



Ricerca di Sistema elettrico

Raccolta dati per la determinazione e caratterizzazione delle tipologie di impianto per il condizionamento invernale ed estivo negli edifici destinati a scuole ed uffici

Francesco Toso e Antonio Mura

RACCOLTA DATI PER LA DETERMINAZIONE E CARATTERIZZAZIONE DELLE TIPOLOGIE DI IMPIANTO PER IL CONDIZIONAMENTO INVERNALE ED ESTIVO NEGLI EDIFICI DESTINATI A SCUOLE ED UFFICI

Progettazione e direzione:

Francesco Toso e Antonio Mura

Gruppo di lavoro:

S. Baldazzi, E. Beltrone, P. D'alessandris, A. Mostacci, A. Mura, D. Napoleoni, F. Pasquino, A. Santangelo
A.Stemperini, F. Toso

Settembre 2013

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2012

Area: Razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia elettrica

Progetto: Sviluppo di modelli per la realizzazione di interventi di efficienza energetica sul patrimonio immobiliare pubblico

Obiettivo: Applicabilità di tecnologie innovative e modelli per la realizzazione di interventi di efficienza energetica

Responsabile del Progetto: arch. Gaetano Fasano ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "Raccolta dati per la determinazione e caratterizzazione delle tipologie di impianto per il condizionamento invernale ed estivo negli edifici destinati a scuole ed uffici "

Responsabile scientifico ENEA: Gaetano Fasano

Responsabile scientifico CRESME Francesco Toso

Indice

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| SOMMARIO..... | 4 |
| 1. IL DATA BASE SUI CONSUMI ENERGETICI DELLE SCUOLE PUBBLICHE | 4 |
| 1.1 GUIDA ALLA LETTURA DEL DATA BASE SUI CONSUMI ENERGETICI..... | 4 |
| 1.2 PRINCIPALI RISULTATI | 5 |
| 1.2.1 <i>Consumi elettrici totali</i> | 7 |
| 1.2.2 <i>- Consumi elettrici medi</i> | 8 |
| 1.2.3 <i>- Consumi elettrici per alunno</i> | 9 |
| 1.2.4 <i>- Consumi elettrici specifici</i> | 10 |
| 1.2.5 <i>- Consumi termici totali</i> | 11 |
| 1.2.6 <i>- Consumi termici medi</i> | 12 |
| 1.2.7 <i>- Consumi termici per alunno</i> | 13 |
| 1.2.8 <i>- Consumi termici specifici</i> | 14 |
| 2 IL DATA BASE SUI CONSUMI ENERGETICI DEGLI EDIFICI PUBBLICI AD USO UFFICIO | 15 |
| 3 NOTA TECNICO-METODOLOGICA | 16 |
| 3.1.1 <i>Popolazione di riferimento</i> | 18 |
| 3.1.2 <i>Definizione del sampling design</i> | 18 |
| 3.1.3 <i>Trattamento dei dati</i> | 19 |
| 3.1.4 <i>Stime</i> | 20 |

Sommario

Il sistema informativo del Cresme sui consumi energetici degli edifici pubblici è composto da un data base sui consumi energetici annuali (elettrici e termici) e sulle caratteristiche degli edifici scolastici (scuole pubbliche dell'infanzia, primarie, secondarie di primo grado e secondarie di secondo grado) e da un analogo data base per gli edifici pubblici ad uso ufficio.

1. Il data base sui consumi energetici delle scuole pubbliche

Il data base sui consumi energetici delle scuole pubbliche è costruito attraverso un'indagine campionaria (su oltre 2.300 scuole) che ha coinvolto 110 amministrazioni provinciali e oltre 550 amministrazioni comunali. Il campione è stato selezionato mediante cosiddetto campionamento a Network (si veda nota metodologica) a partire dal data base del MIUR sulle scuole italiane, che ha definito la popolazione di riferimento al 2012 (48.275 scuole pubbliche, 7,9 milioni di alunni).

In una prima fase è stato selezionato un campione stratificato su zona climatica e ripartizione territoriale. Alle scuole selezionate è stato sottoposto, mediante indagine CATI¹, un questionario sulle caratteristiche degli edifici scolastici (volumetrie, superfici, tipologia degli impianti di climatizzazione, presenza e caratteristiche degli impianti per le fonti rinnovabili, combustibile utilizzato, ecc.).

Sono stati quindi contattati gli enti pubblici incaricati della gestione economica delle scuole (tutte le Province per quanto riguarda le scuole superiori, i rispettivi Comuni per le altre scuole selezionate). Tutte le scuole per cui gli enti rispondenti hanno fornito indicazioni sui consumi sono state incluse nel campione finale (campionamento a Network).

Il campione così realizzato è stato quindi sottoposto a diverse fasi di controllo, validazione e omogeneizzazione (assegnazione codici meccanografici, omogeneizzazione unità di misura, individuazione e trattamento degli outlier, trattamento dati mancanti). Infine, sono state operate le stime dei consumi totali e dei consumi energetici medi in kwh (per superficie e per alunno), così come i rispettivi intervalli di confidenza per ogni dominio di interesse (ripartizione territoriale, zona climatica, classe dimensionale degli alunni).

1.1 Guida alla lettura del data base sui consumi energetici

Il sistema informativo è organizzato e pensato per una facile e rapida consultazione e per una analisi immediata.

Esso è composto da due distinti moduli:

1. **Il primo** raccoglie i dati dettagliati per le circa 2.300 scuole che costituiscono il campione finale e i valori medi stimati per area territoriale, zona climatica e classe dimensionale. Le variabili disponibili sono: *denominazione; localizzazione (georeferenziazione, indirizzo, comune, regione, provincia, ripartizione, zona climatica); codice meccanografico; numero alunni; gradi giorno del comune; volume e superficie complessiva dell'edificio; consumi elettrici e termici annui (kwh e euro ove disponibili); consumi per alunno; consumi specifici (kwh/mq); tipologia*

¹ Computer Assisted Telephone Interviewing

degli impianti di riscaldamento e raffreddamento; combustibile utilizzato (metano, gasolio, teleriscaldamento, ecc); tipologia edilizia dell'edificio (cemento armato, muratura, prefabbricato, ecc.).

2. Il secondo è il data base del MIUR con aggiunti, per ogni scuola italiana², i consumi energetici annui, elettrici e termici, e i consumi per alunno, rilevati (per le scuole del campione) o stimati³ (per tutte le altre).

Il primo modulo è messo a disposizione attraverso il file "DB_Cresme_Sample_&_Estimates.xlsx". Il file in formato Office/Excel 2010 è composto da quattro worksheet. Nel foglio "Riepilogo" due tabelle Pivot permettono la consultazione del Data Base in maniera intuitiva. Nella prima tabella, selezionando uno dei domini di interesse (territorio, zona climatica e classe dimensionale della scuola) è possibile consultare rapidamente i risultati delle stime e i corrispondenti errori relativi (deviazione standard in percentuale sul valore stimato); mentre attraverso la seconda tabella è possibile accedere alle medie campionarie fino ad un livello di dettaglio corrispondente alla rilevazione della singola scuola. Nel foglio "Sample_Cresme" è presentato il data base puntuale corrispondente al campione rilevato delle 2.300 scuole. Tutte le informazioni raccolte sono messe a disposizione, incluse le caratteristiche degli edifici e degli impianti codificate. Il foglio "Tabelle codice-descrizione", permette quindi la decodifica delle informazioni riguardanti edifici e impianti. Infine, il foglio "DB Stime" raccoglie i risultati delle stime, con inclusi i corrispondenti intervalli di confidenza del 95%.

Il secondo modulo è consultabile nel file "DB_Miur_Cresme.xlsx". Il file in formato Office/Excel 2010 è composto da tre fogli di calcolo. Il primo, come nel caso precedente, è un foglio di report che permette di consultare le medie stimate con un modello di regressione fino ad un livello di dettaglio corrispondente alla singola provincia. L'intero data base del MIUR (48.275 scuole), con annessi i consumi stimati/rilevati, è quindi contenuto nel secondo foglio di calcolo.

1.2 Principali risultati

Le stime di seguito riportate fanno riferimento ai consumi annui registrati nel biennio 2011-2012. Vengono presentate attraverso tabelle riassuntive che contengono i valori stimati, la deviazione standard e gli intervalli di confidenza del 95% per ognuno dei domini di interesse oggetto di analisi. Si deve osservare che le differenze nell'errore standard delle stime, e quindi l'ampiezza degli intervalli di confidenza, è legata alla varianza della variabile di interesse all'interno del dominio di analisi, oltre alla variabilità della dimensione del sotto-campione corrispondente.

Tabella 1 – Scuole e alunni per ripartizione territoriale (anno scolastico 2011-2012)

| Ripartizione | Alunni | Quota | Scuole | Quota |
|--------------------------|------------------|---------------|---------------|---------------|
| Nord-Ovest | 1.868.930 | 23,7% | 10.693 | 22,2% |
| Nord-Est | 1.310.799 | 16,6% | 7.369 | 15,3% |
| Centro | 1.534.795 | 19,4% | 9.053 | 18,8% |
| Mezzogiorno ⁴ | 3.181.124 | 40,3% | 21.160 | 43,8% |
| Totale | 7.895.649 | 100,0% | 48.275 | 100,0% |

Fonte: elaborazioni Cresme su dati MIUR e Istat

² Al momento le scuole della provincia di Bolzano non sono incluse per l'assenza di dati di base (localizzazione, numero classi e numero alunni)

³ Si è usato un modello di regressione lineare in scala logaritmica su alunni e gradi giorno calibrato sui dati campionari

⁴ Sud e Isole

Tabella 2 – Scuole e alunni per zona climatica (anno scolastico 2011-2012)

| Zona Climatica | Alunni | Quota | Scuole | Quota |
|----------------|------------------|---------------|---------------|---------------|
| A | 3.412 | 0,0% | 24 | 0,0% |
| B | 512.148 | 6,5% | 3.082 | 6,4% |
| C | 1.970.012 | 25,0% | 11.136 | 23,1% |
| D | 1.999.490 | 25,3% | 12.785 | 26,5% |
| E | 3.274.053 | 41,5% | 19.596 | 40,6% |
| F | 136.533 | 1,7% | 1.652 | 3,4% |
| Totale | 7.895.649 | 100,0% | 48.275 | 100,0% |

Fonte: elaborazioni Cresme su dati MIUR e ENEA

Tabella 3 – Scuole e alunni per classe dimensionale (anno scolastico 2011-2012)

| Classe Alunni | Alunni | Quota | Scuole | Quota |
|------------------|------------------|---------------|---------------|---------------|
| Fino a 50 alunni | 405.250 | 5,1% | 10.854 | 22,5% |
| da 50 a 100 | 1.149.130 | 14,6% | 16.676 | 34,5% |
| da 100 a 200 | 1.243.133 | 15,7% | 8.868 | 18,4% |
| da 200 a 400 | 2.004.198 | 25,4% | 7.164 | 14,8% |
| da 400 a 1000 | 2.533.951 | 32,1% | 4.254 | 8,8% |
| oltre 1000 | 559.987 | 7,1% | 459 | 1,0% |
| Totale | 7.895.649 | 100,0% | 48.275 | 100,0% |

