

Legambiente Emilia-Romagna

Breve presentazione del soggetto concorrente

Legambiente, nata nel 1980, è oggi l'associazione ambientalista italiana più diffusa sul territorio: oltre 1000 gruppi locali, 20 comitati regionali, più di 115.000 tra soci e sostenitori. Legambiente Emilia-Romagna è l'articolazione regionale dell'Associazione, con circa 50 circoli presenti sul suo territorio. La storia di Legambiente è legata a grandi valori condivisi e condivisibili, come il desiderio di un mondo diverso, la scelta pacifista e nonviolenta, i valori di democrazia e libertà, solidarietà, giustizia e coesione sociale, modernità fondata sugli interessi generali a cominciare dall'ambiente. Legambiente è un'associazione completamente apartitica, aperta ai cittadini di tutte le convinzioni politiche e religiose e si finanzia grazie ai contributi volontari di soci e sostenitori. È riconosciuta dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare come associazione d'interesse ambientale; fa parte del Bureau Européen de l'Environnement, l'organismo che raccoglie tutte le principali associazioni ambientaliste europee, e della IUCN (The World Conservation Union). È riconosciuta dal Ministero degli Affari Esteri come ONG di sviluppo.

Nel panorama ambientalista italiano, Legambiente è una delle organizzazioni più conosciute per le campagne di analisi e informazione sull'inquinamento come Goletta verde, Treno Verde, Fiuminforma e Salvalarte, che ogni anno "fotografano" lo stato di salute dei mari, delle città, dei fiumi, dei monumenti; Mal'aria, la campagna delle lenzuola contro lo smog; Cambio di clima, programma di azioni per ottenere l'applicazione in Italia del Protocollo di Kyoto contro i mutamenti climatici e per favorire il risparmio energetico e lo sviluppo delle fonti rinnovabili; Piccola grande Italia, iniziativa per la difesa e la valorizzazione dei piccoli comuni.

Altre iniziative sono:

- i grandi appuntamenti di volontariato, gioco e turismo ambientale per il recupero e la valorizzazione di spiagge, parchi e giardini pubblici, piazze, boschi (Spiagge e fondali puliti, Puliamo il mondo, Festa dell'albero, 100 strade per giocare, Nontiscordardimé/Operazione scuole pulite, i campi di Volontariato)
- l'attività di ricerca e proposta dell'Osservatorio su ambiente e legalità, che raccoglie e diffonde dati ed informazioni sui fenomeni d'illegalità che danneggiano l'ambiente e sulle "ecomafie";
- l'impegno per una piena valorizzazione delle aree protette e delle economie territoriali basate sulla qualità;
- Legambiente per un'agricoltura italiana di qualità, campagna per promuovere i prodotti agroalimentari tipiche e pulite;
- le campagne e i progetti del Settore Scuola e Formazione per la diffusione dell'educazione ambientale e la formazione;
- pubblicazione di dossier e rapporti sullo stato dell'ambiente in Italia, denunciandone le incompatibilità e suggerendo azioni concrete.

Progetto di risparmio idrico Bagnacavallo (Ra)

Ambito territoriale prevalente del progetto: Comune di Bagnacavallo (RA)

Durata complessiva del progetto: dall'attivazione 3 anni

data inizio 2003

data fine 2006

Responsabile del progetto

Cognome Becchi

Nome Massimo

Ruolo ricoperto all'interno dell'Organizzazione concorrente Segretario Legambiente Emilia-Romagna

Sintesi del progetto/esperienza

Il Progetto di risparmio idrico "Bagnacavallo" nasce da una proposta di Legambiente accolta dalla Regione Emilia-Romagna che ha reso operativa l'idea. E' il primo progetto pilota nato con l'intento di dare una risposta al problema del risparmio idrico mettendo in sinergia tecnologia ed informazione. L'area di studio del progetto comprende il comune di Bagnacavallo in provincia di Ravenna. La scelta è caduta su Bagnacavallo per le sue dimensioni, considerate ideali per questo tipo di dimostrazione, per la facilità di monitoraggio della rete e per le contenute perdite della rete stessa. L'Amministrazione Comunale di Bagnacavallo ha accolto con favore la proposta di Regione e Legambiente con l'intento di offrire un'opportunità di risparmio idrico ed energetico per i propri cittadini, di cui essi beneficeranno al momento di pagare le bollette; congiuntamente, nel quadro di un'attenta e complessiva gestione delle politiche ambientali del Comune di Bagnacavallo, a fornire un contributo importante ad accrescere e sperimentare un uso consapevole di una risorsa rinnovabile essenziale come l'acqua.

Il progetto "Bagnacavallo" ha distribuito gratuitamente ad ogni nucleo familiare residente nel comune, 3.817 in tutto, di un kit consistente in regolatori di flusso da applicare sia a rubinetti che a docce, dotati delle più moderne tecnologie per il risparmio idrico. Si tratta di piccoli apparecchi che, aumentando la percentuale di aria presente nell'acqua corrente, ne diminuiscono il flusso, incrementando nello stesso tempo la sensazione di confort e la resa igienico-sanitaria. Successivamente tramite studi scientifici si è valutato il risparmio idrico ottenuto. Gli apparecchi sono stati consegnati gratuitamente a tutti gli utenti residenti nel Comune. La sperimentazione, che ha visto il coinvolgimento e la fondamentale collaborazione di Hera Ravenna, della Provincia di Ravenna e dell'Università degli studi di Parma, è terminata nel 2006, al termine della quale sono stati resi noti i dati ufficiali relativi al risparmio idrico realmente ottenuto.

Descrizione analitica del progetto

Il contesto di riferimento del progetto: problematiche in cui si inserisce e soggetti destinatari

L'aumento del consumo d'acqua, per usi civili e produttivi, ha determinato negli ultimi anni l'insorgere di una situazione assai problematica per quanto riguarda il reperimento delle risorse idriche. Spesso questo stato è aggravato dalle condizioni precarie in cui versano le acque, sia superficiali che di falda, che risultano inquinate e talvolta del tutto inutilizzabili a fini potabili o irrigui. I deflussi idrici di moltissimi corsi d'acqua, in Italia e nei Paesi europei, sono inoltre fortemente alterati da prelievi eccessivi e dalla presenza di infrastrutture (dighe, canalizzazioni e derivazioni) che incidono pesantemente sui bilanci idrici e sulla disponibilità della risorsa, con impatti sia sul grado di soddisfacimento di tutti i bisogni, sia sulle funzioni ecosistemiche degli ambienti fluviali e delle adiacenti zone ripariali. In Italia, nonostante la riduzione dei consumi (soprattutto industriali) registrata di recente, la situazione resta in alcune aree critica per l'insufficienza e l'inefficienza dei sistemi acquedottistici, per il permanere della contaminazione delle falde, per i crescenti fenomeni di intrusione salina, per gli alti consumi del settore agricolo.

Ridurre il consumo idrico nel settore domestico è necessario per diminuire la pressione sull'acqua di buona qualità, con ripercussioni anche sul consumo globale della risorsa. Inoltre il settore domestico costituisce ambito privilegiato per l'educazione al buon uso dell'acqua, condizione "sine qua non" per un attecchimento dei principi di sostenibilità. Il progetto descritto tenta di dare una prima risposta a questo problema prestando attenzione alle tecnologie da utilizzare e all'informazione, nella consapevolezza che nessuna politica di utilizzo razionale delle risorse può prescindere dalla sensibilizzazione della collettività.

I soggetti destinatari sono i cittadini e le attività produttive, laddove il consumo idrico non sia connesso al ciclo produttivo.

Gli obiettivi e gli aspetti innovativi e sperimentali

Gli obiettivi generali che questo progetto si è proposto di ottenere sono:

1. sperimentare su una comunità estesa una tecnologia per il risparmio idrico che sia di facile applicazione (bassissimi costi e facilità di installazione) e, in forza di ciò, possa diffondersi, dopo la fase di sperimentazione, anche a vasti settori della collettività;
2. sensibilizzare la collettività sui temi del risparmio idrico e dell'uso sostenibile della risorsa acqua;
3. iniziare un percorso di collaborazione tra enti locali, organizzazioni non governative, società di servizi e Università per la realizzazione di progetti finalizzati alla implementazione pratica dei principi di sostenibilità.

Fasi e modalità di realizzazione del progetto

Per la realizzazione del progetto dal mese di novembre 2003 sono stati distribuiti gratuitamente ai cittadini di Bagnacavallo i kit del risparmio idrico, fase durata al mese di aprile 2004. Dopo la fase di distribuzione, preceduta da una campagna informativa, si è proceduto a monitorare mensilmente delle famiglie di Bagnacavallo (numero 149) e del vicino comune di Fusignano (per confronto) con letture mensili del contatore. Una descrizione più dettagliata di tutti gli obiettivi, le fasi e le modalità della sperimentazione è riportata sui due report che vengono allegati per motivi di completezza e correttezza del dato.



Presenza di eventuali partner del progetto

Soggetti attuatori:

Regione Emilia-Romagna
Servizio Tutela e Risanamento Risorsa Acqua

PROVINCIA DI RAVENNA

Comune di Bagnacavallo
Assessorato alle Politiche Ambientali

Legambiente Emilia-Romagna

Hera Ravenna s.r.l.

Università degli Studi di Parma
Dipartimento di Scienze Ambientali

I risultati conseguiti o attesi

La sperimentazione ha mostrato che l'installazione dei riduttori di flusso può realmente ridurre i consumi. I principali dati sperimentali acquisiti per Bagnacavallo nel corso della sperimentazione:

Risparmio medio per utenza 8.86%

Risparmio medio pro-capite 10.37%

Consumi medi domestici per utenza prima dell'utilizzo dei riduttori = 0.357 m³/gg/utenza

Consumi medi domestici pro-capite prima dell'utilizzo dei riduttori = 0.155 m³/gg/abitante

Numero complessivo di famiglie che hanno ritirato il kit = 1.921

Numero complessivo di abitanti che hanno ritirato il kit = 4.974

E' stato poi possibile estendere il risultato a livello regionale e stimare il risparmio energetico che ne è conseguito, che vengono illustrati nei due report (I e II) allegati.

Si allega il report conclusivo (parte I e II) redatto dall'Università di Parma, vista la complessità della trattazione statistica dei dati stessi ed alcuni materiali prodotti per l'iniziativa.

