



Istituto Regionale
Programmazione
Economica
della Toscana

Il ruolo delle famiglie, degli edifici e delle scelte di efficienza nei consumi finali di elettricità residenziale in Italia

Edoardo Alberti

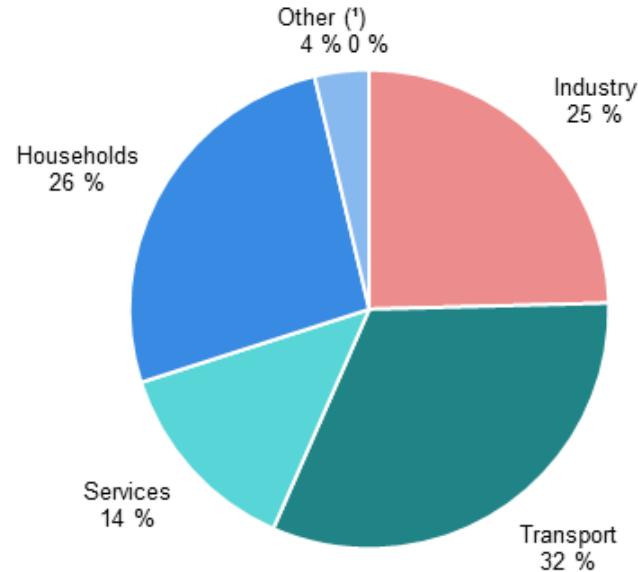
Conferenza: "Costruire la Transizione Sostenibile in Italia:
Ricerche, Sfide e Politiche"

Firenze,
14 Gennaio 2026

Struttura dei contenuti

1. Fatti stilizzati
2. Gli obiettivi politici, il ruolo degli usi finali di energia elettrica e l'energy management
3. Motivazioni e domande di ricerca
4. Dati
5. Strategia Econometrica
6. Risultati
7. Conclusioni e implicazioni politiche

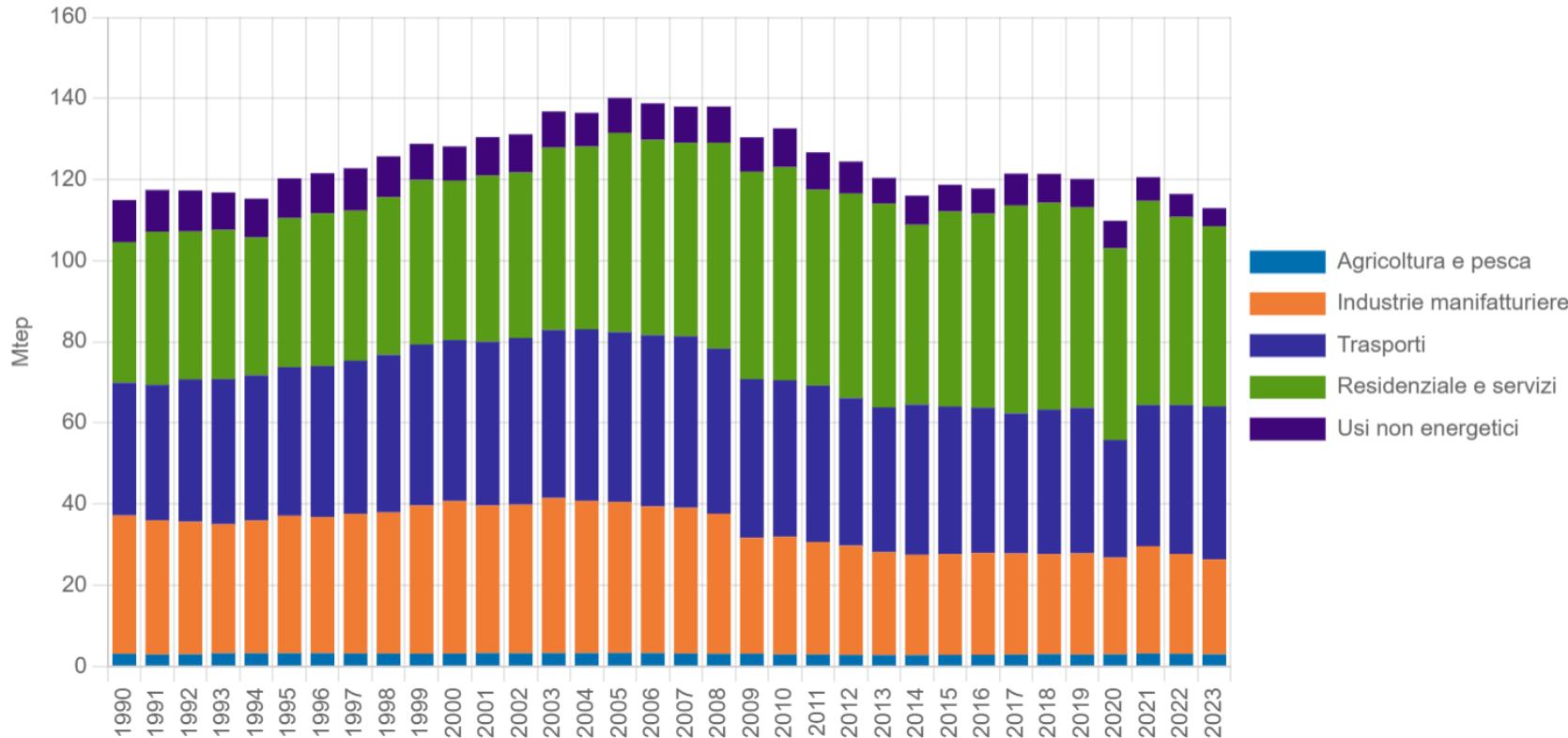
Fatti Stilizzati (1)



Consumo finale di energia per settore, Europa, 2023
(% del totale, basato su terajoules).