Fonte: elaborazioni Cresme su dati MIUR

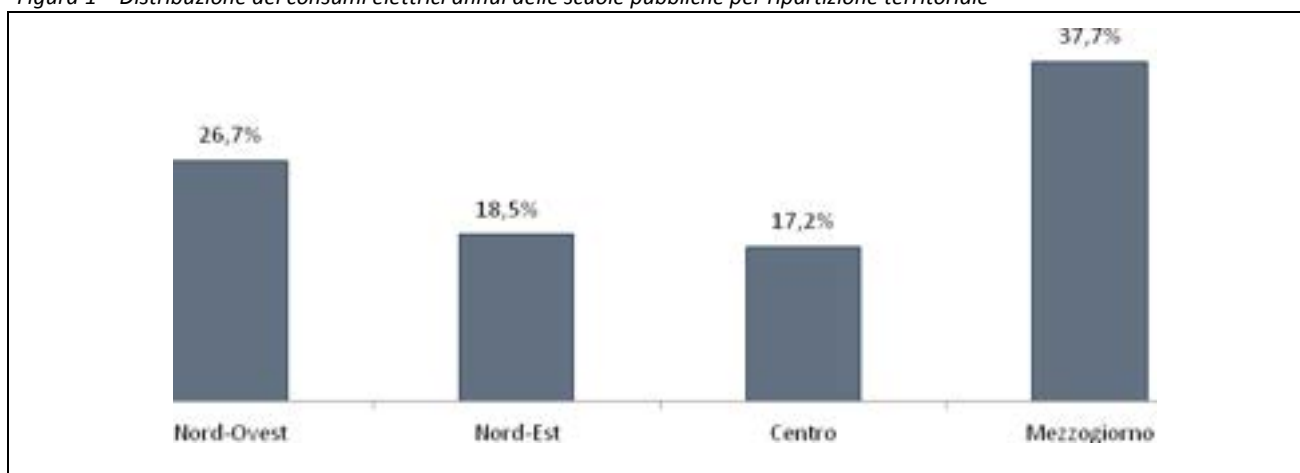
1.2.1 Consumi elettrici totali

Tabella 4 – Consumi elettrici totali per ripartizione e classe dimensionale della scuola

| Variabile stimata | Stima | Stima | | Stima intervallo di confidenza | | |
|-------------------|-----------|---------------------------|-----------------|--------------------------------|---------------|---------------|
| | | deviazione standard (kwh) | errore standard | 95%: da-a | | |
| Totale Italia | kwh annui | 1.413.016.765 | 33.121.114 | 2,3% | 1.348.099.382 | 1.477.934.148 |
| Ripartizione | | | | | | |
| Nord-Ovest | kwh annui | 370.083.103 | 18.326.134 | 5,0% | 334.163.881 | 406.002.325 |
| Nord-Est | kwh annui | 257.026.463 | 6.910.823 | 2,7% | 243.481.250 | 270.571.677 |
| Centro | kwh annui | 238.093.263 | 5.681.844 | 2,4% | 226.956.848 | 249.229.678 |
| Mezzogiorno | kwh annui | 522.719.680 | 19.443.062 | 3,7% | 484.611.279 | 560.828.080 |
| Numero alunni | | | | | | |
| Fino a 50 alunni | kwh annui | 80.911.945 | 2.247.377 | 2,8% | 76.507.086 | 85.316.804 |
| da 50 a 100 | kwh annui | 251.956.849 | 7.453.231 | 3,0% | 237.348.517 | 266.565.182 |
| da 100 a 200 | kwh annui | 222.395.412 | 9.415.357 | 4,2% | 203.941.313 | 240.849.511 |
| da 200 a 400 | kwh annui | 361.327.407 | 8.921.891 | 2,5% | 343.840.501 | 378.814.313 |
| da 400 a 1000 | kwh annui | 424.717.001 | 14.260.080 | 3,4% | 396.767.245 | 452.666.757 |
| oltre 1000 | kwh annui | 99.766.082 | 12.059.659 | 12,1% | 76.129.150 | 123.403.014 |

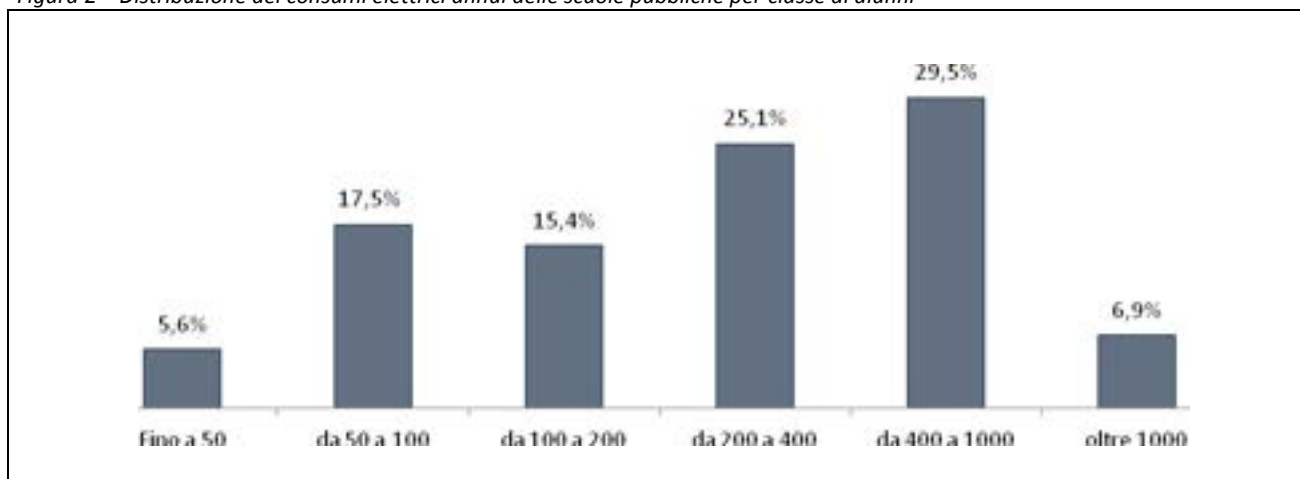
Fonte: elaborazione e stime Cresme 2013

Figura 1 – Distribuzione dei consumi elettrici annui delle scuole pubbliche per ripartizione territoriale



Fonte: elaborazione e stime Cresme 2013

Figura 2 – Distribuzione dei consumi elettrici annui delle scuole pubbliche per classe di alunni



Fonte: elaborazione e stime Cresme 2013

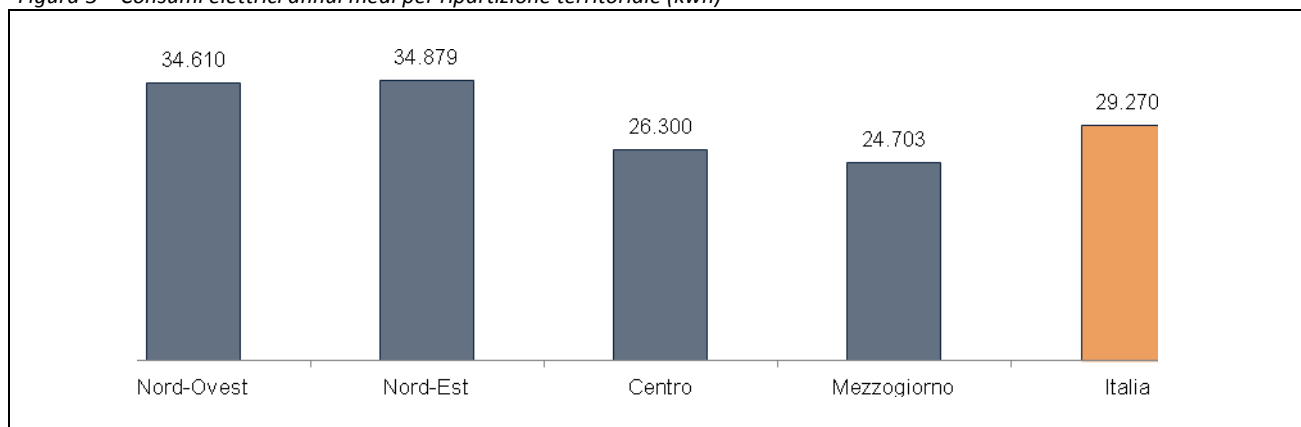
1.2.2 - Consumi elettrici medi

Tabella 5 – Consumi elettrici annui medi per ripartizione e classe dimensionale della scuola

| Variabile stimata | Stima | Stima | | Stima intervallo di confidenza | | |
|-------------------|----------------------|---------------------------|-----------------|--------------------------------|-----------------|--|
| | | deviazione standard (kwh) | errore standard | 95%: da-a | | |
| Totale Italia | kwh annui per scuola | 29.270 | 686 | 2,3% | 27.925 30.615 | |
| | | | Ripartizione | | | |
| Nord-Ovest | kwh annui per scuola | 34.610 | 1.714 | 5,0% | 31.251 37.969 | |
| Nord-Est | kwh annui per scuola | 34.879 | 938 | 2,7% | 33.041 36.718 | |
| Centro | kwh annui per scuola | 26.300 | 628 | 2,4% | 25.070 27.530 | |
| Mezzogiorno | kwh annui per scuola | 24.703 | 919 | 3,7% | 22.902 26.504 | |
| | | | Numero alunni | | | |
| Fino a 50 alunni | kwh annui per scuola | 7.455 | 207 | 2,8% | 7.049 7.860 | |
| da 50 a 100 | kwh annui per scuola | 15.109 | 447 | 3,0% | 14.233 15.985 | |
| da 100 a 200 | kwh annui per scuola | 25.078 | 1.062 | 4,2% | 22.997 27.159 | |
| da 200 a 400 | kwh annui per scuola | 50.437 | 1.245 | 2,5% | 47.996 52.877 | |
| da 400 a 1000 | kwh annui per scuola | 99.839 | 3.352 | 3,4% | 93.269 106.410 | |
| oltre 1000 | kwh annui per scuola | 217.355 | 26.274 | 12,1% | 165.859 268.852 | |