Progetto Risparmio idrico Bagnacavallo (RA)

Data: 31/10/2005

Antonio Bodini – Dipartimento di Scienze Ambientali, Università di Parma

Stefano Allesina – Department of Fisheries and Wildlife Science, Michigan State University

Cristina Bondavalli – Dipartimento di Scienze Ambientali, Università di Parma

Parte I

1. Premessa

L'acqua è senza dubbio una risorsa principale per l'uomo e per gli ecosistemi. Le attività umane incidono sul bilancio idrico sia dal punto di vista quantitativo, per gli ingenti volumi prelevati, che qualitativo, considerando lo stato di degrado in cui le acque spesso sono restituite ai corpi idrici superficiali e sotterranei. Secondo dati dell'Organizzazione per la Cooperazione Economica e lo Sviluppo (OECD 2001), l'Italia si colloca al terzo posto in Europa per l'entità del prelievo pro-capite (dopo Portogallo e Spagna) e di quello riferito alla disponibilità della risorsa (dopo Belgio e Spagna).

In aggiunta al massiccio sfruttamento della risorsa acqua si deve rilevare che mancanze nelle strutture depurative, sia pubbliche sia private, scarsi controlli sugli scarichi e inquinamento diffuso (attività agricole, zootecniche, suoli contaminati), hanno determinato nel 75% delle acque superficiali uno stato di forte deterioramento, mentre nitrati, solventi clorurati e fitofarmaci spesso raggiungono nelle acque di falda valori vicini alla concentrazione massima ammissibile (Ronchi, 1999).

L'uso insostenibile di questa risorsa sta producendo uno vero e proprio stato d'emergenza quali-quantitativa, cui contribuisce un sistema di gestione poco efficiente, che si caratterizza per forti perdite dagli acquedotti (dal 30% al 50%) e per usi impropri o irrazionali (si pensi all'irrigazione dei campi da golf nelle località in cui si riscontra una grave penuria d'acqua come la Sardegna). Le priorità che emergono dal quadro brevemente delineato riguardano la gestione sostenibile della risorsa acqua, raggiungibile mediante strategie che ne limitino il prelievo e al tempo stesso garantiscano il mantenimento di standard di qualità accettabili.

Nell'insieme di queste strategie se ne possono identificare alcune di pertinenza dei vari livelli di governo e altre la cui applicazione pratica vede i cittadini come parte attiva e non solo come bersagli di politiche "command & control". Sono, queste ultime, quelle strategie riconducibili

alle buone pratiche quotidiane che consentono di limitare gli sprechi delle risorse attraverso comportamenti semplici e, spesso, limitatamente onerosi.

Lo slogan “pensare globalmente, agire localmente”, ancorché abusato, esprime in maniera sintetica il fatto che la transizione verso la sostenibilità, come sottolineato nei vari consessi internazionali, da Rio 1992 a Johannesburg 2002, deve necessariamente partire dal basso e cioè dalle singole comunità di cittadini e dai governi locali. Il progetto “Bagnacavallo”, di cui sono descritti e commentati i risultati in questo documento, si colloca in questa prospettiva. L’obiettivo principale della sperimentazione era quello di testare l’efficacia, in chiave di risparmio idrico, di dispositivi riduttori di flusso da applicare a rubinetti e docce. Tuttavia questo test non è stato concepito semplicemente come una verifica della performance di un dispositivo, ma si è inserito in una campagna della Regione Emilia Romagna presso i cittadini in favore delle buone pratiche di uso dell’acqua. Risulta quindi chiaro qual è l’intento della Regione: non solo sensibilizzare l’opinione pubblica ma anche, stabilita l’efficacia dei riduttori di flusso, mettere a disposizione uno strumento in grado di rendere concreto l’impegno verso il risparmio della risorsa idrica da parte di cittadini e famiglie.

2. Il disegno sperimentale

L’obiettivo fondamentale del progetto era quello di valutare se i riduttori di flusso consentissero un reale risparmio idrico. Per verificare questa ipotesi si è pensato di strutturare la sperimentazione prevedendo l’installazione di riduttori di flusso da parte di un certo numero di utenze del Comune di Bagnacavallo e il confronto dei consumi fatti registrare dalle medesime utenze prima e dopo l’installazione.

Una eventuale differenza significativa nei consumi prima e dopo l’installazione dei riduttori, tuttavia, potrebbe anche non essere imputabile all’effetto del dispositivo (es. cambiamento di abitudini della popolazione). Per questa ragione si è pensato di utilizzare anche un gruppo di controllo le cui utenze non fossero implicate nella sperimentazione. La scelta di questo gruppo è stata condotta immaginando un gruppo di utenti che fossero sottoposti alle medesime condizioni generali (culturali, climatiche, di approvvigionamento della risorsa ecc.) ma al tempo stesso relativamente poco condizionabili dall’avvio della sperimentazione. La scelta è caduta sul Comune di Fusignano, il cui territorio confina con quello del comune di Bagnacavallo.

Lo schema di analisi consta, fondamentalmente, dei seguenti passi:

- 1) confronto dei consumi prima e dopo sul gruppo campione;
- 2) confronto dei consumi prima e dopo sul gruppo di controllo;

- 3) confronto tra i consumi di Bagnacavallo e di Fusignano relativamente al periodo antecedente la sperimentazione dopo l'introduzione del dispositivo di riduzione del flusso da parte delle utenze del gruppo campione .

Il confronto prima-dopo sul gruppo campione è finalizzato a evidenziare variazioni nei consumi dopo l'installazione del dispositivo. In parallelo il confronto prima-dopo con il gruppo di controllo consente di evidenziare se, eventualmente, si siano verificate variazioni in grado di mascherare l'effetto del risparmio nel gruppo campione. Inoltre si è pensato a un confronto tra i consumi di Bagnacavallo e di Fusignano prima dell'inizio della sperimentazione per capire se le condizioni generali simili determinano patterns di consumo simili. In questo caso ci si attende una differenza non significativa nei consumi. Tuttavia il fulcro dell'analisi è costituito dai confronti prima e dopo. Il test sul controllo è importante per evitare di attribuire al kit una eventuale differenza significativa nei consumi che, al contrario, potrebbe essere fatta risalire a qualche altra ragione (mutamento delle condizioni generali). I confronti prima e dopo sono stati pensati mediante test t-Student per due campioni dipendenti (dati appaiati). Il confronto prima-prima è chiaramente un test di tipo conoscitivo, che si conduce mediante un t-Student per due campioni indipendenti.

Per confermare o approfondire gli elementi conoscitivi forniti dai t-Student l'indagine prevedeva una analisi della varianza per saggiare la significatività delle differenze in funzione dei diversi fattori di variabilità. Successivamente il disegno sperimentale ha previsto l'applicazione di una analisi della varianza (modello lineare) per identificare i fattori che potevano giocare un ruolo significativo nel condizionare i consumi e quindi il risparmio. Infine si è pensato di valutare l'entità del risparmio attraverso un modello lineare.

3. Il campione

La sperimentazione è stata condotta su un campione di utenze del Comune di Bagnacavallo e un gruppo controllo di pari dimensione selezionato tra le utenze del Comune di Fusignano. Il campione non è stato scelto in modo casuale; così facendo si è contravvenuto a uno dei presupposti dell'analisi statistica. Per ragioni operative legate alla logistica e ai costi delle rilevazioni la società Hera ha selezionato, sul totale delle utenze servite per ciascun Comune, due set di 300 famiglie localizzate nel territorio del centro storico delle due località. Il campione sarebbe dovuto comporsi di quelle utenze, tra le 300 selezionate, che avrebbero ritirato i dispositivi di flusso, purché in numero sufficiente per gli scopi dell'analisi.

La campagna di informazione sulla possibilità di utilizzare dispositivi domestici di risparmio idrico ha visto Comune di Bagnacavallo e Legambiente impegnate per circa 4 mesi a partire dal Novembre 2003. Al termine di questo periodo le utenze che avevano ritirato i riduttori ammontavano a 149. Prima di intraprendere un'indagine statistica, ci si deve interrogare su quante

unità di interesse (in questo caso utenze) si debbano esaminare per raggiungere con sufficiente attendibilità l'obiettivo desiderato (cioè verificare che il dispositivo consente un reale risparmio idrico). Questa è una delle parti più delicate nella pianificazione di una indagine. Ovviamente più grande è il campione più attendibili sono i risultati. Aumentare la dimensione del campione richiede costi maggiori e tempi di lavoro più lunghi; un compromesso tra l'esigenza di avere un campione grande per una maggior attendibilità dei risultati e quella di ridurre i costi determina, in generale, la dimensione "reale" del campione. Nel caso in questione, considerato che non era disponibile un campione randomizzato (casuale), è stato deciso di condurre la sperimentazione utilizzando tutte le utenze che avevano ritirato i riduttori di flusso e che ricadevano nell'elenco selezionato da Hera. Si è partiti, dunque, con un campione composto da 149 unità. Il gruppo di controllo, con un numero uguale di unità, è stato selezionato per sorteggio tra le 300 utenze inizialmente scelte.

Per verificare che la dimensione del campione fosse sufficiente agli scopi dell'indagine è stata condotta una stima teorica approssimativa del numero di osservazioni necessarie (prassi che, tuttavia, presuppone che siano rispettate tutte le condizioni per la scelta del campione casuale). Il calcolo della dimensione del campione richiede la conoscenza di informazioni diverse. I principali fattori da considerare sono: la varianza e l'intervallo di confidenza desiderato. La varianza è una misura del grado di variabilità del parametro su cui viene compiuta l'analisi, in questo caso il consumo idrico giornaliero. La precisione di un campione è maggiore quando la popolazione da cui esso viene estratto è tendenzialmente omogenea (bassa variabilità), mentre è minore quando la popolazione presenta una variabilità elevata. La misura della variabilità determina quindi la necessità di un campione ampio o più ristretto. L'intervallo di confidenza rappresenta una misura della bontà di una stima. Un intervallo di confidenza molto ampio suggerisce che non si è molto sicuri del punto in cui si trova il «vero» valore. Viceversa, un intervallo ristretto indica che si è abbastanza sicuri che il valore trovato è piuttosto vicino al valore vero della popolazione; in questo caso la stima sarà, quindi, più precisa. Il livello di confidenza è una misura della sicurezza della stima: ad esempio, con un livello di confidenza 95% siamo sicuri al 95% che il valore vero cade nell'intervallo trovato. Cioè, se ripetessimo lo studio 20 volte, in media sbaglieremmo 1 volta ma saremmo nel giusto 19 volte. Per convenzione si utilizza generalmente il livello di confidenza 95%; talvolta si impiegano anche i livelli 90% o 99%. La scelta del livello di confidenza è spesso dettata da considerazioni pratiche (quantità di risorse e di tempo disponibili ecc.) più che dalla teoria.