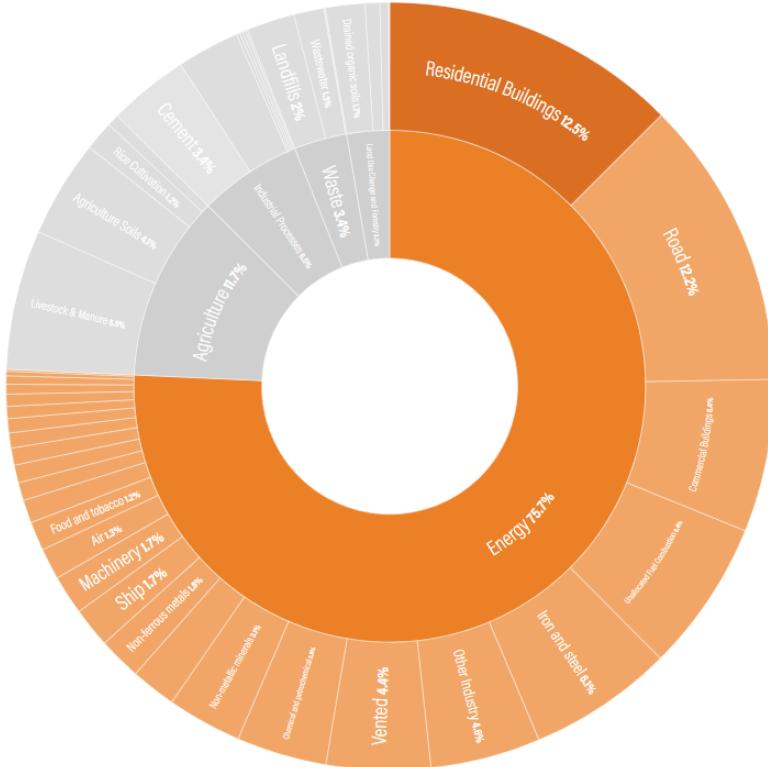
Fonte: Eurostat.

Fatti Stilizzati (2)



Consumi finali e totali di energia per settore economico, Italia.
Fonte: Ispra.

Fatti Stilizzati (3)



Emissioni mondiali di gas serra per settore e uso finale, 2021.

Fonte: World Resource Institute.

Gli obiettivi politici, il ruolo degli usi finali di energia elettrica e l'energy management

- La gestione della domanda energetica, attraverso efficienza e riduzione dei consumi, è una leva chiave per il clima ed è una priorità condivisa da letteratura scientifica, IEA e Commissione Europea.
- Gli elettrodomestici costituiscono una componente chiave dei consumi energetici domestici e la loro analisi è essenziale per stimare i fabbisogni di capacità elettrica e supportare la definizione delle politiche e delle tariffe energetiche.
- I consumi energetici residenziali sono difficili da gestire e analizzare per l'elevata eterogeneità edilizia e comportamentale, i vincoli di privacy e misurazione e perché il consumo elettrico dipende dalle modalità d'uso degli elettrodomestici, determinate da caratteristiche sociodemografiche e abitative.

Motivazioni e domande di ricerca

- Analizzare l'eterogeneità dei consumatori consente di progettare politiche di efficienza energetica mirate, valutando come caratteristiche familiari e abitative influenzino i consumi rispetto a famiglie «tipo» e abitazioni «standard» e se gli investimenti in efficienza riducano effettivamente i consumi o generino effetti di rimbalzo.
- Qual è il consumo di energia elettrica imputabile all'uso e al consumo di ciascun elettrodomestico o dispositivo/impianto elettrico?
- L'eterogeneità delle preferenze in materia di possesso di elettrodomestici, le caratteristiche socio-demografiche delle famiglie italiane e le caratteristiche tecniche e fisiche dei singoli edifici influiscono sul consumo di energia elettrica?
- Infine, gli investimenti nell'efficienza energetica comportano un risparmio significativo in termini di spesa e potrebbero essere un'azione da promuovere in termini di intervento politico al fine di ridurre le emissioni di carbonio?

Dati (1)

- I dati provengono **dall'Indagine sui consumi energetici delle famiglie** (ISTAT), anno 2021, basata su un campionamento casuale a stadio unico dei comuni italiani, stratificati per regione, dimensione della popolazione e zona altimetrica.
- Il dataset osserva famiglie italiane a livello micro, includendo caratteristiche sociodemografiche ed economiche, geolocalizzazione, struttura dell'abitazione, informazioni su elettrodomestici e investimenti recenti in efficienza energetica.
- Poiché il dataset fornisce solo la spesa elettrica annuale in euro, stimiamo i consumi impliciti in kWh tramite prezzi medi da Eurostat (simile a **Bardazzi e Pazienza (2020)**); il prezzo non entra nel modello per evitare endogeneità, dato che nel brevissimo periodo i consumi riflettono principalmente dotazione di elettrodomestici e caratteristiche socio-abitative.
- Il reddito disponibile non è presente nel dataset, quindi è stato imputato tramite **abbinamento statistico** con Eu-Silc 2020; il reddito equivalente familiare è calcolato secondo metodologia OCSE.
- Dopo aver eliminato i valori mancanti, applicato la procedura di abbinamento statistico e pulito, il numero finale di osservazioni è pari a **32.321 unità familiari**.