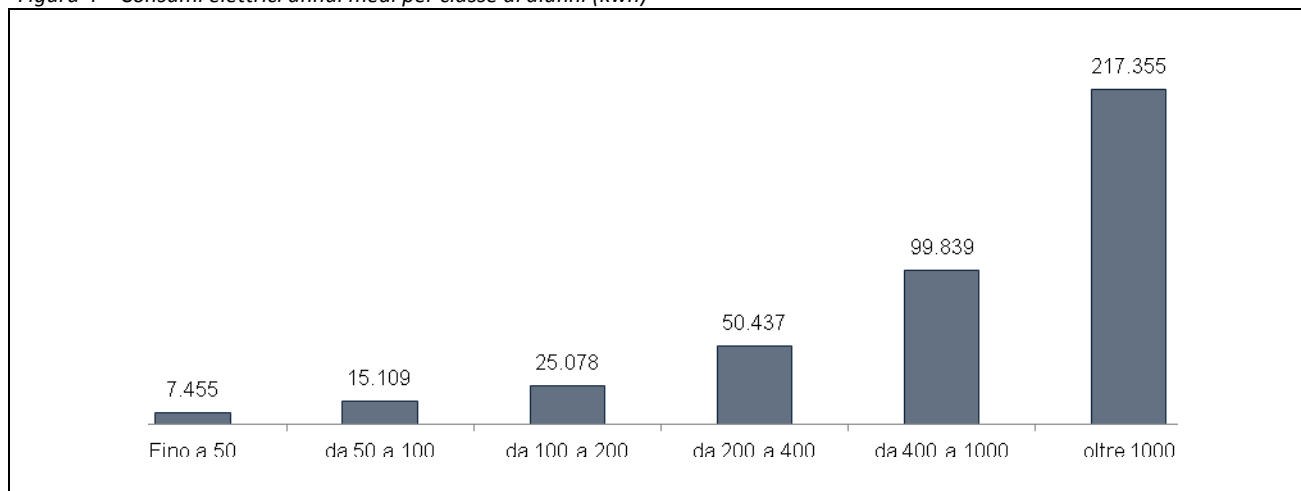
Fonte: elaborazione e stime Cresme 2013

Figura 3 – Consumi elettrici annui medi per ripartizione territoriale (kwh)



Fonte: elaborazione e stime Cresme 2013

Figura 4 – Consumi elettrici annui medi per classe di alunni (kwh)



Fonte: elaborazione e stime Cresme 2013

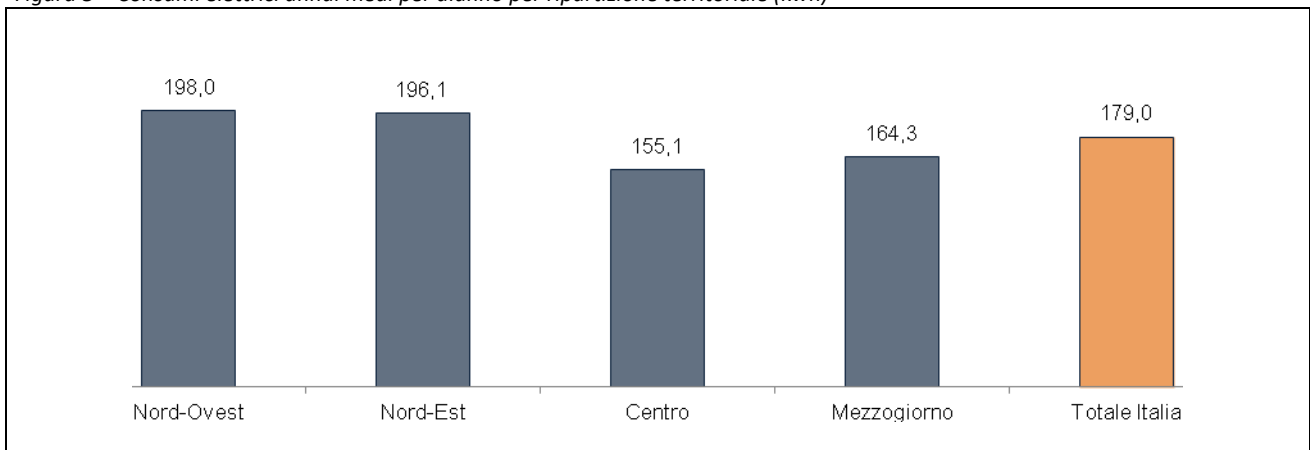
1.2.3 - Consumi elettrici per alunno

Tabella 6 – Consumi elettrici annui medi per alunno per territorio e classe dimensionale della scuola

| Variabile stimata | Stima | Stima | | Stima intervallo di confidenza | | |
|-------------------|----------------------|---------------------------|-----------------|--------------------------------|-----|-----|
| | | deviazione standard (kwh) | errore standard | 95%: da-a | | |
| Totale Italia | kwh annui per alunno | 179,0 | 4 | 2,3% | 171 | 187 |
| | | | Ripartizione | | | |
| Nord-Ovest | kwh annui per alunno | 198,0 | 9,8 | 5,0% | 179 | 217 |
| Nord-Est | kwh annui per alunno | 196,1 | 5,3 | 2,7% | 186 | 206 |
| Centro | kwh annui per alunno | 155,1 | 3,7 | 2,4% | 148 | 162 |
| Mezzogiorno | kwh annui per alunno | 164,3 | 6,1 | 3,7% | 152 | 176 |
| | | | Numero alunni | | | |
| Fino a 50 alunni | kwh annui per alunno | 199,7 | 5,5 | 2,8% | 189 | 211 |
| da 50 a 100 | kwh annui per alunno | 219,3 | 6,5 | 3,0% | 207 | 232 |
| da 100 a 200 | kwh annui per alunno | 178,9 | 7,6 | 4,2% | 164 | 194 |
| da 200 a 400 | kwh annui per alunno | 180,3 | 4,5 | 2,5% | 172 | 189 |
| da 400 a 1000 | kwh annui per alunno | 167,6 | 5,6 | 3,4% | 157 | 179 |
| oltre 1000 | kwh annui per alunno | 178,2 | 21,5 | 12,1% | 136 | 220 |

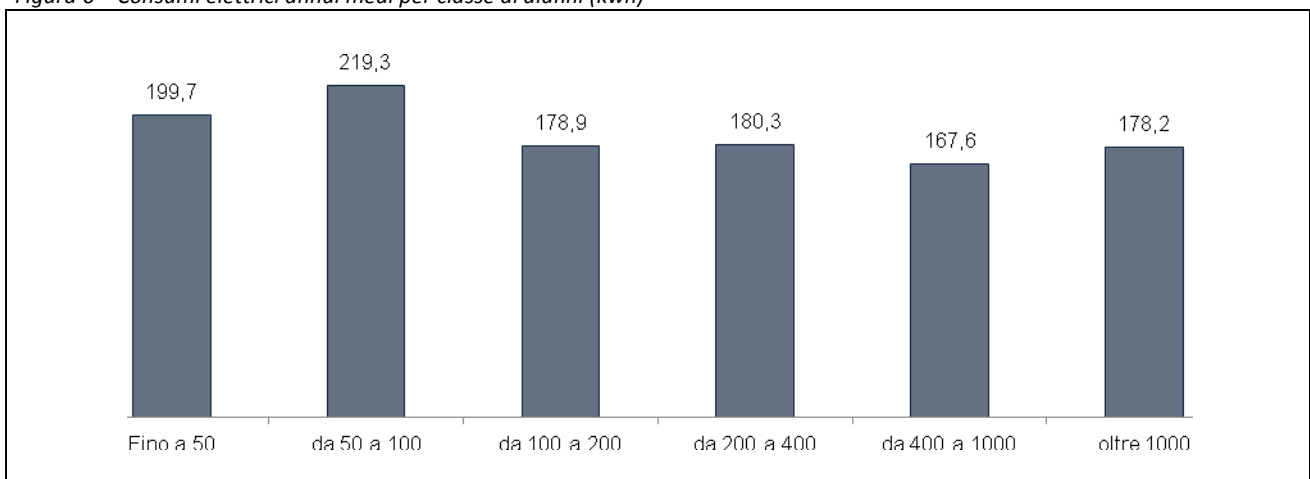
Fonte: elaborazione e stime Cresme 2013

Figura 5 – Consumi elettrici annui medi per alunno per ripartizione territoriale (kwh)



Fonte: elaborazione e stime Cresme 2013

Figura 6 – Consumi elettrici annui medi per classe di alunni (kwh)



Fonte: elaborazione e stime Cresme 2013

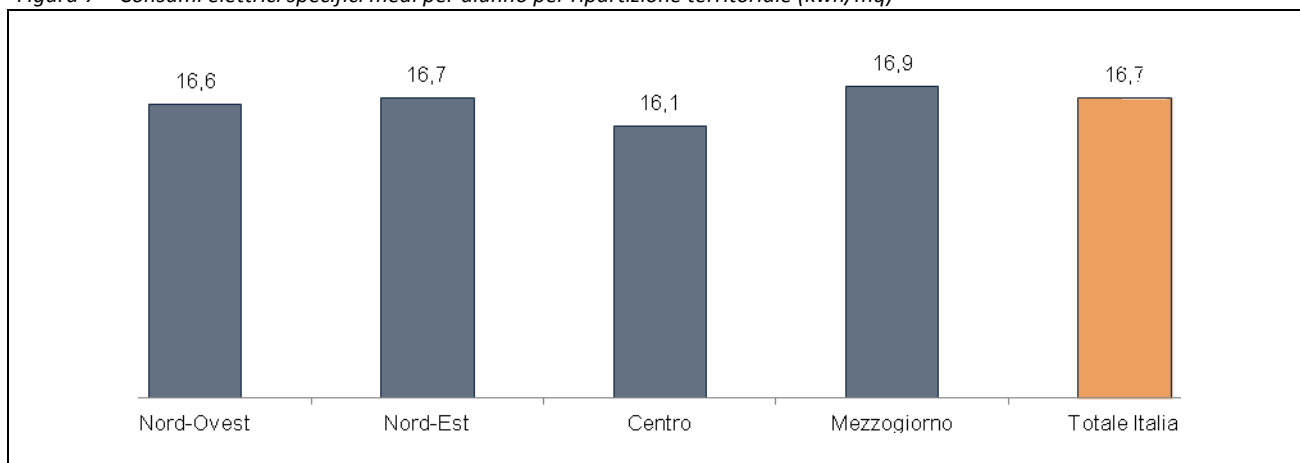
1.2.4 - Consumi elettrici specifici

Tabella 7 – Consumi elettrici specifici annui per territorio e classe dimensionale della scuola

| Variabile stimata | Stima | Stima | | Stima intervallo di confidenza | | |
|-------------------|--------------|---------------------------|-----------------|--------------------------------|------|------|
| | | deviazione standard (kwh) | errore standard | 95%: da-a | | |
| Totale Italia | kwh/mq annui | 16,7 | 0,4 | 2,4% | 15,9 | 17,5 |
| Ripartizione | | | | | | |
| Nord-Ovest | kwh/mq annui | 16,6 | 0,5 | 3,3% | 15,5 | 17,6 |
| Nord-Est | kwh/mq annui | 16,7 | 0,6 | 3,4% | 15,6 | 17,8 |
| Centro | kwh/mq annui | 16,1 | 0,9 | 5,4% | 14,4 | 17,8 |
| Mezzogiorno | kwh/mq annui | 16,9 | 0,9 | 5,1% | 15,2 | 18,6 |
| Numero alunni | | | | | | |
| Fino a 50 alunni | kwh/mq annui | 14,8 | 1,3 | 8,9% | 12,2 | 17,4 |
| da 50 a 100 | kwh/mq annui | 17,2 | 1,5 | 8,8% | 14,3 | 20,2 |
| da 100 a 200 | kwh/mq annui | 15,6 | 0,8 | 5,2% | 14,0 | 17,2 |
| da 200 a 400 | kwh/mq annui | 15,8 | 0,6 | 3,9% | 14,6 | 17,0 |
| da 400 a 1000 | kwh/mq annui | 17,3 | 0,3 | 1,7% | 16,7 | 17,9 |
| oltre 1000 | kwh/mq annui | 19,1 | 0,5 | 2,5% | 18,2 | 20,1 |

