effettivo minore.

Appendice

Fogli di calcolo, tabelle e grafici attinenti metodologia statistica adottata