Dati (2)

Variabili	Descrizione
Profilo socio-demografico della famiglia	
Dimensione del nucleo familiare (categorica)	Numero di persone che vivono effettivamente in casa. Costruita su sei livelli; l'ultimo rappresenta nuclei con cinque membri.
Età del capofamiglia (continua)	Indica l'età del capofamiglia.
Sesso del capofamiglia (binaria)	Assume valore 1 se il capofamiglia è maschio, 0 altrimenti.
Alto livello d'istruzione del capofamiglia (binaria)	Assume 1 se il capofamiglia è in possesso di laurea o titolo superiore, 0 altrimenti.
Componenti anziani nel nucleo (continua)	Indica il numero di persone con più di 60 anni presenti nel nucleo.
Bambini (continua)	Indica il numero di bambini che vivono nel nucleo.
Indicatori economici del nucleo	
Reddito equivalente del nucleo (continua)	Indica il livello di reddito equivalente del nucleo familiare.
Caratteristiche dell'edificio	
Numero di stanze (continua)	Indica il numero di stanze dell'abitazione.
Villa (binaria)	Assume 1 se l'abitazione è una casa di campagna, villa o unifamiliare, 0 altrimenti.
Superficie in metri quadrati (continua)	Indica i metri quadrati dell'abitazione.
Anno di costruzione dopo il 1990 (binaria)	Assume 1 se l'abitazione è stata costruita dopo il 1990, 0 altrimenti.
Finestre con telai in PVC o legno (binaria)	Assume 1 se le finestre sono in PVC o legno, 0 altrimenti.
Pareti esposte (binaria)	Assume 1 se l'abitazione ha almeno due lati esterni esposti, 0 altrimenti.
Uso del termostato per il riscaldamento (binaria)	Assume 1 se il sistema di riscaldamento è regolato da un termostato, 0 altrimenti.
Fattori legati alla localizzazione	
Distribuzione geografica – Area Nord (binaria)	Assume 1 se l'abitazione si trova nel Nord Italia, 0 altrimenti (Centro o Sud).
Dotazione di elettrodomestici del nucleo	
Impianto di riscaldamento elettrico (binaria)	Assume 1 se il nucleo possiede l'elettrodomestico, 0 altrimenti.
Scaldabagno elettrico (binaria)	Assume 1 se il nucleo possiede l'elettrodomestico, 0 altrimenti.
Frigorifero (binaria)	Assume 1 se il nucleo possiede il frigorifero, 0 altrimenti.
Età del frigorifero (>10 anni) (binaria)	Assume 1 se il frigorifero è posseduto da più di 10 anni, 0 altrimenti.
Congelatore (non incluso nel frigorifero) (binaria)	Assume 1 se il nucleo possiede il congelatore, 0 altrimenti.
Carichi di lavaggio per settimana (continua)	Indica il numero di carichi della lavatrice effettuati a settimana.
Età della lavatrice (>10 anni) (binaria)	Assume 1 se la lavatrice è posseduta da più di 10 anni, 0 altrimenti.
Asciugatrice (non inclusa con la lavatrice) (binaria)	Assume 1 se il nucleo possiede l'asciugatrice, 0 altrimenti.
Lavastoviglie (binaria)	Assume 1 se il nucleo possiede la lavastoviglie, 0 altrimenti.
Piani cottura elettrici (binaria)	Assume 1 se il nucleo possiede piani cottura elettrici, 0 altrimenti.
Forno elettrico (binaria)	Assume 1 se il nucleo possiede forno elettrico, 0 altrimenti.
Computer (continua)	Indica il numero di computer posseduti dal nucleo familiare.
Lampadine tradizionali (continua)	Indica il numero di lampadine tradizionali nell'abitazione.
Lampadine a risparmio energetico (continua)	Indica il numero di lampadine a risparmio energetico nell'abitazione.
Telegiorni a colori (continua)	Indica il numero di telegiorni posseduti dal nucleo.
Aria condizionata (binaria)	Assume 1 se il nucleo possiede impianto di aria condizionata, 0 altrimenti.
Attrezzi elettrici da giardino (binaria)	Assume 1 se il nucleo possiede attrezzi elettrici da giardino, 0 altrimenti.

Tabella 1. Variabili definite dal dataset Istat impiegate nel modello di regressione

Dati (3)