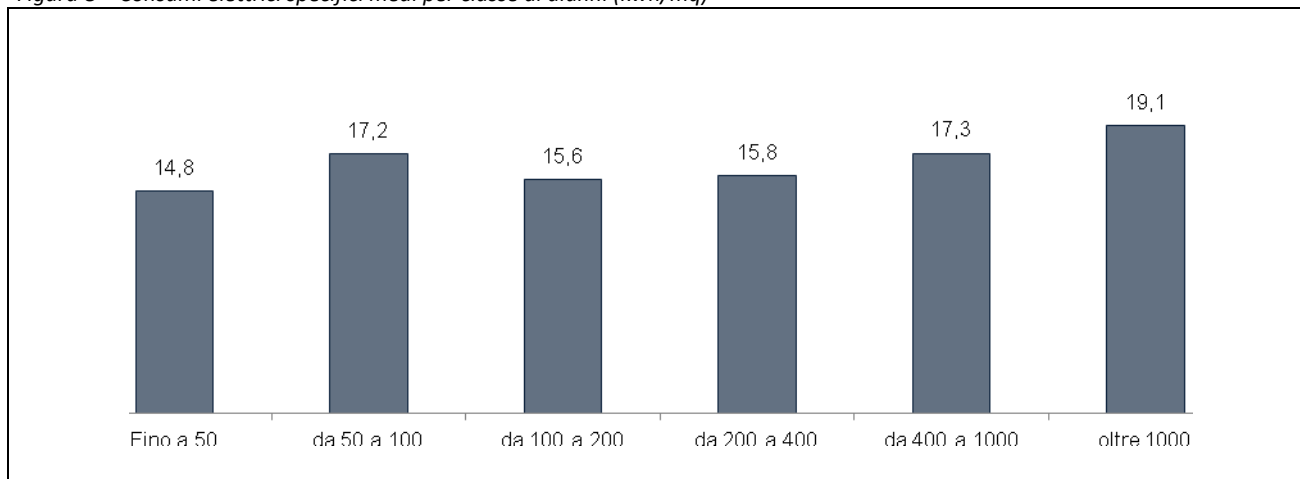
Fonte: elaborazione e stime Cresme 2013

Figura 7 – Consumi elettrici specifici medi per alunno per ripartizione territoriale (kwh/mq)



Fonte: elaborazione e stime Cresme 2013

Figura 8 – Consumi elettrici specifici medi per classe di alunni (kwh/mq)



Fonte: elaborazione e stime Cresme 2013

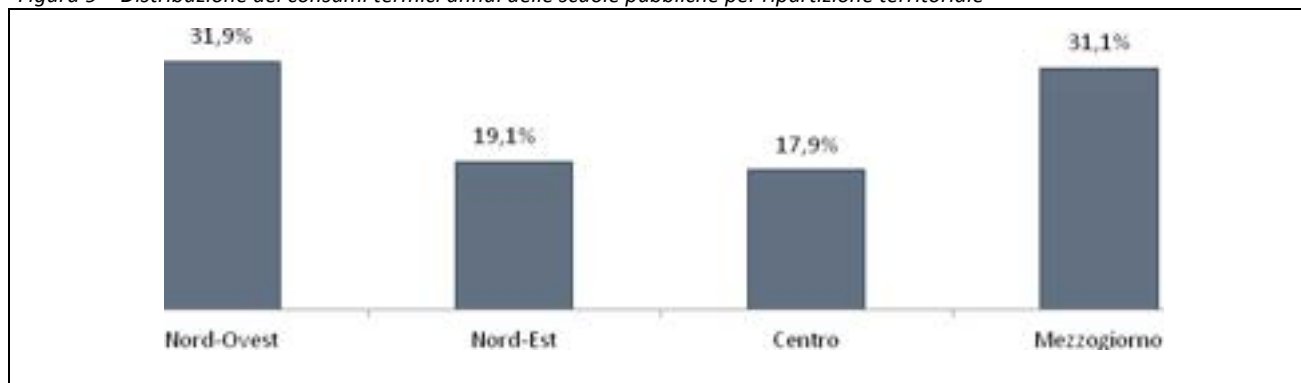
1.2.5 - Consumi termici totali

Tabella 8 – Consumi termici totali per zona climatica, ripartizione e classe dimensionale della scuola

| Variabile stimata | Stima | Stima | | Stima intervallo di confidenza | | |
|-------------------|------------|----------------------------|-----------------|--------------------------------|---------------|---------------|
| | | deviazione standard (kwht) | errore standard | 95%: da-a | | |
| Totale Italia | kwht annui | 8.219.493.443 | 272.791.432 | 3,3% | 7.684.822.236 | 8.754.164.651 |
| Zona climatica | | | | | | |
| B | kwht annui | 373.946.871 | 65.467.479 | 17,5% | 245.630.613 | 502.263.129 |
| C | kwht annui | 1.345.973.244 | 157.813.881 | 11,7% | 1.036.658.037 | 1.655.288.450 |
| D | kwht annui | 2.018.789.849 | 71.906.093 | 3,6% | 1.877.853.906 | 2.159.725.792 |
| E | kwht annui | 4.215.308.833 | 190.309.542 | 4,5% | 3.842.302.131 | 4.588.315.535 |
| F | kwht annui | 262.697.230 | 39.711.528 | 15,1% | 184.862.635 | 340.531.825 |
| Ripartizione | | | | | | |
| Nord-Ovest | kwht annui | 2.621.674.393 | 166.371.277 | 6,3% | 2.295.586.691 | 2.947.762.096 |
| Nord-Est | kwht annui | 1.566.906.285 | 74.654.222 | 4,8% | 1.420.584.010 | 1.713.228.560 |
| Centro | kwht annui | 1.474.959.206 | 61.141.185 | 4,1% | 1.355.122.482 | 1.594.795.929 |
| Mezzogiorno | kwht annui | 2.555.953.559 | 189.911.596 | 7,4% | 2.183.726.831 | 2.928.180.287 |
| Numero alunni | | | | | | |
| Fino a 50 alunni | kwht annui | 830.189.362 | 41.124.190 | 5,0% | 749.585.949 | 910.792.775 |
| da 50 a 100 | kwht annui | 1.766.450.766 | 47.229.801 | 2,7% | 1.673.880.356 | 1.859.021.176 |
| da 100 a 200 | kwht annui | 1.378.106.981 | 71.517.808 | 5,2% | 1.237.932.077 | 1.518.281.884 |
| da 200 a 400 | kwht annui | 1.942.171.705 | 70.941.202 | 3,7% | 1.803.126.948 | 2.081.216.462 |
| da 400 a 1000 | kwht annui | 1.886.991.916 | 113.167.743 | 6,0% | 1.665.183.140 | 2.108.800.692 |
| oltre 1000 | kwht annui | 415.582.714 | 84.371.480 | 20,3% | 250.214.613 | 580.950.815 |

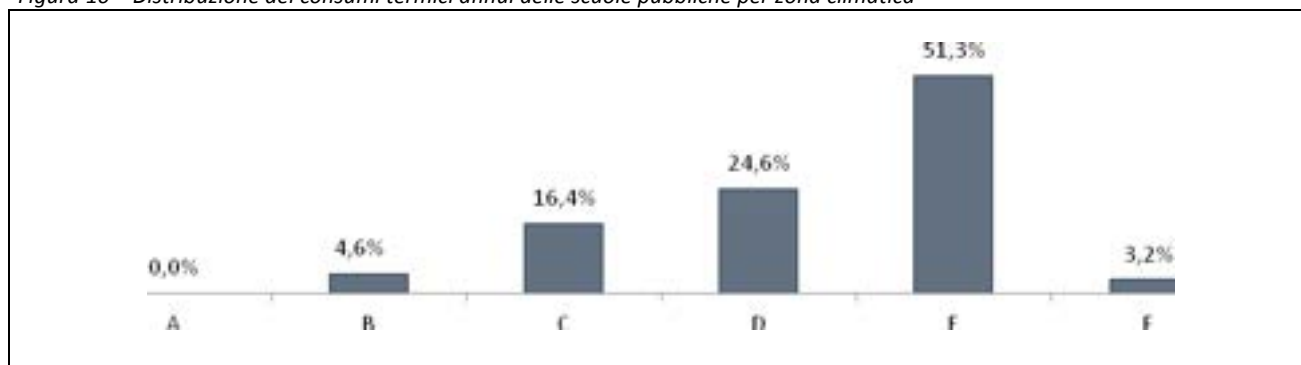
Fonte: elaborazione e stime Cresme 2013

Figura 9 – Distribuzione dei consumi termici annui delle scuole pubbliche per ripartizione territoriale



Fonte: elaborazione e stime Cresme 2013

Figura 10 – Distribuzione dei consumi termici annui delle scuole pubbliche per zona climatica