La risposta alla domanda "quanti dati servono?" esige che sia dichiarato lo scopo per cui il campione di dati è raccolto. In questo caso lo scopo è quello di verificare che l'utilizzo del dispositivo riduttore di flusso consenta effettivamente una riduzione dei consumi idrici per usi civili. In pratica si tratta di stabilire se dopo avere installato i dispositivi le utenze fanno registrare

consumi inferiori. In ultima analisi, perciò, si tratta di confrontare le stesse unità campionarie per i consumi prima e dopo l'installazione dei dispositivi. Questo tipo di analisi rientra nel campo dei confronti tra medie di due campioni dipendenti. Il test di riferimento più immediato per la verifica di questa ipotesi è il t-Student per due campioni dipendenti (dati appaiati). Sulla base di questa informazione è possibile stimare la dimensione ottimale (minima) del campione usando la formula seguente:

$$n = \frac{s^2 \times t_{\alpha/2, v}^2}{d^2}$$

in cui

- (s^2) è la varianza del campione
- (t) è il valore della statistica t-Student considerato alla probabilità prefissata
- (α) il livello di significatività
- d è il valore della differenza minima di cui si intende saggiare la significatività

Dato che la formula serve per stabilire quante utenze devono formare il campione è ovvio che non si possa avere una stima della varianza del campione medesimo (s^2). In genere si procede con degli esperimenti eseguiti su campioni pilota. Per questa prova sono state utilizzati, invece, i dati relativi a misure mensili preliminari effettuate da Hera sulle 300 utenze di partenza ($n=300$). La varianza per questo gruppo di misure è risultata essere (s^2)= **0.03385**.

La differenza minima di cui si intendeva saggiare la significatività è stata ottenuta considerando un risparmio del 20% legato all'uso del kit (la casa costruttrice indicava un risparmio anche del 50%). Quindi si è calcolato che se a Bagnacavallo il consumo medio per utenza era di 0.3574 m³/giorno (dato ricavato dai consumi storici delle utenze appartenenti al campione, si veda la sezione successiva), dopo l'installazione del kit ci si attenderebbe un risparmio di 0,0714 m³/giorno, con un abbassamento della media a 0.286 m³/giorno. Il valore della differenza coincide con quello del risparmio, cioè **$d = 0,0714$** m³/giorno.

Il valore della statistica t è tabulato ma cambia in ragione del livello di probabilità. Questo livello di probabilità è in funzione dei rischi che si corrono giungendo a una conclusione sbagliata. In altre parole si è trattato di valutare se fosse più grave affermare che i kit funzionano quando in realtà non è così (rifiuto dell'ipotesi nulla che non ci sia differenza significativa quando è vera, errore di prima specie) oppure stabilire che non ci fosse differenza tra usare o meno il kit nel caso in cui ci sia effettivamente un vantaggio (accetto l'ipotesi nulla quando è falsa, errore di seconda specie).

Nel primo caso si potrebbe avere, ipoteticamente, una diffusione della sperimentazione e delle applicazioni su larga scala, con una promozione commerciale per le apparecchiature utilizzate,

ma, allo stesso tempo, non accompagnata da un risparmio reale e, di conseguenza senza benefici ambientali ed economici. Nel secondo caso si giungerebbe alla conclusione che i kit non funzionano, con la necessità di ricercare nuove tecnologie o nuove strategie per promuovere il risparmio idrico. A fronte del rischio di non ridurre i consumi di acqua e diffondere tra i cittadini la sfiducia nelle iniziative finalizzate a un migliore uso dell'acqua è sembrato preferibile un errore di seconda specie. Ciò ha comportato una riduzione del livello di probabilità α fino al 1% (test unilaterale). Definire rigorosamente il valore di β era più complicato in quanto si sarebbe dovuto conoscere la distribuzione dell'ipotesi alternativa.

Con una dimensione del campione pari all'intero lotto di 10 unità, per il valore di probabilità prefissato le tavole della distribuzione t-Student hanno reso un $t=2,8214$ (gradi di libertà= 9). Applicando la formula esplicitata in precedenza si ottiene per n (dimensione minima del campione) un valore uguale a 53. Procedendo per iterazione, utilizzando il valore stimato, si è ottenuta una nuova stima della dimensione del campione. Per 52 gradi di libertà le tavole rendono un $t=2,4002$ che determina una dimensione del campione pari a $n=39$. Per 38 gradi di libertà si ottiene $t=2,4286$, da cui si ottiene una dimensione minima del campione pari a $n= 40$. Il valore, così stabilizzato, può essere ritenuto la dimensione minima necessaria a valutare la differenza ipotizzata dovuta al risparmio in un confronto tra due campioni. In questo caso si è ottenuta una stima ben al di sotto di quella del campione effettivamente utilizzato.

Il confronto prima-dopo (confronto tra medie) costituisce il presupposto fondamentale della sperimentazione ed è stato utilizzato a priori per il dimensionamento del campione minimo. Avendo a disposizione anche il gruppo di controllo, il confronto tra i consumi idrici con e senza dispositivi riduttori poteva essere pensato entro uno schema di analisi più complesso, per esempio attraverso una analisi della varianza con più gruppi. Il più semplice schema analitico prevedeva una analisi della varianza con i due campioni confrontati prima e dopo l'avvio della sperimentazione. In tal modo si sarebbero dovuti confrontare 4 gruppi (Bagnacavallo prima e dopo, Fusignano prima e dopo), sotto l'ipotesi che una differenza minima (25% in meno sui consumi, come nel caso precedente) potesse essere evidenziata tra due medie. In questo contesto la stima del numero di osservazioni riguardava la dimensione (n) di ciascuno dei 4 gruppi a confronto. A tal fine si è usata la formula

$$n \geq 2 \left(\frac{\sigma}{\delta} \right)^2 \cdot (t(\alpha, \nu) + t(\beta, \nu))^2$$

in cui:

δ è la differenza minima tra almeno 2 medie, di cui si intende verificare la significatività, in questo caso pari a **0,0714** m³/giorno;

σ è la deviazione standard, determinata, anche per questo calcolo, dal campione preliminare di 50 utenze considerato per la stima precedentemente descritta, e pari a **0,1840**;

α è la probabilità alla quale si vuole che la differenza δ risulti significativa, in un test bilaterale, fissata uguale a 0.01 (1 %);

β è la potenza del test, cioè la probabilità di rifiutare l'ipotesi nulla quando è falsa, tratta da una distribuzione per test unilaterali, che è stata fissata al 90%, corrispondente ad una probabilità di β uguale a 0.10.

Nel caso di un'analisi della varianza in cui si confrontano le medie di **k** gruppi, ognuno con **n** dati, i gradi di libertà v dell'errore standard sono quelli della varianza d'errore, quindi uguali a $v = k \cdot (n-1)$. Poiché è sufficiente che sia significativa la differenza tra 2 delle **k** medie a confronto,

- per la probabilità α , si ricorre alla distribuzione t di Student per un test bilaterale;

- per la probabilità β , alla stessa distribuzione t di Student, ma per un test unilaterale.

Anche per questa stima si è proceduto per iterazione. Dopo 3 passaggi della procedura, immaginando inizialmente di selezionare un campione di 100 utenze, si è ottenuto un valore stabile di **n= 180**. In pratica questa avrebbe dovuto essere la dimensione minima di ciascun gruppo per potere eseguire le analisi statistiche con un confronto tra 4 gruppi mediante una analisi della varianza.

Al termine della campagna di distribuzione dei riduttori di flusso, delle 300 utenze selezionate per il centro storico 150 avevano ritirato i dispositivi. La dimensione di questo campione, era sovrabbondante per la prima stima di n , e scarsa per la seconda. Si è scelto di mantenere la dimensione pari a 150 per le seguenti ragioni. Il valore critico per la stima della numerosità entro ciascun gruppo è dato dal rapporto tra la deviazione standard (stimata dai dati storici dei consumi) e la stima della differenza da saggiare (il 20% in meno sui consumi). Questo valore è risultato assai elevato (2,5) in rapporto all'usuale pratica statistica (<1). Ciò era dovuto sia alla grande variabilità dei consumi idrici (che impone di usare un campione grande), sia all'esigua differenza che si era deciso di volere testare. Relativamente a quest'ultima grandezza, considerato che 1) il valore utilizzato (20% in meno nei consumi) era cautelativo rispetto a una differenza teorica dichiarata (50%); 2) per un risparmio del 30% la stima del campione si collocava al di sotto (**n=90**, stabile dopo la seconda iterazione) della dimensione ottenuta al termine della distribuzione, si è deciso di non allargare il numero delle unità da monitorare, evitando complicazioni dal punto di vista gestionale.

4. Le statistiche descrittive

In questa sezione vengono riportate le caratteristiche campionarie dei quattro gruppi formati dai dati del campione e del gruppo di controllo, e che sono stati poi utilizzati nell'analisi statistica. I gruppi sono costituiti dai valori dei consumi giornalieri per utenza a Bagnacavallo prima e dopo la sperimentazione e a Fusignano prima e dopo la sperimentazione. Supponendo che le utenze del gruppo di controllo non abbiano installato il kit (la campagna di distribuzione è stata realizzata solo a Bagnacavallo), per identificare anche per questo gruppo un "prima" e un "dopo" è stata imposta una soglia temporale fittizia, coincidente con la media delle date di ritiro dei dispositivi da parte delle utenze del gruppo campione. Qui di seguito sono riportati gli istogrammi e le statistiche numeriche (valore minimo, valore massimo, media, mediana, valori dei quartili) delle quattro distribuzioni (Figura1).