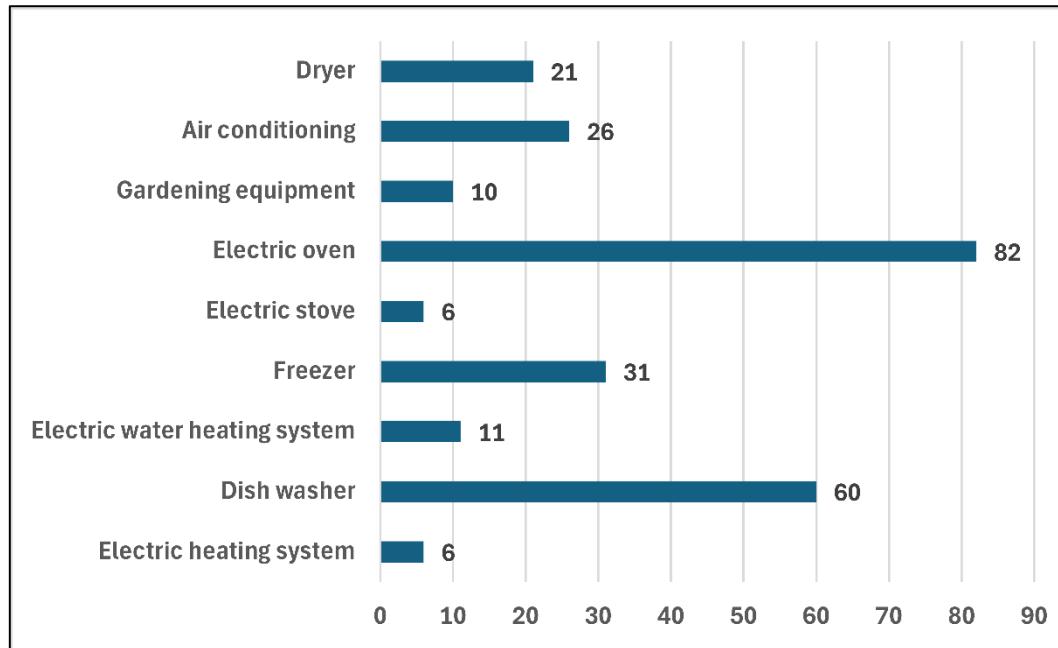


Figura 1. Percentuali di saturazione di ciascun elettrodomestico. Ciascuna percentuale descrive il rapporto tra il numero di famiglie che possiedono il singolo elettrodomestico e il numero totale di famiglie.

Dati (4)

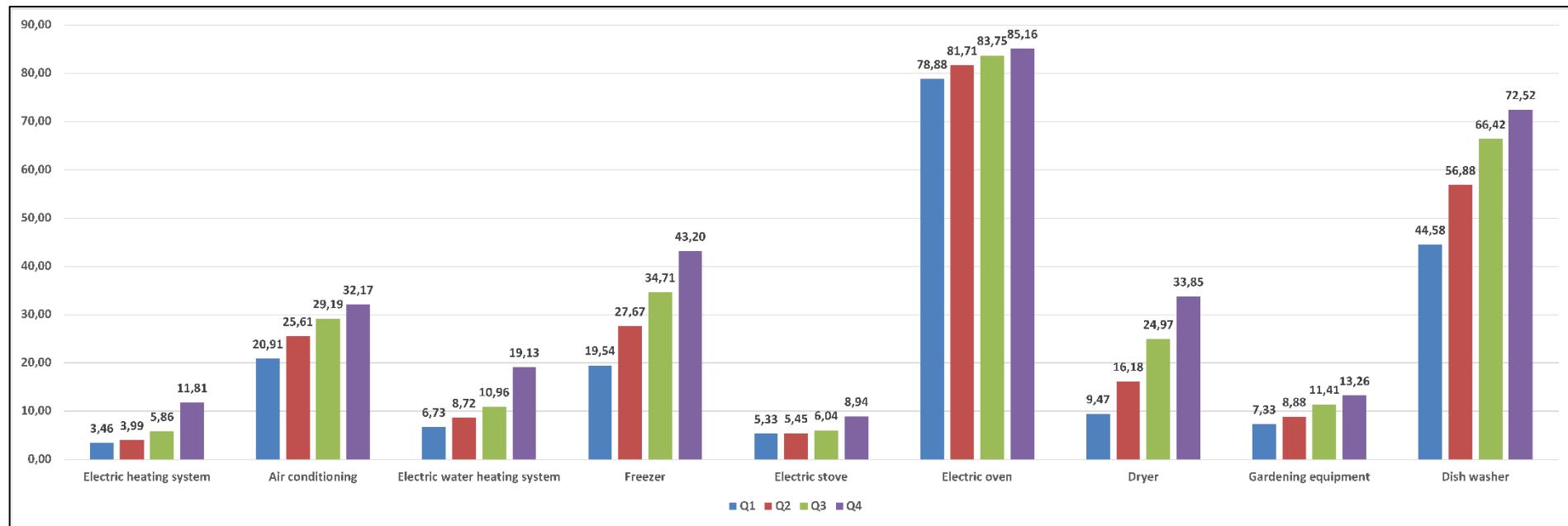


Figura 2. Percentuali di saturazione di ciascun elettrodomestico per quartile di consumo elettrico.

Dati (5)