Fonte: elaborazione e stime Cresme 2013

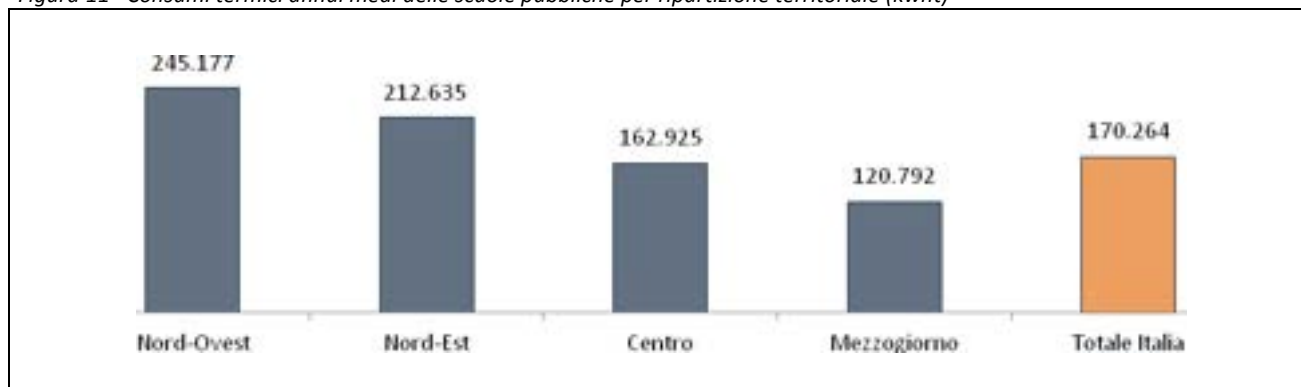
1.2.6 - Consumi termici medi

Tabella 9 – Consumi termici medi per zona climatica, ripartizione e classe dimensionale della scuola

| Variabile stimata | Stima | Stima | | Stima intervallo di confidenza | | |
|-------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------|--------------------------------|---------|-----------|
| | | deviazione standard (kwht) | errore standard | 95%: da-a | | |
| Totale Italia | kwht annui per scuola | 170.264 | 5.651 | 3,3% | 159.188 | 181.340 |
| Zona climatica | | | | | | |
| B | kwht annui per scuola | 121.333 | 21.242 | 17,5% | 79.698 | 162.967 |
| C | kwht annui per scuola | 120.867 | 14.172 | 11,7% | 93.091 | 148.643 |
| D | kwht annui per scuola | 157.903 | 5.624 | 3,6% | 146.879 | 168.927 |
| E | kwht annui per scuola | 215.111 | 9.712 | 4,5% | 196.076 | 234.146 |
| F | kwht annui per scuola | 159.018 | 24.038 | 15,1% | 111.902 | 206.133 |
| Ripartizione | | | | | | |
| Nord-Ovest | kwht annui per scuola | 245.177 | 15.559 | 6,3% | 214.681 | 275.672 |
| Nord-Est | kwht annui per scuola | 212.635 | 10.131 | 4,8% | 192.778 | 232.491 |
| Centro | kwht annui per scuola | 162.925 | 6.754 | 4,1% | 149.688 | 176.162 |
| Mezzogiorno | kwht annui per scuola | 120.792 | 8.975 | 7,4% | 103.201 | 138.383 |
| Numero alunni | | | | | | |
| Fino a 50 alunni | kwht annui per scuola | 76.487 | 3.789 | 5,0% | 69.061 | 83.913 |
| da 50 a 100 | kwht annui per scuola | 105.928 | 2.832 | 2,7% | 100.377 | 111.479 |
| da 100 a 200 | kwht annui per scuola | 155.402 | 8.065 | 5,2% | 139.595 | 171.209 |
| da 200 a 400 | kwht annui per scuola | 271.102 | 9.902 | 3,7% | 251.693 | 290.510 |
| da 400 a 1000 | kwht annui per scuola | 443.581 | 26.603 | 6,0% | 391.439 | 495.722 |
| oltre 1000 | kwht annui per scuola | 905.409 | 183.816 | 20,3% | 545.130 | 1.265.688 |

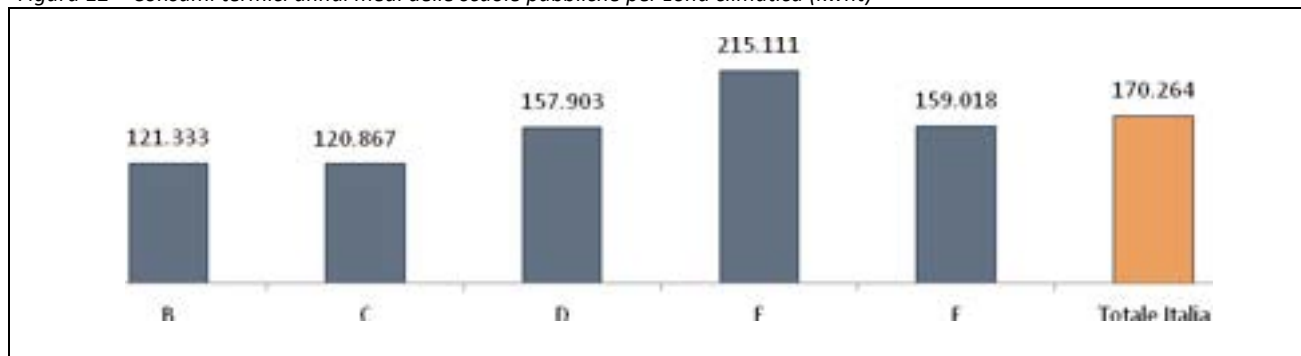
Fonte: elaborazione e stime Cresme 2013

Figura 11 – Consumi termici annui medi delle scuole pubbliche per ripartizione territoriale (kwht)



Fonte: elaborazione e stime Cresme 2013

Figura 12 – Consumi termici annui medi delle scuole pubbliche per zona climatica (kwht)



Fonte: elaborazione e stime Cresme 2013

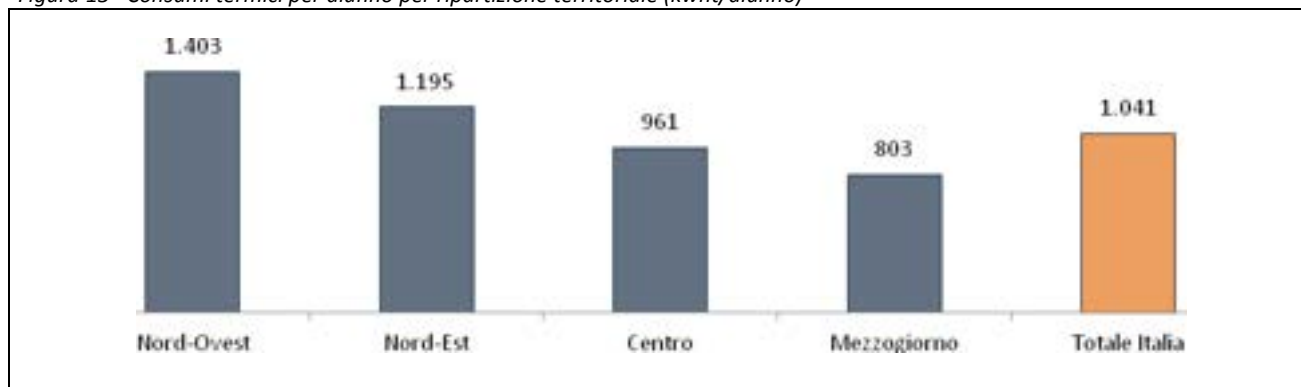
1.2.7 - Consumi termici per alunno

Tabella 10 – Consumi termici per alunno per zona climatica, ripartizione e classe dimensionale della scuola

| Variabile stimata | Stima | Stima | | Stima intervallo di confidenza | | |
|-------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------|--------------------------------|-------|-------|
| | | deviazione standard (kwht) | errore standard | 95%: da-a | | |
| Totale Italia | kwht annui per alunno | 1.041 | 35 | 3,3% | 973 | 1.109 |
| Zona climatica | | | | | | |
| B | kwht annui per alunno | 730 | 128 | 17,5% | 480 | 981 |
| C | kwht annui per alunno | 683 | 80 | 11,7% | 526 | 840 |
| D | kwht annui per alunno | 1.010 | 36 | 3,6% | 939 | 1.080 |
| E | kwht annui per alunno | 1.287 | 58 | 4,5% | 1.174 | 1.401 |
| F | kwht annui per alunno | 1.924 | 291 | 15,1% | 1.354 | 2.494 |
| Ripartizione | | | | | | |
| Nord-Ovest | kwht annui per alunno | 1.403 | 89 | 6,3% | 1.228 | 1.577 |
| Nord-Est | kwht annui per alunno | 1.195 | 57 | 4,8% | 1.084 | 1.307 |
| Centro | kwht annui per alunno | 961 | 40 | 4,1% | 883 | 1.039 |
| Mezzogiorno | kwht annui per alunno | 803 | 60 | 7,4% | 686 | 920 |
| Numero alunni | | | | | | |
| Fino a 50 alunni | kwht annui per alunno | 2.049 | 101 | 5,0% | 1.850 | 2.247 |
| da 50 a 100 | kwht annui per alunno | 1.537 | 41 | 2,7% | 1.457 | 1.618 |
| da 100 a 200 | kwht annui per alunno | 1.109 | 58 | 5,2% | 996 | 1.221 |
| da 200 a 400 | kwht annui per alunno | 969 | 35 | 3,7% | 900 | 1.038 |
| da 400 a 1000 | kwht annui per alunno | 745 | 45 | 6,0% | 657 | 832 |
| oltre 1000 | kwht annui per alunno | 742 | 151 | 20,3% | 447 | 1.037 |

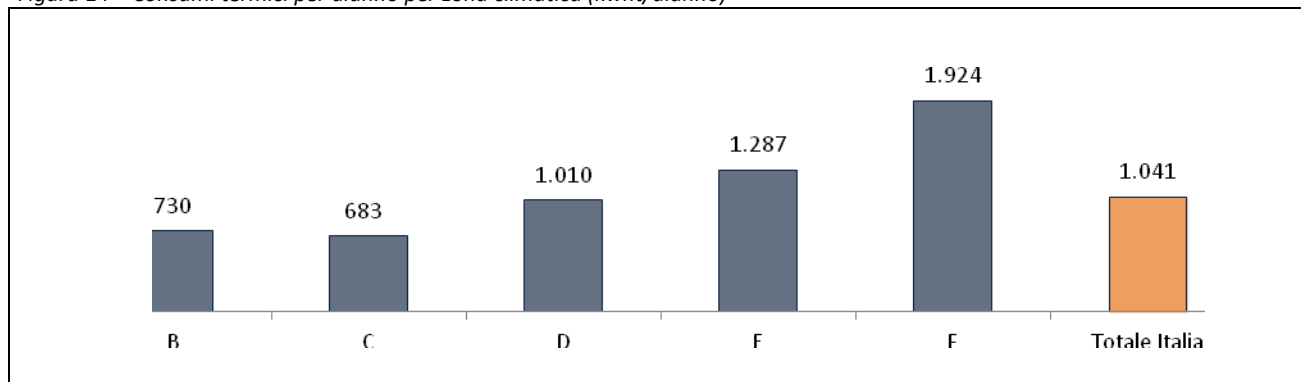
Fonte: elaborazione e stime Cresme 2013

Figura 13 – Consumi termici per alunno per ripartizione territoriale (kwht/alunno)