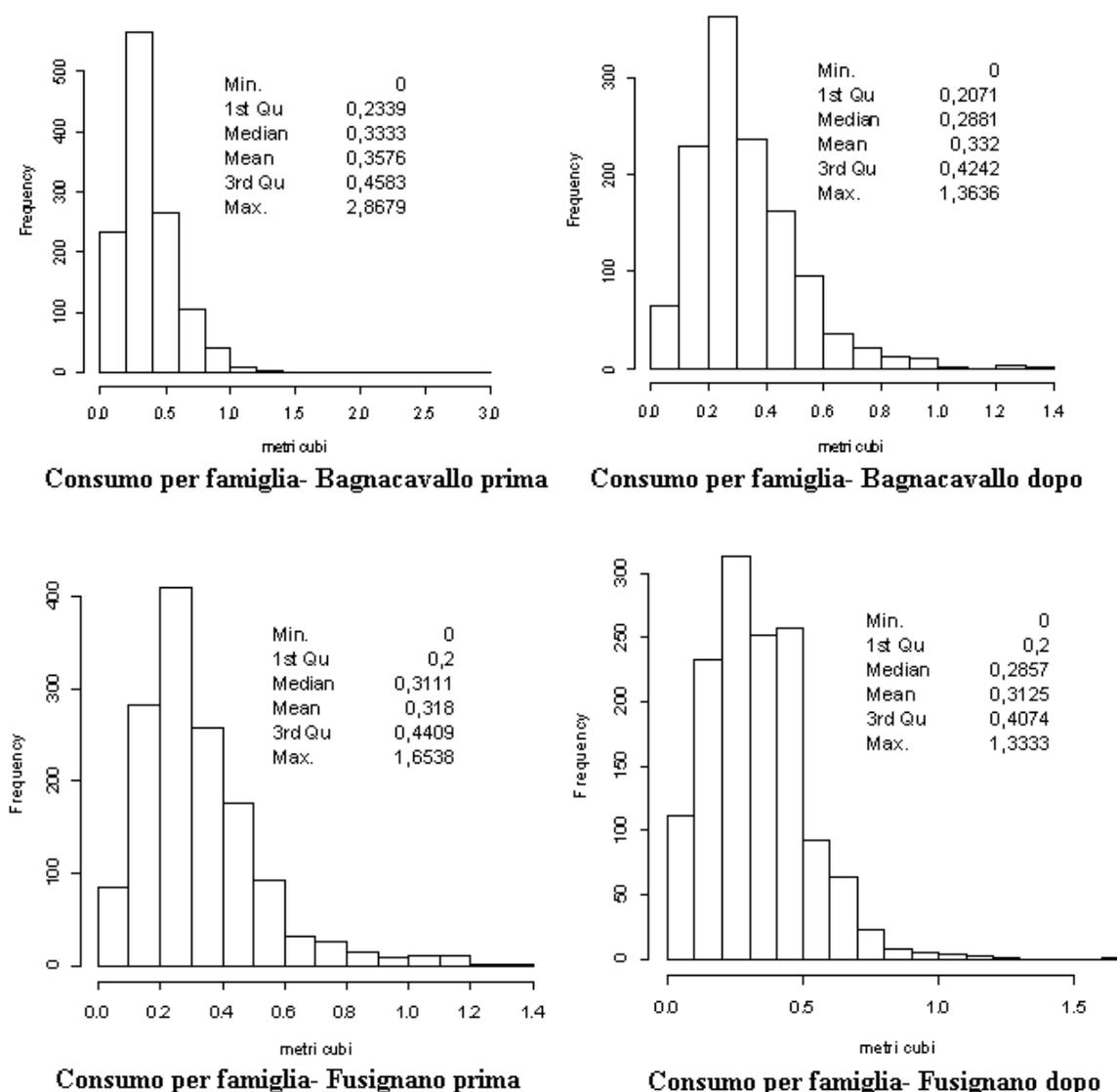


Figura1. Istogrammi delle distribuzioni dei consumi per utenza a Fusignano e Bagnacavallo.

Poiché i valori che danno vita alle distribuzioni riportate nei grafici di cui sopra sono i singoli dati del consumo giornaliero (il calcolo del consumo giornaliero è descritto nella sezione dedicata al database) le frequenze eccedono il numero di unità campionarie (le utenze).

Come si può notare le distribuzioni di dati sono fortemente asimmetriche. Ciò ha imposto una trasformazione dei dati per soddisfare alle condizioni necessarie per l'esecuzione dei test statistici parametrici. Questo procedimento è descritto nella sezione dedicata alle analisi statistiche.

5. La struttura del database

Import dei dati

I dati delle letture al contatore sono stati forniti da Hera in formato Excel e importati in un database Access attraverso un programma creato appositamente. Le letture appaiono, alla vista, strutturate come in Figura 2:



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	thema	codiceservizio	progservizio	matricola	lettura	causale	data	ora	delimitatore	
2	001	55567761	1	0001739	0001375	>>	221104	1129	%	
3	001	54997279	1	1759753	>>>>>>	>A	221104	1128	%	
4	001	54997481	1	0060210	0000658	>>	221104	1121	%	
5	001	55179963	1	0060212	0000323	>>	221104	1121	%	
6	001	57602539	1	4094472	0001154	>>	221104	1127	%	
7	001	55536742	1	4094452	0001022	>>	221104	1127	%	
8	001	54997582	1	3089807	0003805	>>	221104	1117	%	
9	001	55018804	1	7119921	0004981	>>	221104	1127	%	
10	001	55368711	1	0009493	>>>>>>	>A	221104	1123	%	
11	001	55011629	1	4118701	0002164	>>	221104	1125	%	
12	001	55382249	1	2864253	0005451	>>	221104	1112	%	
13	001	55540681	1	1688732	0000866	>>	221104	1108	%	

Figura 2. Schermata che illustra la struttura dei dati grezzi forniti dalla Società Hera.

Il programma di import dei dati permette di includere tutti i valori di lettura in una apposita tabella detta Tabella Letture, che si presenta nella forma illustrata da Figura 3

ID	CODICESERV	LETTURA	LETTVAL	Giorno	Mese	Anno	Inizio	data
5667	57088641	695	695	23	7	2001	0	23/07/2001
5668	55068617	1151	1151	13	2	2003	0	13/02/2003
5676	53150845	2615	2615	14	9	2002	0	14/09/2002
5685	57077931	708	708	12	7	2004	0	12/07/2004
5686	55137729	8682	8682	7	11	2003	0	07/11/2003
11986	56049529	1448	1448	24	3	2005	0	24/03/2005
5689	55540479	1271	1271	11	5	2004	0	11/05/2004
5690	57077931	764	764	26	8	2004	0	26/08/2004
5691	57088641	949	949	14	2	2002	0	14/02/2002
5692	57077931	540	540	8	10	2003	0	08/10/2003
5693	53220058	3105	3105	28	5	2004	0	28/05/2004
11545	56406308	1921	1921	22	3	2005	0	22/03/2005
5694	53150441	4020	4020	17	7	2003	0	17/07/2003

Figura 3. Schermata della Tabella “Letture” in Access.

In questa tabella insieme ai valori delle letture compaiono anche le date dei rilevamenti e altri parametri che saranno illustrati nel seguito (la Figura non presenta la schermata completa). I valori di lettura sono automaticamente associati alle utenze attraverso una relazione creata appositamente tra la Tabella Letture e la Tabella Utenze. Questa relazione è visibile in Figura 4, nella quale si nota che per una determinata utenza è possibile evidenziare tutti i valori delle sue letture:

COD SERV	N	COMUNE	RITIRATO	SCHEDA	Data ritiro	CENTRO	FRAZIONE	TOT NUCLE	CASALINGHE	STUDENTI	LAV
5499707	98	BAGNACAVALL	1	103	15/11/2003	1		2			
ID	LETTURA	LETTVAL	Giorno	Mese	Anno	Inizio	data	Delta	Consumo		
10617	355	355	20	8	2000	1	30/08/2000	0	0		
9815	375	375	13	10	2000	0	13/10/2000	20	0,1769911504		
9901	400	400	9	2	2001	0	09/02/2001	25	0,2155172414		
8262	448	448	20	7	2001	0	20/07/2001	48	0,298136646		
7460	476	476	4	10	2001	0	04/10/2001	28	0,3783783784		
9248	505	505	16	2	2002	0	16/02/2002	29	0,2196666667		
8427	537	537	8	6	2002	0	08/06/2002	32	0,2657142857		
7905	588	588	25	10	2002	0	25/10/2002	51	0,3722627737		
9022	617	617	25	2	2003	0	25/02/2003	29	0,2416666667		
8755	648	648	23	6	2003	0	23/06/2003	31	0,2627119544		
7938	692	692	6	11	2003	0	06/11/2003	44	0,3309270677		
8745	697	697	25	11	2003	2	25/11/2003	5	0,2631578947		
9891	705	705	8	1	2004	0	08/01/2004	8	0,1860465116		
8828	714	714	13	2	2004	0	13/02/2004	9	0,2571428571		
9139	728	728	14	4	2004	0	14/04/2004	14	0,2295081967		
7912	737	737	11	5	2004	0	11/05/2004	9	0,3333333333		
8917	744	744	9	6	2004	0	09/06/2004	7	0,25		
8226	754	754	12	7	2004	0	12/07/2004	10	0,3030303030		
7015	773	773	26	8	2004	0	26/08/2004	19	0,4318181818		
11178	780	780	21	9	2004	0	21/09/2004	7	0,28		
11228	797	797	22	11	2004	0	22/11/2004	17	0,2786885246		
11316	802	802	13	12	2004	0	13/12/2004	5	0,290962261		
11526	820	820	22	3	2005	0	22/03/2005	18	0,1818181818		
* (Contatore)											
55011629	27	BAGNACAVALL	1	747	20/11/2003	1		3		1	
5499729	7	BAGNACAVALL	1	623	19/11/2003	1		4			

Figura 4. Tabella utenze e connessione con i valori di letture delle singole utenze

La Tabella Utenze contiene anche le informazioni raccolte durante la campagna di distribuzione: la dimensione del nucleo familiare, l'anno di nascita dei componenti, la data di ritiro del kit, se l'utenza è dislocata in centro o in periferia, la professione dei componenti il nucleo.

Per eseguire correttamente lo studio si sono resi necessari due interventi sui dati: il primo consistente nel calcolare il consumo medio giornaliero per utenza, il secondo relativo alla definizione del numero di misure (e, quindi di consumi giornalieri), prima e dopo la campagna di distribuzione del kit. Nel primo caso era necessario calcolare il consumo giornaliero per il fatto che le rilevazioni non erano contemporanee (eseguite tutte allo stesso istante); di conseguenza, il dato grezzo era costituito da valori di consumo pertinenti a periodi di tempo diversi. Questa operazione è stata eseguita semplicemente con una divisione dei consumi rilevati per il numero di giorni intercorsi tra la lettura attuale e quelle precedente.

In questa fase sono state evidenziate alcune anomalie nei dati (dati negativi, casi di azzeramento del contatore, misure palesemente assurde attestanti consumi di centinaia di metri cubi a fronte di consumi generalmente più ridotti della medesima utenza, ecc.). In tutti i casi per i quali queste anomalie inficiavano la validità di tutte o buona parte delle letture successive l'utenza è stata eliminata. Per esempio, in una serie di letture storiche del tipo 15, 23, 227, l'ultimo valore è chiaramente un errore di lettura, che fa sì che nel calcolo dei consumi giornalieri tutte le letture successive 30, 35, 41 risultino assurde (differenziale negativo nei consumi giornalieri tra una lettura e l'altra). In un caso semplice come quello descritto sarebbe possibile utilizzare la serie di misure escludendo il valore 227; tuttavia per diverse utenze si sono registrati molti casi di errore e conseguenti difficoltà a utilizzare le misure "buone". Data la dimensione del campione si è deciso di eliminare tutte le utenze che presentavano problemi di questo tipo. Inoltre sono state eliminate dal database alcune utenze perché mancavano di dati storici (utenza 54973637).