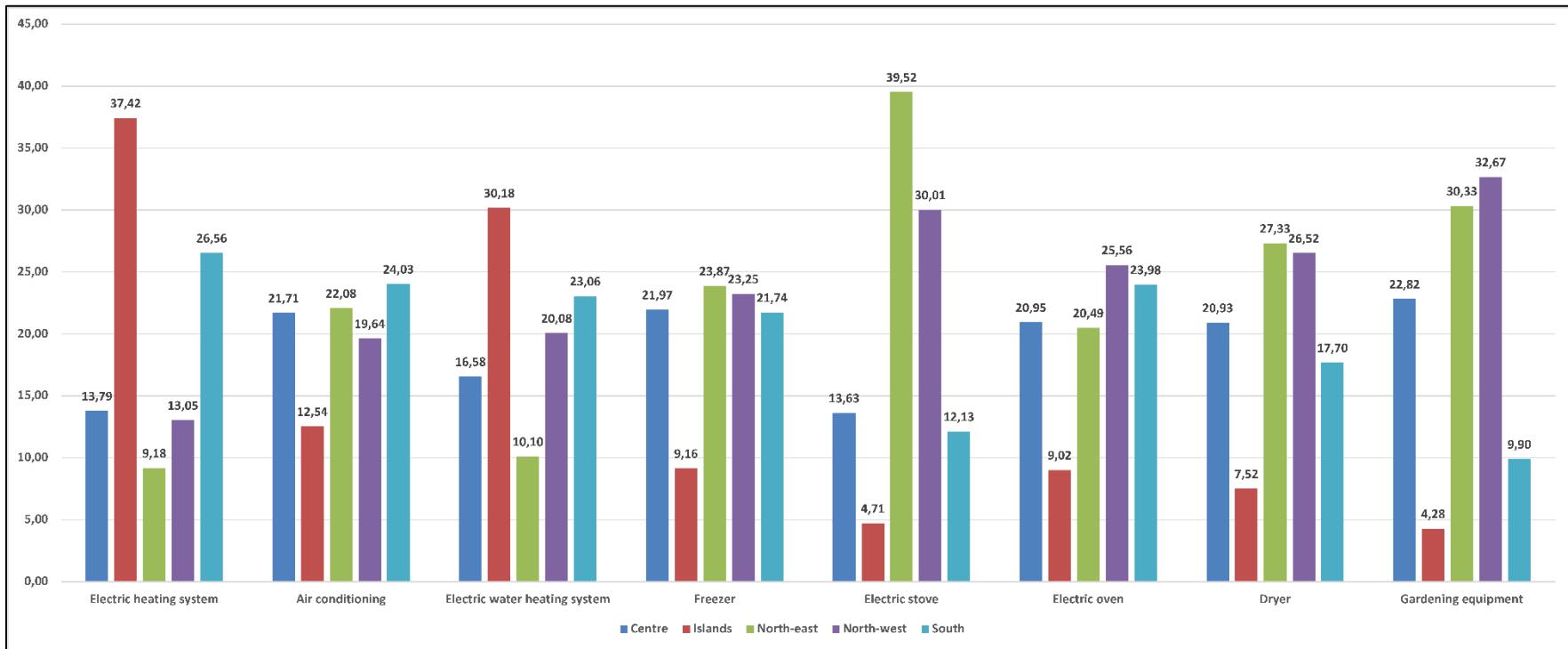


Figura 3. Percentuali di saturazione di ciascun apparecchio per distribuzione geografica.

Dati (6)

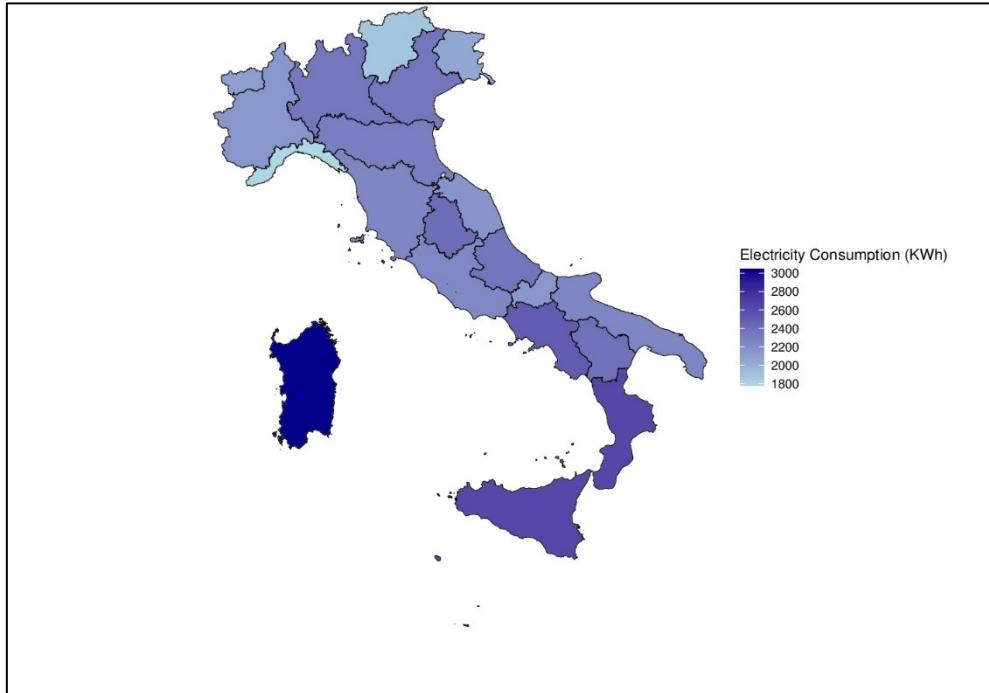


Figura 4. Distribuzione regionale del consumo annuo di energia elettrica delle famiglie per classi energetiche.

Strategia Econometrica (1)

Modello di domanda condizionata

$$EC_i = \beta_1 + \sum_{j=1}^J \lambda_j HS_{ij} + \sum_{l=1}^L \theta_l D_{il} + \sum_{k=1}^K \gamma_k N_{ik} + \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M \rho_{lm} (C_{im} - \bar{C}_{lm}) D_{il} + \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \rho_{km} (C_{im} - \bar{C}_{km}) N_{ik} + \epsilon_i$$

$i = 1, \dots, N$ è il numero di famiglie

EC_i = consumo annuo di energia elettrica in kwh della famiglia i

β_1 = è la costante, chiamata elettricità miscellanea

HS_{ij} = dimensione della famiglia

$D_{il} = 1$ se la famiglia i possiede l'elettrodomestico l, 0 altrimenti

N_{ik} = variabile di conteggio per i k elettrodomestici espressi come variabile continua (es. numero cicli settimanali della lavatrice)

$m = 1, \dots, M$ regressori

$(C_{im} - \bar{C}_{lm})$ = deviazione dalla media delle m variabili;

$(C_{im} - \bar{C}_{km})$ = deviazione dalla media delle m variabili;