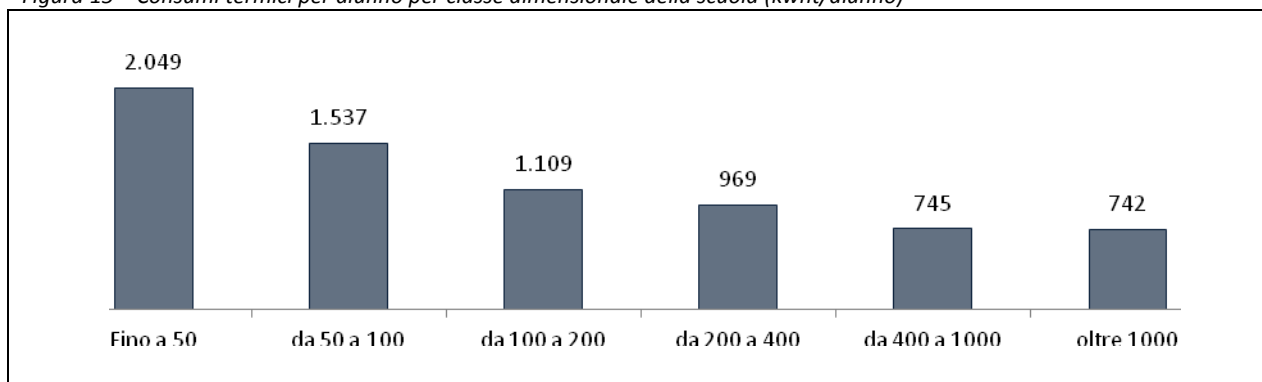
Fonte: elaborazione e stime Cresme 2013

Figura 14 – Consumi termici per alunno per zona climatica (kwht/alunno)



Fonte: elaborazione e stime Cresme 2013

Figura 15 – Consumi termici per alunno per classe dimensionale della scuola (kwht/alunno)



Fonte: elaborazione e stime Cresme 2013

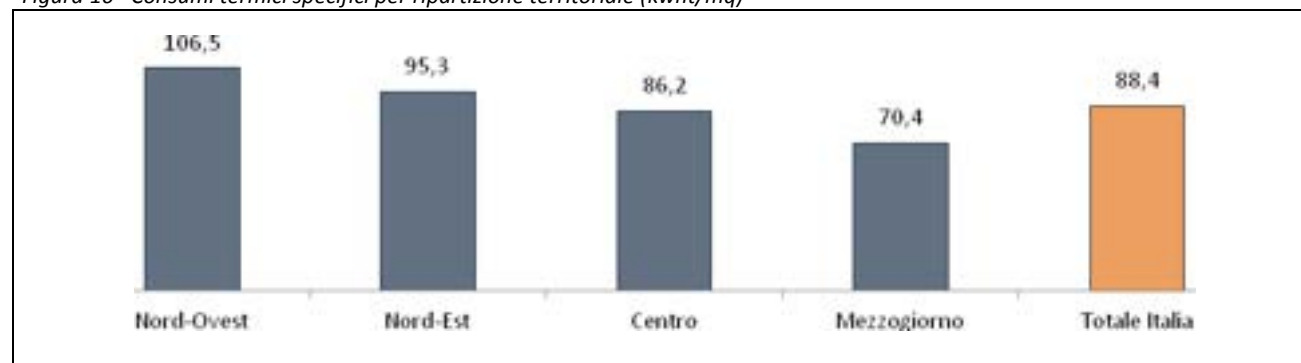
1.2.8 - Consumi termici specifici

Tabella 11 – Consumi termici specifici per zona climatica, ripartizione e classe dimensionale della scuola

| Variabile stimata | Stima | Stima | | Stima intervallo di confidenza | | |
|-------------------|--------------|----------------------------|-----------------|--------------------------------|----|-----|
| | | deviazione standard (kwht) | errore standard | 95%: da-a | | |
| Totale Italia | kwh/mq annui | 88,4 | 4,0 | 4,5% | 81 | 96 |
| | | | Zona climatica | | | |
| B | kwh/mq annui | 71,3 | 22,9 | 32,1% | 27 | 116 |
| C | kwh/mq annui | 55,0 | 3,6 | 6,5% | 48 | 62 |
| D | kwh/mq annui | 84,4 | 10,6 | 12,6% | 64 | 105 |
| E | kwh/mq annui | 102,5 | 3,4 | 3,3% | 96 | 109 |
| F | kwh/mq annui | 94,4 | 8,8 | 9,3% | 77 | 112 |
| | | | Ripartizione | | | |
| Nord-Ovest | kwh/mq annui | 106,5 | 3,6 | 3,4% | 99 | 114 |
| Nord-Est | kwh/mq annui | 95,3 | 7,0 | 7,4% | 81 | 109 |
| Centro | kwh/mq annui | 86,2 | 6,0 | 6,9% | 74 | 98 |
| Mezzogiorno | kwh/mq annui | 70,4 | 6,2 | 8,8% | 58 | 83 |
| | | | Numero alunni | | | |
| Fino a 50 alunni | kwh/mq annui | 89,0 | 7,2 | 8,1% | 75 | 103 |
| da 50 a 100 | kwh/mq annui | 113,3 | 8,3 | 7,3% | 97 | 130 |
| da 100 a 200 | kwh/mq annui | 98,1 | 5,8 | 6,0% | 87 | 110 |
| da 200 a 400 | kwh/mq annui | 91,0 | 4,6 | 5,1% | 82 | 100 |
| da 400 a 1000 | kwh/mq annui | 75,6 | 4,8 | 6,4% | 66 | 85 |
| oltre 1000 | kwh/mq annui | 79,3 | 7,9 | 10,0% | 64 | 95 |

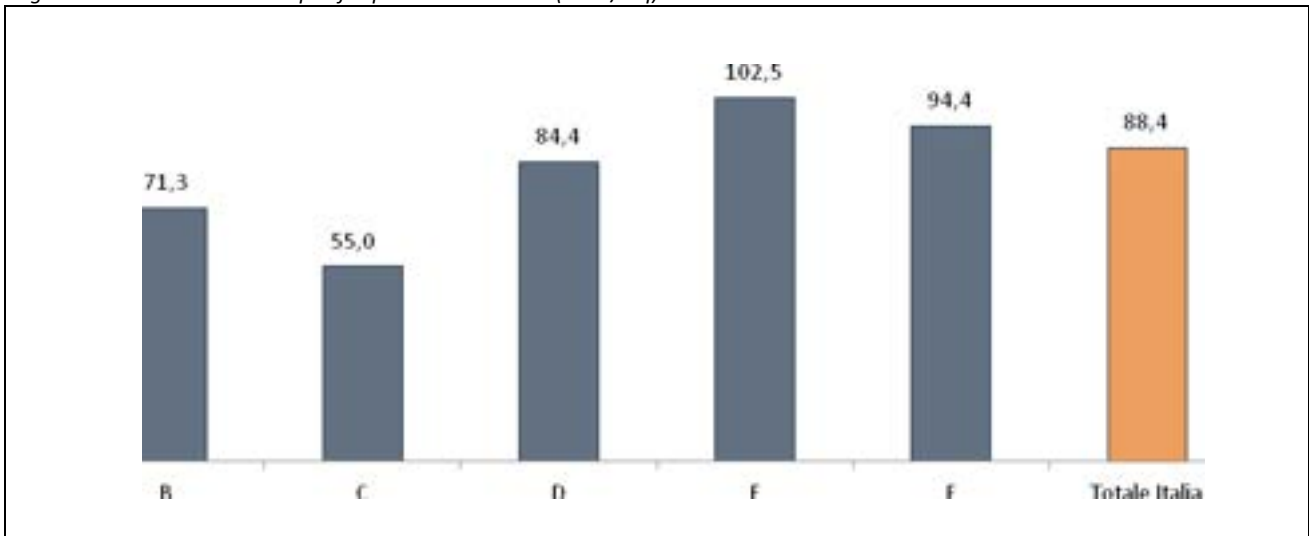
Fonte: elaborazione e stime Cresme 2013

Figura 16 – Consumi termici specifici per ripartizione territoriale (kwht/mq)



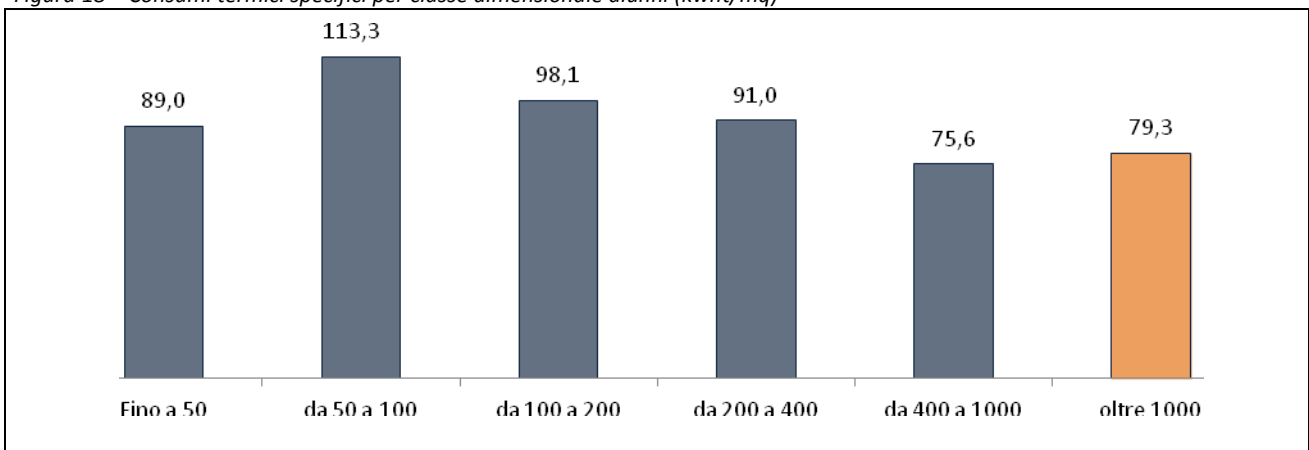
Fonte: elaborazione e stime Cresme 2013

Figura 17 – Consumi termici specifici per zona climatica (kwh/mq)



Fonte: elaborazione e stime Cresme 2013

Figura 18 – Consumi termici specifici per classe dimensionale alunni (kwh/mq)