Definire le letture prima e dopo la distribuzione dei riduttori si è rivelato piuttosto complicato. Il problema riguardava i consumi e il loro differenziale (campo DELTA). Come si nota dalla schermata di Figura 4 la Tabella Utenze presenta due colonne denominate Delta e Consumo. Nella prima viene registrata la differenza (in metri cubi) tra il valore della lettura cui fa riferimento la casella e quello della lettura immediatamente precedente. Nella colonna Consumo è stato inserito il risultato della divisione fra il valore del campo Delta e il numero di giorni intercorsi tra le due letture. Al momento dell'import dei dati, la prima lettura è stata inizializzata a 0. In questo modo si il consumo totale era semplicemente dato dalla somma i vari Delta.

Una nuova colonna, denominata Inizio, è stata inserita per tenere traccia della prima lettura (0 nel campo Delta). A tutte le caselle di questa nuova colonna che corrispondevano ai valori 0 nel campo delta è stato assegnato il valore 1 nella Tabella mostrata di seguito, estratta per ragioni di illustrazione dal database.

ID	LETTVAL	Inizio	data	Delta
781	2797	1	20/06/2000	0
782	2853	0	13/10/2000	56
783	2898	0	09/02/2001	45
784	2963	0	20/07/2001	65
785	2993	0	04/10/2001	30
786	3040	0	16/02/2002	47
787	3087	0	08/06/2002	47
788	3145	0	25/10/2002	58
789	3198	0	25/02/2003	53
790	3254	0	23/06/2003	56
3623	3305	0	08/10/2003	51
3624	3318	0	06/11/2003	13
3625	3324	2	25/11/2003	6
3626	3341	0	08/01/2004	17
3627	3352	0	13/02/2004	11
3628	3373	0	14/04/2004	21
3629	3384	0	11/05/2004	11
3630	3395	0	09/06/2004	11
5212	3411	0	12/07/2004	16
5333	3429	0	26/08/2004	18

Tabella 1. Spaccato della Tabella Letture in cui sono evidenziati i campi Inizio e Delta e il codice numerici di inizializzazione.

Inizializzare le misure prima e dopo (e i relativi delta) in modo corretto ha richiesto una ulteriore elaborazione. Si supponga che l'utente i cui dati sono riportati in Tabella 1 abbia ritirato il kit il 23/11/2004. Sommando semplicemente i consumi dopo il kit, i 6 metri cubi del 25/11 verrebbero assegnati alle misure dopo il kit, anche se in realtà ciò è vero solo in parte (il consumo di 4 giorni dovrebbe essere assegnato al periodo post-kit e la restante parte al periodo prima del kit). La situazione è anche più complicata: in alcuni casi non esistevano molte letture valide prima del kit, come, per esempio, nel caso illustrato in Tabella 2:

ID	LETTVAL	Inizio	data	Delta
781	2797	1	20/06/2000	0
782	2853	0	13/10/2000	56
783	3288	2	09/02/2004	435
784	3310	0	12/03/2004	22
785	3363	0	15/5/2004	53

Tabella 2. Caso di utenza con poche letture prima del ritiro dei riduttori di flusso.

Se si immagina che l'utente di Tabella 2 avesse ritirato il dispositivo l'8/02/2004 tre interi anni di consumi sarebbero stati assegnati al periodo posteriore al ritiro dei riduttori! Per ovviare a questo problema è stato inserito il Flag 2 nel campo Inizio per segnalare la prima lettura dopo l'installazione dei dispositivi (si vedano le Tabelle 1 e 2).

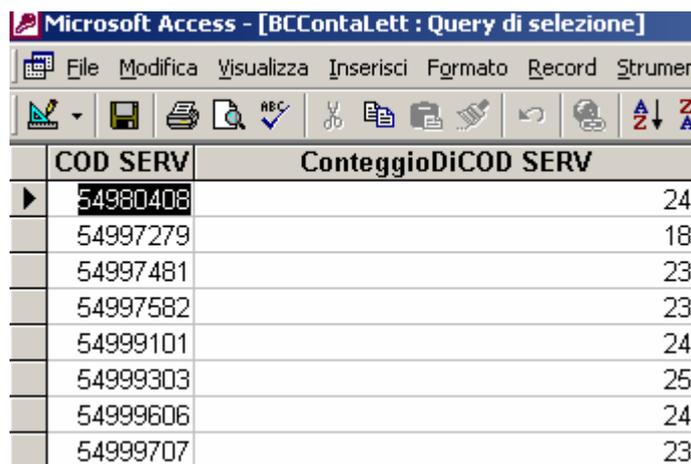
La somma dei consumi prima del kit è stata calcolata per ogni utenza sommando i valori DELTA delle letture con data inferiore a quella del ritiro del kit. Il consumo medio sarà dato dal consumo totale diviso per il numero di giorni compresi tra la prima lettura e l'ultima. Anche per il calcolo dei consumi dopo il kit è stata utilizzata la somma dei delta a partire dalla data segnalata dall'identificatore = 2. E' da notare che le letture utili dopo-kit sono ridotte di una lettura, che funziona come riferimento.

La schermata di Figura 4 illustra come il database permetta di visualizzare le misure per ciascuna utenza e distingua le misure "prima" da quelle "dopo" attraverso la separazione ottenuta mediante l'identificatore n=2 posto nella colonna "Inizio" in corrispondenza della prima lettura dopo il ritiro del kit. Anche per le utenze del controllo il database presenta nella colonna "Inizio" un codice identificativo uguale a 2 per segnalare l'inizio della sperimentazione sul gruppo campione.

Descrizione Queries

Le informazioni su letture e consumi necessarie per l'analisi statistica sono state estratte dal data base mediante l'uso di "Queries", cioè di "interrogazioni". Di seguito sono dati alcuni esempi come schermate del computer:

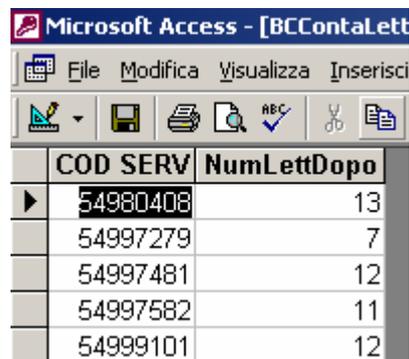
BCContaLett → indica il numero complessivo di letture (prima+dopo) per le singole utenze appartenenti al gruppo campione (Figura 5).



COD SERV	ConteggioDiCOD SERV
54980408	24
54997279	18
54997481	23
54997582	23
54999101	24
54999303	25
54999606	24
54999707	23

Figura 5. Query di conteggio letture

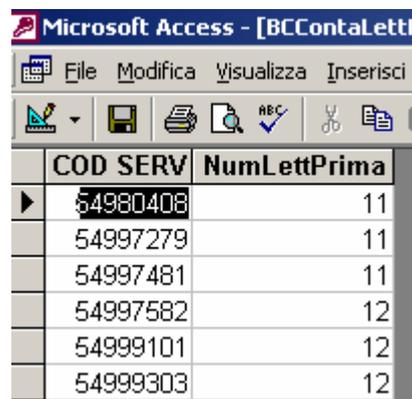
BCContaLettDopo → indica il numero di letture per ciascuna utenza del gruppo campione di Bagnacavallo effettuate dopo l'avvio della sperimentazione (esclusa la prima) (Figura 6).



COD SERV	NumLettDopo
54980408	13
54997279	7
54997481	12
54997582	11
54999101	12

Figura 6. Query per il conteggio delle letture dopo

BCContaLettPrima → numero di letture prima del kit per ciascuna utenza del gruppo campione (Figura 7).



COD SERV	NumLettPrima
54980408	11
54997279	11
54997481	11
54997582	12
54999101	12
54999303	12

Figura 7. Query per il conteggio delle letture prima

BCContaLettSummary → numero totale di letture utili per utenza nel gruppo campione (Figura 8).

COD SERV	NumLettDopo	NumLettPrima	TOT LETT UTIL
55469044	3	9	12
55137729	4	13	17
56979820	4	9	13
56983254	4	9	13
55332032	5	11	16
55011629	5	7	12
55273832	5	11	16
55368711	5	11	16
57326491	5	6	11

Figura 8. Query per il conteggio totale (prima e dopo) delle letture.

ConfrontoMedie → media dei valori dei consumi letture per utenza prima e dopo l'installazione dei dispositivi riduttori di flusso (Figura 9).

COD SERV	MediaPrima	MediaDopo
54980408	0,1620745543	0,1516393443
54997279	0,4700162075	0,4607843137
54997481	0,4024	0,4123006834
54997582	0,25	0,2155388471
54999101	0,2793296089	0,2801822323
54999303	0,14910859	0,132505176

Figura 9. Query confronto medie

Per l'analisi stagionale finalizzata a individuare un eventuale differenza nel risparmio tra periodi dell'anno è stata impostata una procedura che, per sommi capi, può essere riassunta come segue:

1) Definizione dei periodi stagionali e codice generale identificativo (da 1 a 4) secondo lo schema che segue:

Inverno (4) → 21 Dicembre 20 Marzo

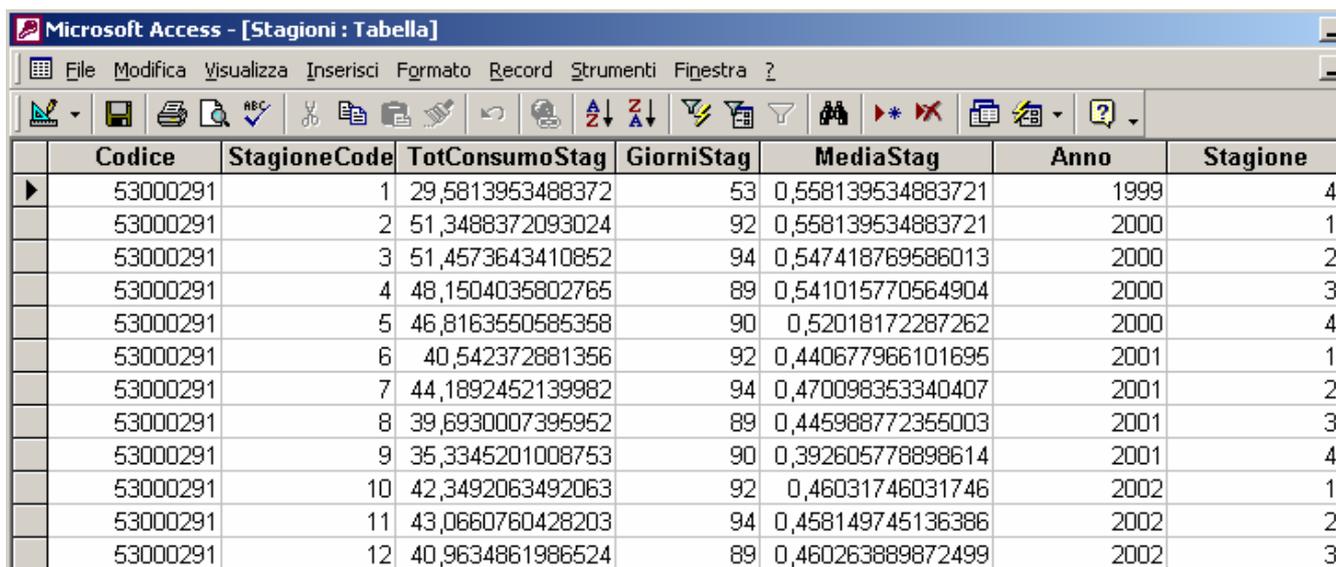
Primavera (1) → 21 Marzo 20 Giugno

Estate (2) → 21 Giugno 22 Settembre

Autunno (3) → 23 Settembre 20 Dicembre

2) Assegnazione di un codice numerico per stagione-anno. Questi valori, da 1 a 24, sono stati associati alle stagioni a partire dall'inverno 1999, seguendo la normale progressione stagionale, fino all'autunno 2005 (1 = inverno 1999, 2 = Primavera 2000, 3 = Estate 2000, ...24 = Autunno 2005). Il fine di questa operazione era quello di conoscere a quale anno si riferissero i valori dei consumi di una certa stagione, in modo che si potessero formare i gruppi dei consumi stagionali prima e dopo l'inizio della sperimentazione.

3) Per ciascun intervallo di lettura è stato calcolato il numero di giorni appartenenti ad ogni stagione. Ciò ha permesso il calcolo dei consumi medi per stagione. Questi dati compongono una Tabella apposita nel database, un cui spaccato è presentato in Figura 10.



	Codice	StagioneCode	TotConsumoStag	GiorniStag	MediaStag	Anno	Stagione
▶	53000291	1	29,5813953488372	53	0,558139534883721	1999	4
	53000291	2	51,3488372093024	92	0,558139534883721	2000	1
	53000291	3	51,4573643410852	94	0,547418769586013	2000	2
	53000291	4	48,1504035802765	89	0,541015770564904	2000	3
	53000291	5	46,8163550585358	90	0,52018172287262	2000	4
	53000291	6	40,542372881356	92	0,440677966101695	2001	1
	53000291	7	44,1892452139982	94	0,470098353340407	2001	2
	53000291	8	39,6930007395952	89	0,445988772355003	2001	3
	53000291	9	35,3345201008753	90	0,392605778898614	2001	4
	53000291	10	42,3492063492063	92	0,46031746031746	2002	1
	53000291	11	43,0660760428203	94	0,458149745136386	2002	2
	53000291	12	40,9634861986524	89	0,460263889872499	2002	3

Figura 10. Spaccato della Tabella che riporta i consumi per utenza suddivisi per stagione.

Come si osserva dall'immagine di Figura 10 ciascun valore di consumo medio stagionale (Media Stag) è associato a un codice che stabilisce se si tratta di primavera, estate ecc. (colonna Stagione) e anche a quale anno il dato si riferisce (colonna Stagione Code), secondo le specifiche descritte in precedenza.

Per classificare le stagioni in prima e dopo il ritiro dei riduttori di flusso è stato utilizzato come separatore il codice stagione-anno indicante in quale stagione di quale anno ciascuna utenza

ha aderito alla sperimentazione ritirando i riduttori. Le operazioni descritte hanno permesso, per ciascuna utenza, di stabilire i consumi per ciascuna stagione prima e dopo l'installazione dei riduttori.

I risultati

L'analisi statistica è stata condotta interamente in ambiente R, un software molto potente e versatile e disponibile gratuitamente in rete (<http://www.r-project.org>). Poiché l'obiettivo della sperimentazione era stabilire se l'uso del dispositivo riduttore consentisse un maggiore risparmio idrico sono stati confrontati, nel gruppo campione, i valori dei consumi prima e dopo l'inizio della sperimentazione. disegno sperimentale era finalizzato a un confronto dei consumi "prima e dopo" l'installazione dei dispositivi da parte delle utenze, i test che sarebbero stati utilizzati il t-Student e l'analisi della varianza (ANOVA), richiedono che siano rispettate alcune condizioni: i dati devono essere distribuiti normalmente e le varianze devono essere omogenee. Si è pertanto effettuato uno studio preliminare per capire se i dati soddisfacessero questi requisiti.

Gli istogrammi in Figura 11 evidenziano la forma delle distribuzioni dei dati relativi ai consumi giornalieri per utenza del campione e del gruppo di controllo.

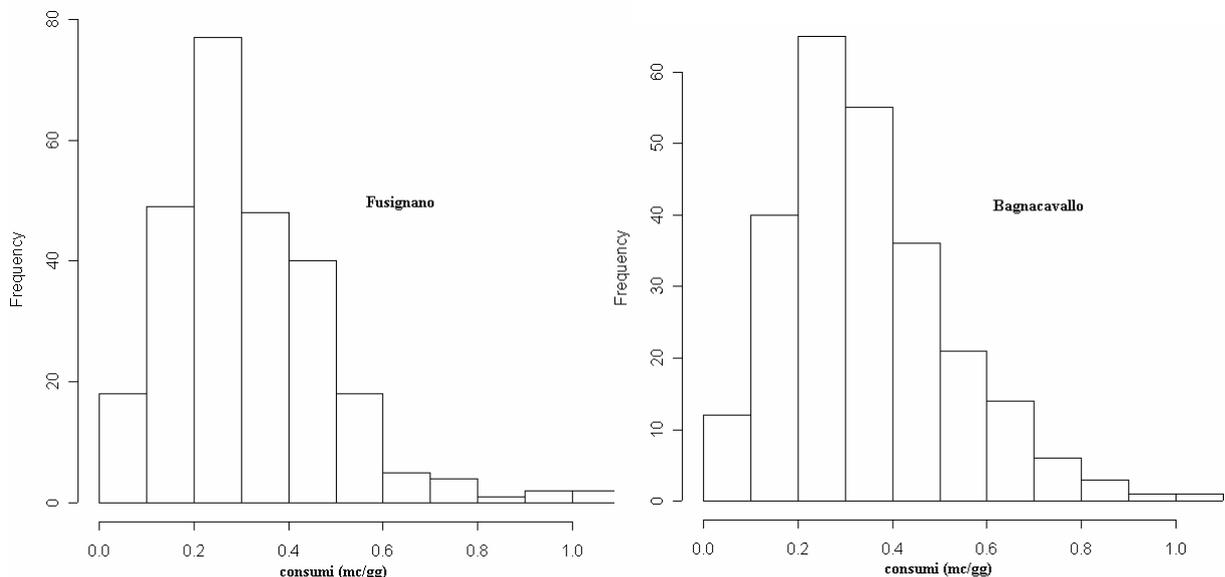


Figura 11. Distribuzioni dei dati di consumo per utenze nel gruppo campione (Bagnacavallo) e in quello di controllo (Fusignano)

L'asimmetria negli istogrammi induce a ritenere che i dati non fossero distribuiti in modo normale. Il test Shapiro-Wilk ha confermato questa ipotesi, fornendo i seguenti risultati:

Fusignano: $W = 0.9232$, **p-value = 1.976e-10**; Bagnacavallo: $W = 0.9504$, **p-value = 1.329e-07**

Il test per l'omogeneità delle varianze ha reso $F = 1.0293$, num $df = 253$, denom $df = 263$, $p\text{-value} = 0.8162$, da cui si è dedotto che le varianze delle due distribuzioni sono uguali.

Lo stessa procedura di verifica è stata effettuata sulle distribuzioni dei campioni prima e dopo. A titolo di esempio si presenta qui il caso dei consumi prima e dopo per Bagnacavallo (Figura 12), in quanto Fusignano ha prodotto i medesimi risultati dal punto di vista qualitativo.

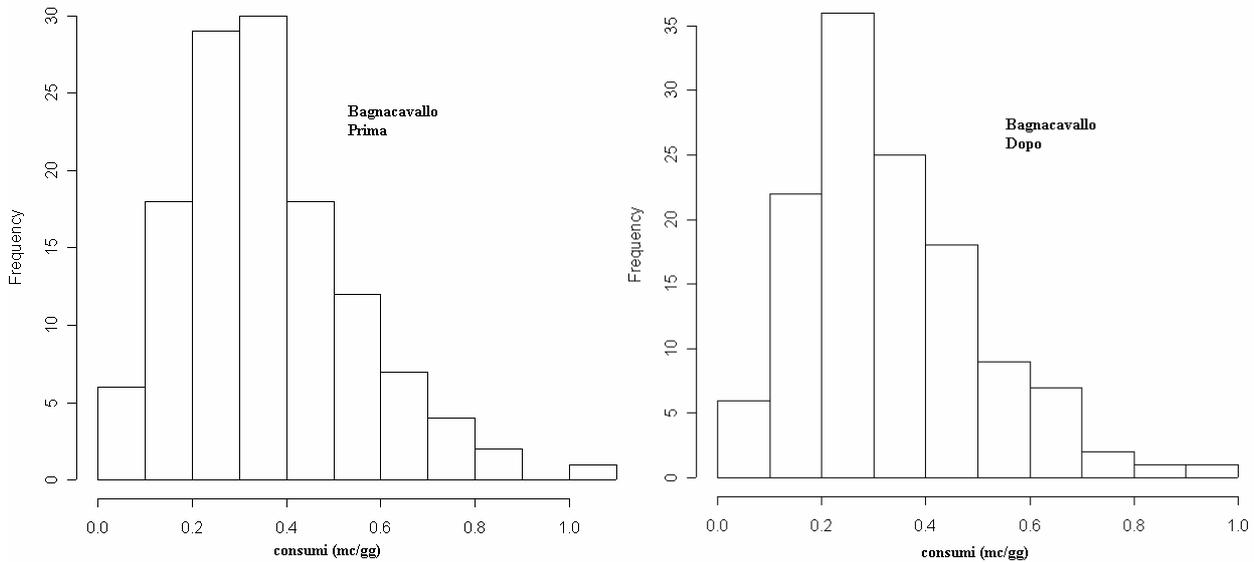


Figura 12. Distribuzioni dei dati di consumo per utenza a Bagnacavallo

Anche i consumi per utenza prima e dopo presentavano una evidente asimmetria nelle distribuzioni, con scostamento dalla normalità, confermato dal test Shapiro-Wilk:

Bagnacavallo Prima; $W = 0.9546$, $p\text{-value} = 0.0003113$

Bagnacavallo Dopo; $W = 0.9441$, $p\text{-value} = 5.038e-05$

Il test per l'omogeneità delle varianze ha reso $F = 1.1765$, num $df = 126$, denom $df = 126$, $p\text{-value} = 0.3628$, portando a concludere che le varianze delle due distribuzioni non differivano in modo significativo. Anche le distribuzioni dei consumi prima e dopo a Fusignano hanno dato un risultato simile, con i seguenti valori: $F = 0.7577$, num $df = 131$, denom $df = 131$, $p\text{-value} = 0.1135$.