\bar{C}_{lm} e \bar{C}_{km} = valori medi delle m variabili calcolati tra le osservazioni che hanno l'elettrodomestico l o elettrodomestico k espresso come conteggio

$\beta_1, \beta_j, \theta_l, \gamma_k, \rho_{lm}, \rho_{km}$ sono i parametri da stimare

- L'equazione viene stimata utilizzando la regressione dei minimi quadrati ordinari (OLS).
- Nella regressione OLS standard sono stati incorporati errori standard robusti per affrontare il problema dell'eteroschedasticità.
- Si presume che tutte le variabili esplicative siano esogene per le famiglie e che non vi siano variazioni nello stock di elettrodomestici, poiché ci concentriamo su un'analisi di brevissimo termine.
- Il modello di regressione quantilica viene impiegato per stimare nuovamente l'equazione. Nel nostro modello viene utilizzato il bootstrap standard error (BSE).

Strategia Econometrica (2)

Analisi Controfattuale

- Il lavoro analizza l'impatto degli investimenti in usi finali energeticamente efficienti sul consumo elettrico delle famiglie italiane, adottando il quadro dei risultati potenziali per l'analisi causale del trattamento (Roy, 1951; Rubin, 1974).
- L'effetto degli investimenti familiari in efficienza energetica sul consumo elettrico è stimato tenendo conto dell'endogeneità della decisione di investimento, che genera bias di selezione nelle stime OLS non sperimentali.
- Il trattamento è rappresentato dalla decisione di investimento in un intervento di efficienza energetica sul sistema di condizionamento: T prende valore 1 se la famiglia ha effettuato tale investimento negli ultimi 5 anni e 0 altrimenti. Tutte le famiglie che fanno parte di questo sotto-campione possiedono un sistema di condizionamento che fa sia aria calda che fredda. Il trattamento è **endogeno!**
- La strategia empirica si basa sul modello di selezione in due fasi di Heckman, che combina un'equazione di selezione (probit sull'investimento in efficienza energetica) e un'equazione degli esiti (log del consumo elettrico annuo sul trattamento).

Strategia Econometrica (3)

Analisi Controfattuale

- L'identificazione del modello di Heckman richiede strumenti che influenzino la probabilità di investire in efficienza energetica (rilevanza nel primo stadio) senza avere effetti diretti sul consumo elettrico (requisito di esclusione), se non tramite la decisione di investimento.
- Nel modello di Heckman, per *strumento* si intende una *variabile di esclusione* e rilevante per la selezione, utilizzata per stimare il rapporto inverso di Mills, e non uno strumento nel senso del metodo IV tradizionale.
- Gli strumenti sono definiti a livello regionale e sono quattro:
 1. Il numero di giorni di caldo estremo e freddo estremo nel periodo 2018-2020 (in logaritmo);
 2. Il numero di giorni di piogge intense nel periodo 2018-2020 (in logaritmo);
 3. La quota regionale degli investimenti di ristrutturazione finanziati con bonus fiscali rispetto al totale nazionale degli investimenti effettuati nel periodo 2018-2020;
 4. L'incidenza regionale delle abitazioni occupate dai proprietari nel periodo 2018-2020.
- La robustezza dei risultati è verificata testando tutte le combinazioni di strumenti, selezionando quelle con trattamento significativo ($p < 0,001$) e strumenti congiuntamente rilevanti nella prima fase, analizzando la distribuzione dei coefficienti stimati e replicando le stime con una misura alternativa di reddito, ottenendo risultati stabili e coerenti.