Fonte: elaborazione e stime Cresme 2013

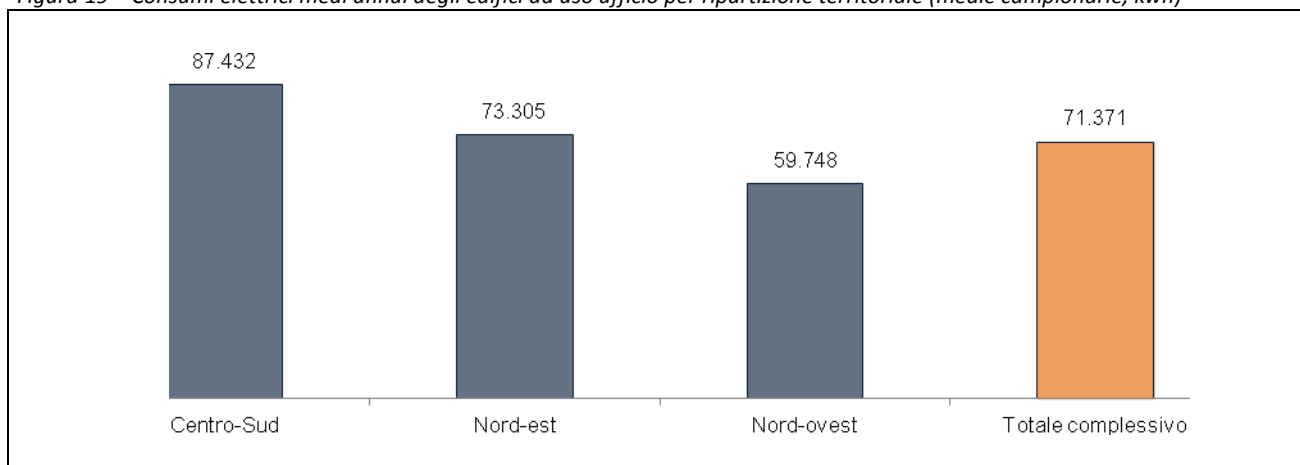
2 Il data base sui consumi energetici degli edifici pubblici ad uso ufficio

Il data base relativo agli edifici pubblici ad uso ufficio è stato realizzato in modo analogo a quello relativo ai consumi scolastici, ma con una sostanziale differenza: la più complessa operazione di individuazione degli uffici pubblici, non esistendo alcun archivio in considerazione della frammentazione dei soggetti titolari (amministrazioni centrali e territoriali, enti locali, ecc.) e della relativa indisponibilità di banche dati (anche per singolo ente pubblico) concernenti il patrimonio immobiliare in uso e/o in possesso.

L'esito ottenuto, pertanto, è frutto di una serie di elaborazioni condotte su più banche dati: Censimento delle Istituzioni, archivi catastali, banche dati sulle utenze telefoniche. L'indagine campionaria, finalizzata a conoscere i consumi energetici specifici, è stata condotta su un campione di oltre 600 edifici pubblici.

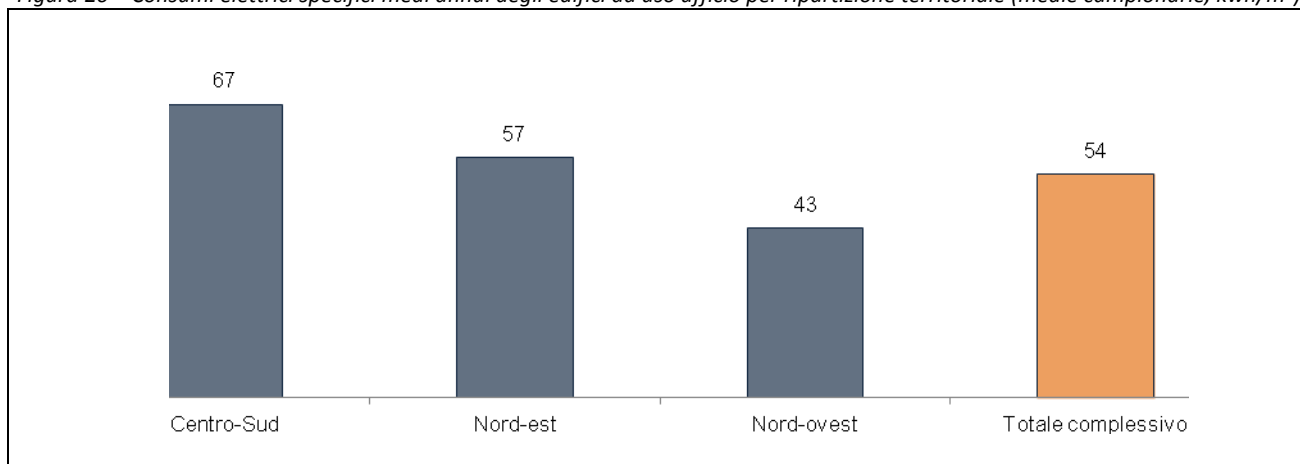
Il risultato della raccolta campionaria è messo a disposizione nel file "DB_Cresme_Sample_Uffici.xlsx", che permette una immediata visualizzazione e consultazione delle statistiche campionarie, inclusi: consumi energetici e tipologie edilizie e impiantistiche.

Figura 19 – Consumi elettrici medi annui degli edifici ad uso ufficio per ripartizione territoriale (medie campionarie, kwh)



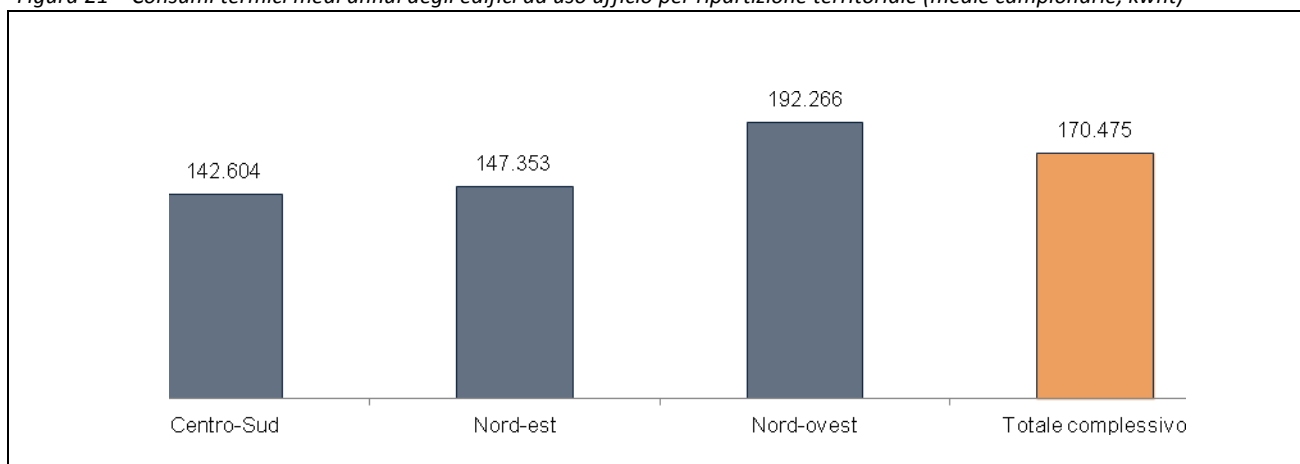
Fonte: elaborazione e stime Cresme 2013

Figura 20 – Consumi elettrici specifici medi annui degli edifici ad uso ufficio per ripartizione territoriale (medie campionarie, kwh/m²)



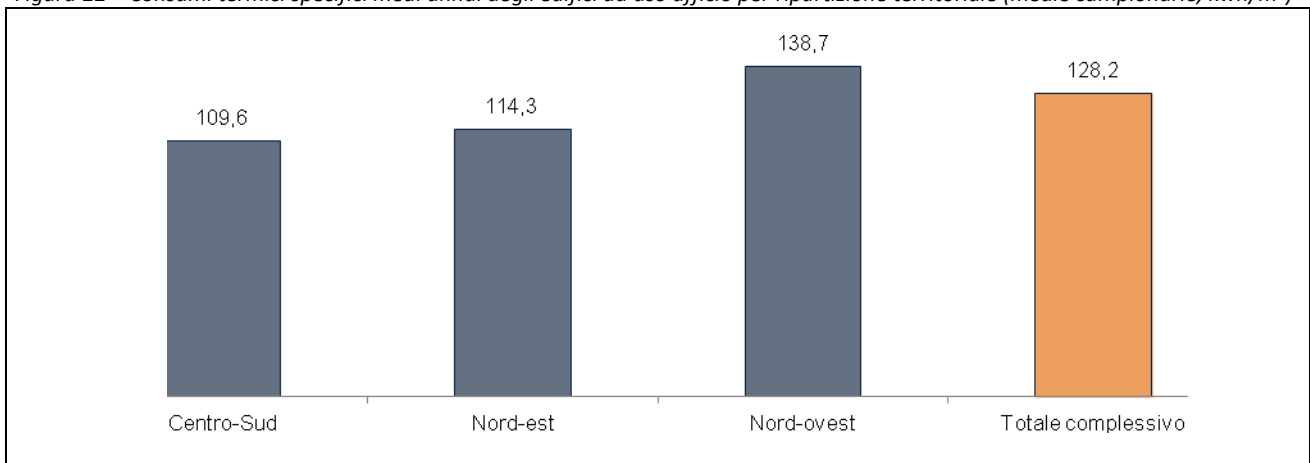
Fonte: elaborazione e stime Cresme 2013

Figura 21 – Consumi termici medi annui degli edifici ad uso ufficio per ripartizione territoriale (medie campionarie, kwht)



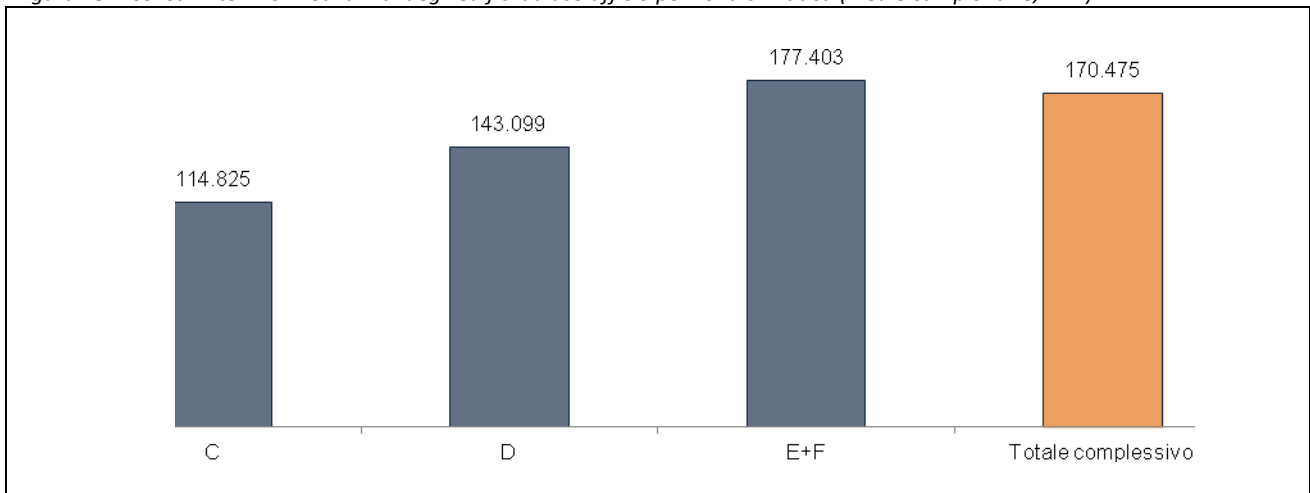
Fonte: elaborazione e stime Cresme 2013

Figura 22 – Consumi termici specifici medi annui degli edifici ad uso ufficio per ripartizione territoriale (medie campionarie, kwh/m^2)



Fonte: elaborazione e stime Cresme 2013

Figura 23 – Consumi termici medi annui degli edifici ad uso ufficio per zona climatica (medie campionarie, kwh)



Fonte: elaborazione e stime Cresme 2013

Figura 24 – Consumi termici specifici medi annui degli edifici ad uso ufficio per zona climatica (medie campionarie, kwh/m^2)



Fonte: elaborazione e stime Cresme 2013

3 Nota tecnico-metodologica per le stime campionarie sui consumi delle scuole pubbliche

Il data base sui consumi energetici delle scuole pubbliche è costruito attraverso un'indagine campionaria su oltre 2.300 scuole, che ha coinvolto 110 amministrazioni provinciali e oltre 550 amministrazioni comunali.