Il risultato di questa indagine ha dimostrato distribuzioni non normali per i campioni e varianze omogenee. Dato che quest'ultima condizione è la più restrittiva per eseguire test parametrici si sarebbe potuto procedere con l'analisi statistica utilizzando i dati tal quali. Tuttavia si è deciso di condurre lo studio anche utilizzando i dati trasformati, in modo che anche le distribuzioni risultassero normali. I dati sono stati trasformati estraendone la radice cubica, in quanto trattasi di misure di volume (metri cubi /giorno). La trasformazione ha ricondotto le distribuzioni a una forma normale, come si può percepire dagli istogrammi in Figura 13 e dedurre dai risultati del test Shapiro-Wilks.

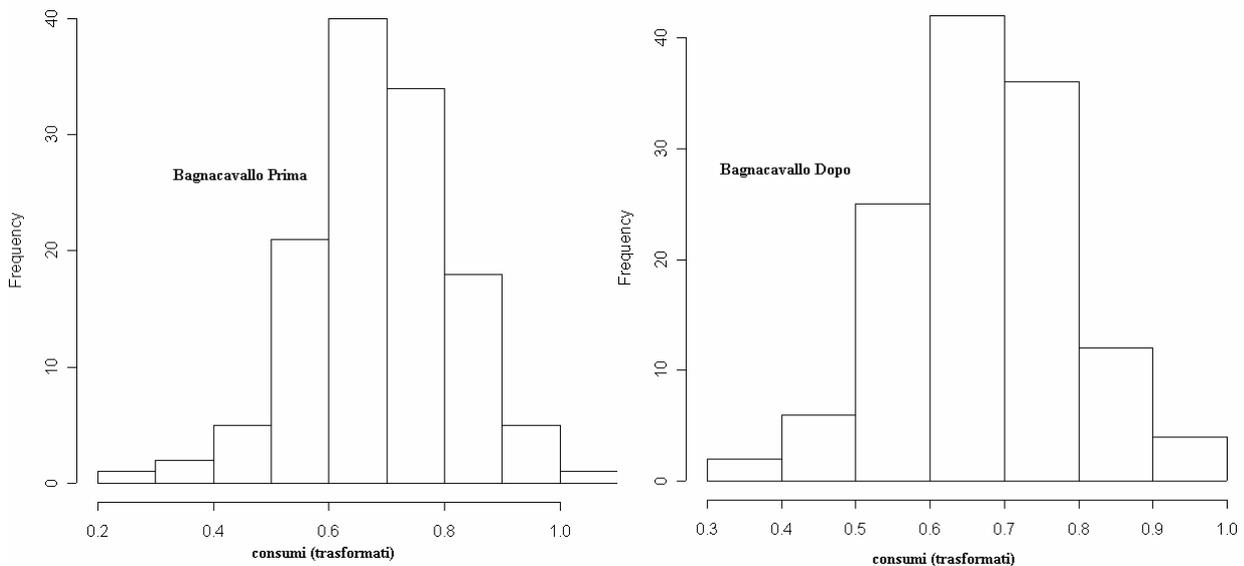


Figura 13. Distribuzioni ottenute trasformando i dati dei consumi per utenza a Bagnacavallo

Bagnacavallo Prima: $W = 0.9929$, **p-value = 0.7767**;

Bagnacavallo Dopo: $W = 0.9955$, **p-value = 0.9618**.

Poiché lo studio doveva considerare sia i valori dei consumi per utenza sia quelli dei consumi pro-capite, anche per questi ultimi sono stati effettuati i test di normalità e di omogeneità delle varianze delle relative distribuzioni. I consumi pro-capite per il campione e il controllo non erano distribuiti normalmente (Fusignano: $W = 0.9462$, **p-value = 2.848e-08**; Bagnacavallo: $W = 0.794$, **p-value = < 2.2e-16**). Il test di omogeneità delle varianze ha reso $F = 1.3693$, num df = 253, denom df = 263, **p-value = 0.01176**, da cui si è dedotto che le varianze non erano uguali. La trasformazione dei dati non ha consentito di ottenere distribuzioni normali (Fusignano: $W = 0.9801$, **p-value = 0.0009504**; Bagnacavallo: $W = 0.9631$, **p-value = 4.151e-06**). Tuttavia le varianze dei dati trasformati sono risultate omogenee ($F = 0.9025$, num df = 253, denom df = 263, **p-value = 0.4111**); ciò ha permesso utilizzare test parametrici anche sui consumi giornalieri pro-capite, considerata la loro robustezza nei confronti di dati non distribuiti normalmente.

Le varianze sono risultate omogenee anche nei campioni prima e dopo (es. Bagnacavallo $F = 1.2616$, num df = 126, denom df = 126, **p-value = 0.1936**; Fusignano $F = 0.8049$, num df = 131, denom df = 131, **p-value = 0.2155**)

In Tabella 3 sono riassunti i valori di media e varianza per le distribuzioni dei consumi per utenza prima e dopo.

	Bagnacavallo		Fusignano	
	Prima	Dopo	Prima	Dopo
Media	0.3574085	0.3319908	0.3171722	0.3127195
Varianza	0.03384194	0.02876461	0.02634751	0.03477424

Tabella 3. Media e varianza delle distribuzioni dei consumi per utenza nel campione e nel gruppo controllo.

La Tabella 4 riporta i valori di media e varianza per le distribuzioni dei consumi pro-capite prima e dopo.

	Bagnacavallo		Fusignano	
	Prima	Dopo	Prima	Dopo
Media	0.1548674	0.1422703	0.1450056	0.1441095
Varianza	0.007724022	0.006377303	0.004697881	0.005657121

Tabella 4. Media e varianza delle distribuzioni dei consumi pro-capite nel campione e nel gruppo controllo.

Inizialmente si è pensato di effettuare un confronto prima-dopo sia sul campione che sul controllo, per evidenziare cambiamenti all'interno dei due gruppi dopo l'inizio della sperimentazione. Poiché i due "sottocampioni" erano costituiti dalle stesse unità sperimentali (utenze) prima e dopo il trattamento (installazione kit) il confronto è stato realizzato mediante un t-Student per due campioni dipendenti. Emerge, in questo confronto, la tipica situazione dell' "auto-accoppiamento", in cui ogni soggetto serve come controllo di sé stesso, dato che si mettono a confronto i valori rilevati sugli stessi soggetti in due momenti diversi. Poiché la caratteristica distintiva del confronto tra due campioni dipendenti è quella di potere accoppiare ogni osservazione di un campione (consumo prima) con una e una sola osservazione dell'altro campione (consumo dopo) è necessario che i due gruppi abbiano lo stesso numero di dati. Dato che le repliche non erano

in numero uguale (il numero di misure, per svariate ragioni, è diverso da utenza a utenza) sono state utilizzate come osservazioni campionarie le medie dei consumi per utenza.

Il test per il campione è stato pensato come un test a una coda, cioè legato alla verifica dell'ipotesi che il consumo prima dell'installazione dei riduttori fosse maggiore, escludendo a priori che il dispositivo faccia incrementare i consumi. Con il test a una coda è maggiore la probabilità di dimostrare l'esistenza di una differenza significativa ma nel caso in esame non aveva molto senso impostare un test più conservativo dato che l'ipotesi che il kit facesse consumare di più era da scartare.

Il test ha reso un valore di $t = 3.8962$, $df = 126$, $p\text{-value} = 7.89e-05$ associato a una differenza media (prima meno dopo) positiva e uguale a 0.02541776. Il valore di probabilità associato alla statistica t è basso e assai inferiore all'1%; da ciò si deduce che i consumi dopo l'installazione dei riduttori di flusso sono diminuiti in maniera significativa. Considerando i consumi pro-capite (invece che per utenza) si è ottenuto un risultato che sottolinea che dopo l'inizio della sperimentazione ciascun individuo ha consumato significativamente meno acqua ($t = 3.8837$, $df = 126$, $p\text{-value} = 8.26e-05$) rispetto a prima. Per un periodo di un anno dall'inizio della sperimentazione si sono dunque registrati consumi inferiori rispetto al periodo antecedente la sperimentazione, che considera i consumi delle utenze dall'anno 2000. Tale riduzione riguarda sia i consumi per utenza sia quelli pro-capite.

Quando si confrontano le medie di due soli trattamenti (prima e dopo) per gli stessi soggetti (le utenze) il test t-Student per due campioni dipendenti fornisce risultati identici (non solo la medesima inferenza) all'analisi della varianza a due criteri di classificazione.

Per evidenziare se qualche altro fattore generale fosse intervenuto a modificare i consumi tra i due periodi considerati è stato condotto un confronto prima-dopo sul gruppo di controllo. Il confronto è stato impostato allo stesso modo che nel gruppo campione, considerando l'eventualità che anche le utenze di Fusignano avessero consumato meno acqua dopo l'inizio della sperimentazione. Impostare anche per questa analisi un test a una coda era dovuto al fatto che Anche a Fusignano la media dei consumi dopo era leggermente inferiore alla media dei consumi prima (si vedano le Tabelle 3 e 4). Il test ha fornito i seguenti risultati: $t = 0.4992$, $df = 131$, $p\text{-value} = 0.3093$, con una differenza tra media prima e media dopo sempre positiva (0.004452722). Il test, chiaramente non significativo, ha rivelato che il gruppo di controllo non ha cambiato la sua attitudine a consumare acqua. Tuttavia anche a Fusignano si è registrato un risparmio che però il test ha stabilito essere un effetto del puro caso.