Risultati OLS senza interazioni

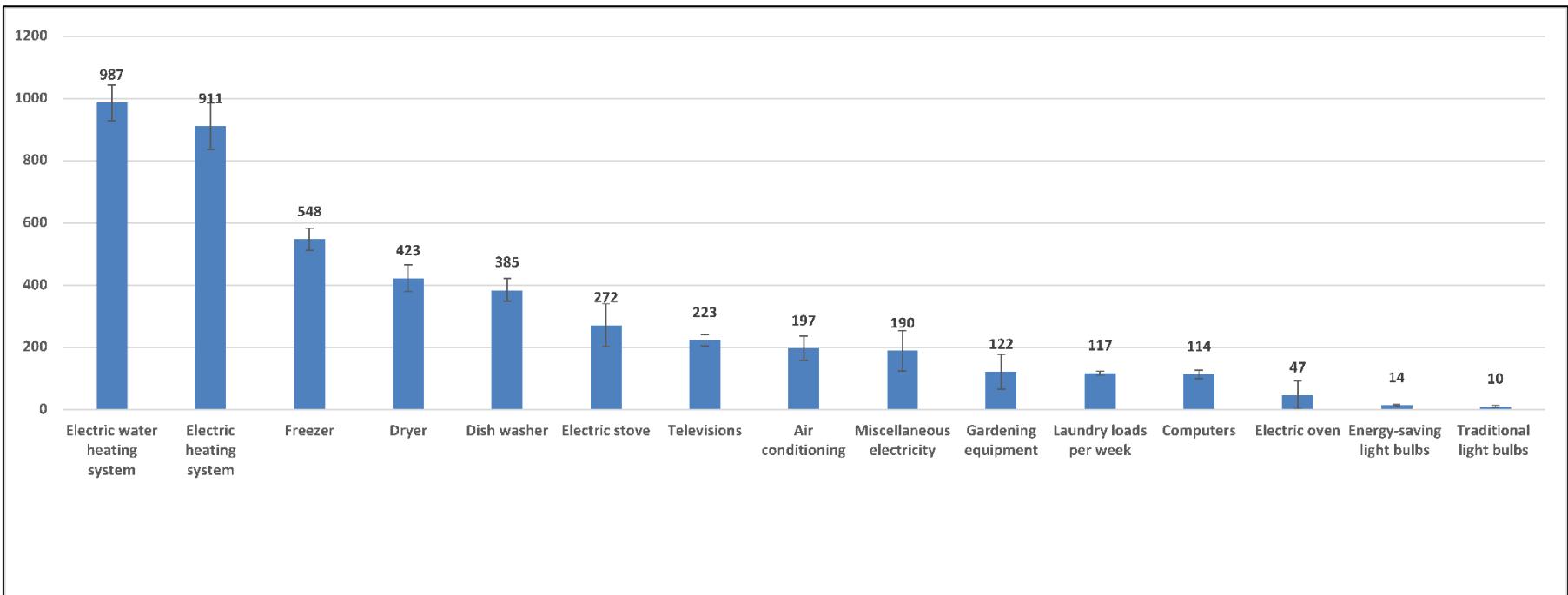


Figura 5. Consumo stimato delle famiglie tramite il metodo dei minimi quadrati ordinari. Il modello include solo il possesso di elettrodomestici e la dotazione senza interazioni e con coefficienti significativi almeno al 10%. La variabile di risposta è il consumo annuo di elettricità della famiglia espresso in kilowattora.

Risultati reg. quantilica senza interazioni

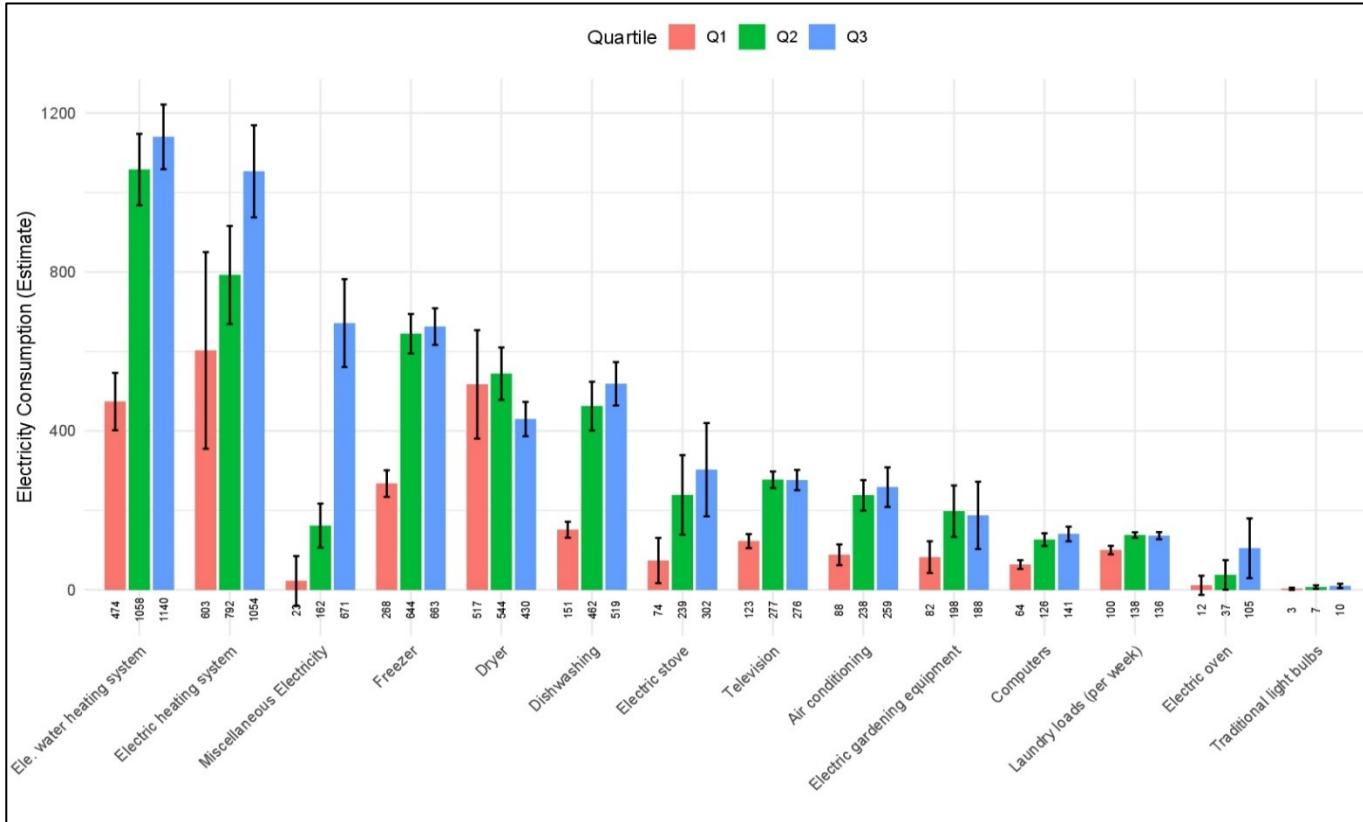


Figura 6 : Consumo stimato delle famiglie tramite approcci di regressione quantile. Il modello include solo il possesso di elettrodomestici e la dotazione senza interazioni e con coefficienti significativi almeno al 10%. La variabile di risposta è il consumo annuo di elettricità della famiglia espresso in kilowattora.