3.1.1 Popolazione di riferimento

Il Data Base del MIUR sulle scuole italiane, opportunamente riorganizzato e validato, ha rappresentato l'universo di indagine. Nel seguito si indica con $U = \{u_1, \dots, u_N\}$ la popolazione scolastica di riferimento, dove N è pari a circa 48 mila scuole (dato ISTAT-MIUR 2011-2012), che si suddivide tra: 19 mila scuole dell'infanzia; 16 mila scuole primarie; 7.100 scuole secondarie di primo grado e circa 6.000 scuole secondarie di secondo grado. Sia quindi $\{U_i, i = 1, \dots, H\}$ la partizione di U che definisce la stratificazione sulla base di zona climatica e macro-regione.

3.1.2 Definizione del sampling design

La definizione del campione casuale ha seguito una procedura a due fasi, che definisce un campionamento cosiddetto a *network*:

- Estrazione di un campione casuale semplice stratificato senza ripetizione di dimensione pari a circa 800 scuole, sulla base di macro-regione e zona climatica, con sampling allocation proporzionale. Somministrazione alle scuole selezionate di un questionario dettagliato sulle caratteristiche degli edifici e degli impianti installati.
- Invio di una query all'ente di gestione di riferimento, per ogni unità selezionata, e raccolta delle informazioni di interesse (consumi energetici, caratteristiche edifici, caratteristiche impianti) per tutte le scuole gestite dall'ente.

Si osserva che nel calcolo delle probabilità di inclusione si dovrà tenere conto della probabilità di risposta da parte dell'ente, che è stata stimata sulla base di un opportuno modello stocastico.

Si definiscono allora le seguenti quantità:

- N , popolazione totale di riferimento.
- n , dimensione del campione casuale stratificato.
- N_i , con $i = 1, \dots, H$, dimensione dello strato i -simo.
- n_i , con $i = 1, \dots, H$, dimensione del campione casuale semplice per lo strato i -simo.
- e_k , con $k = 1, \dots, N$, ente di riferimento per la scuola k -sima.
- $N_i(e_k)$, con $i = 1, \dots, H$ e $k = 1, \dots, N$, numero di scuole facenti riferimento all'ente e_k incluse nello strato i .
- m_{e_k} , con $k = 1, \dots, N$, probabilità di risposta dell'ente e_k .
- S_k , con $k = 1, \dots, N$, variabile casuale dicotomica di inclusione nel campione per la scuola k -sima.
- π_k , con $k = 1, \dots, N$, probabilità di inclusione per la scuola k -sima.
- π_{kl} , con $k, l = 1, \dots, N$, probabilità di inclusione congiunta per le scuole k e l .

In primo luogo, per definizione di allocazione proporzionale:

$$n_i = n \frac{N_i}{N}, \quad i = 1, \dots, H.$$

In secondo luogo, il modello probabilistico di risposta deve essere calibrato sui risultati dell'indagine presso gli enti di riferimento. Per quanto riguarda le scuole il cui ente di riferimento è la provincia (nella maggior parte dei casi scuole secondarie di secondo grado), si è operato un censimento presso tutte le 105 province italiane. Le probabilità m_{e_k} sono stimate sulla base delle frequenze di risposta, dopo aver raggruppato gli enti su base territoriale (Nord, Centro, Sud e Isole).

Per quanto riguarda gli enti comunali, sono stati contattati i comuni relativi alle scuole estratte nella prima fase. Le probabilità di risposta sono ottenute mediante regressione logistica su territorio, dimensione demografica e dimensione amministrativa (capoluogo provinciale). In questo modo, nelle stime dei totali, si otterrà una compensazione della sotto-rappresentazione di unità statistiche per il Sud e per i piccoli centri.

La probabilità di inclusione per le scuole gestite al livello provinciale coincide con la probabilità di risposta dell'ente provinciale di riferimento (censimento). Mentre per quanto riguarda le scuole gestite al livello comunale essa coincide con la probabilità che almeno una scuola del comune di riferimento sia presente nel campione casuale stratificato iniziale, cioè, per ogni scuola:

$$P(S_k = 1) = \pi_k = \begin{cases} m_{e_k}, & \text{se la scuola è gestita al livello provinciale} \\ m_{e_k} \left(1 - \prod_{i=1}^H \frac{(N_i - N_i(e_k))}{\binom{N_i}{n_i}} \right), & \text{se la scuola è gestita al livello comunale} \end{cases}$$

Alla stessa maniera è facile calcolare le probabilità di inclusione congiunte. Se indichiamo con:

$$p_k = \prod_{i=1}^H \frac{\binom{N_i - N_i(e_k)}{n_i}}{\binom{N_i}{n_i}} = \prod_{i=1}^H \frac{(N_i - n_i)(N_i - n_i - 1) \cdots (N_i - n_i - N_i(e_k) + 1)}{N_i(N_i - 1) \cdots (N_i - N_i(e_k) + 1)}$$

e con

$$p_{kl} = \prod_{i=1}^H \frac{\binom{N_i - N_i(e_k) - N_i(e_l)}{n_i}}{\binom{N_i}{n_i}},$$

allora:

$$P(S_k S_l = 1) = \pi_{kl} = \begin{cases} \pi_k, & \text{se } k = l, \text{ o appartengono allo stesso ente} \\ \pi_k \pi_l, & \text{se le scuole appartengono a enti di diverso livello (comune o provincia)} \\ m_{e_k} m_{e_l}, & \text{se le scuole appartengono a province diverse} \\ m_{e_k} m_{e_l} (1 - p_k - p_l + p_{kl}), & \text{se le scuole appartengono a comuni diversi} \end{cases}$$

3.1.3 Trattamento dei dati

La fase di analisi e validazione dei dati raccolti ha implicato:

- Digitalizzazione e organizzazione dei record;
- Omogeneizzazione delle unità di misura (kwh, kwht, euro, m2, m3);
- Codifica delle risposte (tipologia impianti, tipologia edificio, fonti rinnovabili, ecc.);
- Raccordo con il data base del MIUR e assegnazione del codice meccanografico e del numero di alunni;
- Validazione dell'associazione;
- Identificazione di osservazioni Outlier;
- Trattamento dei dati mancanti o scorretti (metodi di imputazione *hot-deck*, *cold-deck*, regressione}).

3.1.4 Stime

Le stime delle quantità di interesse e degli intervalli di confidenza sono ottenute mediante opportuni stimatori, selezionati sulla base delle informazioni ausiliare a disposizione (numero alunni e zona climatica), variabili rilevate (consumi elettrici, consumi, termici, superficie utile dell'edificio) e delle relazioni tra esse.

Di seguito si elencano le quantità stimate, i domini di analisi e gli stimatori utilizzati.

1. Consumi elettrici totali annui, consumi annui medi per scuola, consumi annui medi per alunno (media pesata), espressi in kwh.
 - a. **Domini:** totale nazionale; ripartizione geografica; classe dimensionale della scuola (in termini di alunni).
 - b. **Stimatore:** stimatore di rapporto con variabile ausiliaria il numero di alunni.
2. Consumi termici totali annui, consumi annui medi per scuola, consumi annui medi per alunno (media pesata), espressi in kwht.
 - a. **Domini:** totale nazionale; zona climatica; ripartizione geografica; classe dimensionale della scuola (in termini di alunni).
 - b. **Stimatore:** stimatore di regressione generalizzato bivariato sul numero di alunni e sui gradi giorno con modello omoschedastico.
3. Consumi elettrici e termici annui specifici, espressi in kwh/m².
 - a. **Domini:** totale nazionale; zona climatica; ripartizione geografica; classe dimensionale della scuola (in termini di alunni).
 - b. **Stimatore:** stimatore di rapporto con variabile ausiliaria la superficie utile dell'edificio.

L'espressione generale dello stimatore di rapporto per il totale di una variabile di interesse y rispetto alla popolazione e del corrispondente stimatore della varianza è data dalle formule seguenti:

$$\hat{\tau}_{ry} = \tau_x \frac{\hat{\tau}_{\pi y}}{\hat{\tau}_{\pi x}} = \tau_x \hat{R},$$

$$\widehat{\text{Var}}(\hat{\tau}_{ry}) = \sum_{j,k \in S} \frac{\pi_{jk} - \pi_j \pi_k}{\pi_{jk} \pi_j \pi_k} (y_j - \hat{R}x_j)(y_k - \hat{R}x_k),$$

dove τ_x è il totale (noto) della variabile ausiliaria e $\hat{\tau}_{\pi x} = \sum_{i \in S} x_i / \pi_i$ la sua stima campionaria ottenuta con lo stimatore di Horvitz-Thompson. Per quanto riguarda lo stimatore generalizzato di regressione su J variabili ausiliarie $\{x_j, j = 1, \dots, J\}$ (di cui lo stimatore di rapporto rappresenta, in effetti, un caso particolare *uni-variato*), la sua espressione più generale è data:

$$\hat{\tau}_r = \hat{\tau}_{\pi y} + \sum_{j=1}^J \hat{\beta}_j (\tau_{x_j} - \hat{\tau}_{\pi x_j}),$$

dove gli $\hat{\beta}_j$ con $j = 1, \dots, J$, rappresentano la stima campionaria dei J parametri di regressione, mentre la varianza può essere stimata tramite:

$$\widehat{\text{Var}}(\hat{\tau}_r) = \sum_{j,k \in S} \frac{\hat{\pi}_{jk} - \hat{\pi}_j \hat{\pi}_k}{\hat{\pi}_{jk} \hat{\pi}_j \hat{\pi}_k} \hat{\epsilon}_j \hat{\epsilon}_k,$$

dove $\hat{\epsilon} = \mathbf{y} - \hat{\mathbf{y}}$ rappresenta il vettore dei residui⁵.

⁵ Per maggiori dettagli si veda, ad esempio, Carl Erik Sarndal et. al, "Model Assisted Survey Sampling", Springer, 1992