Risultati OLS con interazioni

Sintesi degli effetti trovati (alcuni):

- **L'inclusione dei termini di interazione** non modifica in modo sostanziale la gerarchia dei consumi elettrici per elettrodomestico rispetto alla specifica OLS di base.
- Il consumo elettrico cresce in **modo monotono con la dimensione della famiglia** rispetto alla famiglia monocomponente.
- **L'età del capofamiglia** influenza in modo eterogeneo i consumi: nuclei con capofamiglia più anziano della media mostrano un maggiore consumo per riscaldamento elettrico, computer e asciugatrice, ma un consumo marginale inferiore per televisori.
- **Le famiglie con capofamiglia uomo** consumano meno elettricità per il riscaldamento elettrico ma di più per frigoriferi e, in misura minore, fornì elettrici.
- **Un livello di istruzione più elevato** è associato a maggiori consumi per riscaldamento elettrico e fornì, ma a minori consumi per frigoriferi.
- **Un numero di figli superiore alla media** aumenta il consumo elettrico per scaldabagno, lavastoviglie e aria condizionata, mentre riduce il consumo marginale per computer e cicli di lavatrice.

Risultati OLS con interazioni (2)

Sintesi degli effetti trovati (alcuni):

- I nuclei con **capofamiglia occupato** mostrano un consumo inferiore per i piani cottura elettrici e un consumo marginale più elevato per ciclo di lavatrice.
- Il **reddito** mostra effetti limitati e non sistematici: livelli più elevati riducono il consumo per scaldabagno ma aumentano quello per i piani cottura.
- **Le caratteristiche strutturali** incidono fortemente sui consumi: ville e case indipendenti mostrano maggiori consumi per riscaldamento, acqua calda e climatizzazione, mentre dimensioni, numero di stanze ed esposizione influenzano in modo differenziato illuminazione, televisione e raffrescamento.
- **La localizzazione geografica** introduce una marcata eterogeneità climatica, con consumi più elevati per il riscaldamento elettrico nel Nord Italia e una domanda significativamente maggiore di aria condizionata nel Sud.

Risultati reg. quantilica con interazioni

- Per quanto riguarda gli effetti di interazione tra i quartili, non emergono differenze rilevanti da segnalare.
- L'analisi mediante regressione quantile mostra che, rispetto alla stima OLS "media", il contributo degli stessi elettrodomestici **cresce in modo monotono** passando dal quartile di consumo più basso a quello più alto, suggerendo maggiore intensità d'uso o minore efficienza nelle famiglie ad alto consumo; in particolare, gli usi termici risultano determinanti, con aumenti molto marcati per **scaldabagno elettrico, riscaldamento elettrico e congelatore**, che incidono in modo sproporzionato sui livelli più elevati di consumo di elettricità.

Risultati modello Heckman

Modello Probit di selezione				
Variabile	Stima	Errore standard	Valore t	Valore p
<i>Log giorni di caldo estremo 2018</i>	0.91	0.34	2.68	0.01
<i>Log giorni di caldo estremo 2019</i>	-0.86	0.32	-2.65	0.01
<i>Log giorni di caldo estremo 2020</i>	-0.02	0.01	-1.76	0.08
<i>Log giorni di freddo estremo 2018</i>	0.01	0.01	2.49	0.01
<i>Log giorni di freddo estremo 2019</i>	0.01	0	2.22	0.03
<i>Log giorni di freddo estremo 2020</i>	-0.01	0.01	-2.13	0.03
<i>Incidenza 2020</i>	-1.4	0.64	-2.23	0.03
<i>Proprietà dell'abitazione 2018</i>	0.09	0.03	2.65	0.01
<i>Proprietà dell'abitazione 2019</i>	-0.09	0.03	-2.95	0
.....				
Equazione degli esiti				
Variabile	Stima	Errore standard	Valore t	Valore p
<i>Investimenti in efficienza dei condizionatori</i>	-0.88	0.06	-14.59	0
.....				
<i>Sigma</i>	0.67	0.01	77.2	0
<i>Rho</i>	0.64	0.04	17.35	0

$$e^{\beta} - 1 = -0,58$$

Tabella 2. Stime del modello Heckman. Impatto degli investimenti nell'efficienza dei sistemi di climatizzazione sul consumo energetico annuale delle famiglie in log.

Conclusioni e implicazioni politiche

- L'analisi evidenzia un'elevata eterogeneità dei consumi elettrici domestici, con una forte concentrazione su pochi elettrodomestici energivori, responsabili della maggior parte della variabilità osservata.
- L'inclusione di covariate socio-demografiche e abitative aumenta significativamente il potere esplicativo del modello, evidenziando il ruolo centrale dell'eterogeneità comportamentale nella domanda elettrica residenziale.
- L'analisi per elettrodomestico mostra che i determinanti dei consumi sono fortemente specifici per tecnologia e riflettono una combinazione di fattori strutturali, comportamentali e climatici, con marcate differenze geografiche tra Nord e Sud.
- La dispersione dei consumi tra quartili per singolo elettrodomestico suggerisce inefficienze tecnologiche e un significativo potenziale di riduzione dei consumi tramite investimenti in apparecchi più efficienti.
- L'analisi identifica un effetto causale significativo degli investimenti in sistemi di climatizzazione efficienti sulla riduzione del consumo elettrico, evidenziando l'efficacia della sostituzione tecnologica nella domanda residenziale.
- Abbiamo osservato che la propensione a investire in efficienza della climatizzazione aumenta con il reddito, indicando che gli interventi sono più diffusi tra le famiglie più abbienti e che le politiche pubbliche dovrebbero garantire un accesso equo agli incentivi anche per i nuclei a basso reddito.

Grazie per
la vostra attenzione!