Il confronto (prima-dopo) considerando i consumi pro-capite per il gruppo di controllo non ha rivelato differenze significative ($t = 0.2161$, $df = 131$, $p\text{-value} = 0.4146$). Questi due risultati

consentono di escludere che siano cambiate le condizioni generali e che qualche altro fattore sistematico di variazione sia subentrato a condizionare i consumi dei due gruppi. Pertanto la diminuzione dei consumi registrata nel gruppo campione è dovuta all'effetto dell'installazione dei riduttori.

Per capire se, eventualmente, le due collettività, pur omogenee dal punto di vista geografico-ambientale (es. medesimo clima), esprimessero una diversa attitudine nei riguardi dell'uso dell'acqua, sono state confrontate le serie storiche dei consumi per i due gruppi. In pratica sono state confrontati i due campioni utilizzando le misure "prima", cioè tutte quelle riferite al periodo antecedente la sperimentazione. I dati storici riflettono le modalità con cui erano stati fatti i rilievi e per alcune utenze il dato si spinge fino al 2000, mentre per altre le misure disponibili si riferiscono a periodi più recenti (dal 2002). Le serie storiche disponibili per i due campioni sono state poste a confronto con un test t-Student per due campioni indipendenti, visto che i dati non erano riferiti agli effetti di trattamenti (azione del riduttore di flusso o meno) sugli stessi individui. Per condurre questo test non era necessario che il numero di osservazioni nei due campioni fosse uguale.

Il t-Student è stato impostato a due code. Non esistono infatti ragioni per ritenere che uno dei due gruppi consumasse più acqua (o meno) dell'altro, dato che essi si intendono omogenei relativamente ai fattori che influenzano il consumo della risorsa (fattori climatici, territoriali, culturali), né si era a conoscenza di eventuali cause che potessero giustificare un test a una coda. Il test è risultato non significativo (**t = 1.8638, df = 250.352, p-value = 0.06353**), a indicare che i consumi nei due gruppi non differivano prima dell'inizio della sperimentazione. Tuttavia va segnalato che la differenza è molto vicina al limite di significatività del 5%, e che la media dei consumi storici a Bagnacavallo è maggiore di quella dei consumi storici a Fusignano ($Ba=0.3574085$ $Fu=0.3171722$). Questo dato sarà oggetto di commento al termine di questa parte dedicata ai confronti.

Una differenza non significativa è stata ottenuta anche dal confronto tra i consumi pro-capite dei due gruppi, come dimostrano i risultati del t-Student (due code, campioni indipendenti): **t = 1.0044, df = 238.168, p-value = 0.3162.**

Il t-Student applicato ai consumi per utenza e pro-capite per il periodo successivo all'inizio della sperimentazione non ha rivelato differenze significative sia per quanto riguarda i consumi per utenza (**t = 0.8706, df = 256.197, p-value = 0.3848**) sia relativamente ai consumi pro-capite (**t = -0.1906, df = 254.529, p-value = 0.849**).

Ponendo a confronto i due gruppi prima e dopo la sperimentazione non sono state osservate differenze significative. Il confronto prima-dopo su ciascun gruppo si è rivelato significativo per Bagnacavallo ma non per Fusignano. L'analisi dei dati storici dei consumi (Bagnacavallo prima -

Fusignano prima) non ha stabilito l'esistenza di una differenza significativa tra i due gruppi di utenze, tuttavia è interessante osservare che il test ha reso un valore di probabilità (p-value = 0.06353) vicino al limite della zona di rifiuto della conclusione che i consumi fossero uguali nei due gruppi ($P=0.05$)¹. Considerando che la media dei consumi storici a Bagnacavallo era più elevata di quella per Fusignano è stato impostato un t-Student per due campioni indipendenti a una coda, per verificare statisticamente che i consumi a Bagnacavallo fosse più elevati. Il test ha reso $t = 1.7521$, $df = 255.588$, $p\text{-value} = 0.04048$. Il test è dunque risultato significativo al 5%!

Confrontando i consumi dei due gruppi nel periodo della sperimentazione (Fusignano dopo – Bagnacavallo dopo) la probabilità associata alla statistica t è risultata assai più elevata ($p\text{-value} = 0.3848$) e molto più lontana dalla zona di rifiuto del 5%. Con riferimento ai valori delle medie dei consumi nei due gruppi prima e dopo (si veda la Tabella 3) è possibile argomentare che prima dell'inizio della sperimentazione i consumi a Bagnacavallo erano più elevati che a Fusignano (ma non tanto più elevati, fornendo risultati al limite della significatività) e che dopo l'installazione dei dispositivi riduttori di flusso i consumi si sono ridotti significativamente, così da portare Bagnacavallo in linea con i consumi di Fusignano, come suggerito dal confronto Bagnacavallo dopo – Fusignano dopo, fortemente non significativo.

Il ragionamento testé sviluppato rimanda immediatamente a un conforto simultaneo tra le medie di più gruppi. Al fine di evidenziare tutte le possibili differenze significative tra le medie, non è corretto ricorrere al test t di Student per ripetere l'analisi tante volte quanti sono i possibili confronti a coppie tra i singoli gruppi. Con il metodo del t di Student la probabilità di commettere un errore di primo tipo (rifiutare l'ipotesi nulla quando è vera) vale solamente per ogni singolo confronto. Se i confronti sono numerosi, la probabilità complessiva che almeno uno di essi si dimostri significativo solo per effetto del caso è maggiore. Per esempio, se si effettuano 10 confronti tra le medie di gruppi estratti a caso dalla stessa popolazione e per ognuno di essi α è uguale a 0.05, la probabilità che nessun confronto risulti casualmente significativo diminuisce a circa 0.60 (corrispondente a 0,9510). Di conseguenza, la probabilità complessiva che almeno uno risulti significativo solo per effetto di fluttuazioni casuali diventa 0.40. Espresso in termini più formali, effettuando k confronti con il test t di Student ognuno alla probabilità α , la probabilità complessiva α' di commettere almeno un errore del primo tipo (che il test rifiuti l'ipotesi nulla quando in realtà essa è vera) diventa $\alpha' = 1 - (1 - \alpha)^k$. Per ovviare a questo problema nel momento in cui si debbano confrontare più media contemporaneamente si ricorre all'analisi della varianza.

¹ Il fatto che il confronto sui dati storici dei consumi dei due gruppi non abbia rivelato una differenza significativa con consumi maggiori per Bagnacavallo può essere dovuto anche alla minore potenza del test t-Student per due campioni indipendenti rispetto al medesimo test per dati appaiati. Nel caso del t per dati non appaiati, infatti, si ha una fonte in più di variabilità dovuto alla diversa composizione dei due campioni.

I consumi fatti registrare delle utenze di Bagnacavallo e Fusignano prima e dopo l'introduzione dei riduttori sono stati sottoposti ad una analisi della varianza per saggiare la significatività delle differenze tra le loro medie. Per questo tipo di indagine è stato impostato un modello lineare in cui le differenze tra i valori di consumo fossero analizzate in rapporto ai seguenti fattori di variabilità: Località (Bagnacavallo e Fusignano, Loc), Periodo (Prima e Dopo, PD), Utenza (variabilità dovuta alle abitudini del singolo utente, CSERV) e Dimensione del nucleo familiare (Nuc). Questo modello generale è stato concepito immaginando quali potessero essere i fattori maggiormente responsabili nel determinare i consumi di acqua nei due gruppi. Ovviamente la variabilità associata alla tipologia dell'utenza è dovuta a una molteplicità di fattori culturali e ambientali che non era possibile esplicitare per la difficoltà di impostare, nel quadro della sperimentazione, apposite indagini. I risultati sono riassunti nell'output seguente:

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
NUC	1	2.1018	2.1018	911.5229	< 2.2e-16 ***
Loc	1	0.0248	0.0248	10.7709	0.001173 **
CSERV	256	5.3224	0.0208	9.0165	< 2.2e-16 ***
PD	1	0.0162	0.0162	7.0085	0.008612 **
Residuals	258	0.5949	0.0023		

 Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Come si può osservare, il test ha indicato che tutti i fattori inseriti nel modello sono significativi nel determinare i consumi. In pratica, i consumi sono diversi tra Bagnacavallo e Fusignano ($p=0.001173$), sono diversi da utente e utente ($p < 2.2e-16$ ***), dipendono dalla composizione del nucleo familiare ($p < 2.2e-16$ ***) e sono diversi tra prima e dopo l'installazione dei riduttori ($p=0.008612$ **).

Le stesse indicazioni sono state ottenute analizzando i consumi pro-capite, come si può evincere dall'output seguente:

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
NUC	1	0.4717	0.4717	342.2734	< 2.2e-16 ***
Loc	1	0.0124	0.0124	9.0117	0.002946 **
CSERV	256	3.2408	0.0127	9.1854	< 2.2e-16 ***
PD	1	0.0087	0.0087	6.2930	0.012735 *
Residuals	258	0.3556	0.0014		

 Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Per capire se le due località avessero consumato in maniera diversa nei due periodi (pre e post sperimentazione) si è investigata, mediante lo stesso modello, la significatività dell'interazione tra periodo e località, con il seguente risultato:

Consumi per utenza

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Loc	1	0.0672	0.0672	29.1602	1.517e-07 ***
NUC	1	2.0594	2.0594	893.1563	< 2.2e-16 ***
CSERV	256	5.3224	0.0208	9.0167	< 2.2e-16 ***
Loc:PD	2	0.0185	0.0092	4.0075	0.01933 *
Residuals	257	0.5926	0.0023		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Consumi pro-capite

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Loc	1	0.0039	0.0039	2.8677	0.09159 .
NUC	1	0.4802	0.4802	349.1715	< 2e-16 ***
CSERV	256	3.2408	0.0127	9.2051	< 2e-16 ***
Loc:PD	2	0.0108	0.0054	3.9302	0.02083 *
Residuals	257	0.3534	0.0014		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

L'interazione è risultata significativa all'1% nell'analisi dei consumi per utenza, mentre utilizzando i consumi pro-capite la significatività è stata del 5%. Inoltre, in quest'ultimo caso, non si manifesta la differenza significativa tra le località (probabilità >5%). Questo risultato, tuttavia, non contraddice quello del modello senza interazione, ma, per i consumi pro-capite, suggerisce che tutta la differenza esistente tra Bagnacavallo e Fusignano riguarda il modo di consumare acqua tra prima e dopo la sperimentazione.

Da questo modello generale si è poi passati allo studio delle differenze tra quattro gruppi di dati (Bagnacavallo prime e dopo e Fusignano prima e dopo). Un differenza tra i valori dei consumi si può apprezzare dal boxplot che è riportato in Figura 14.

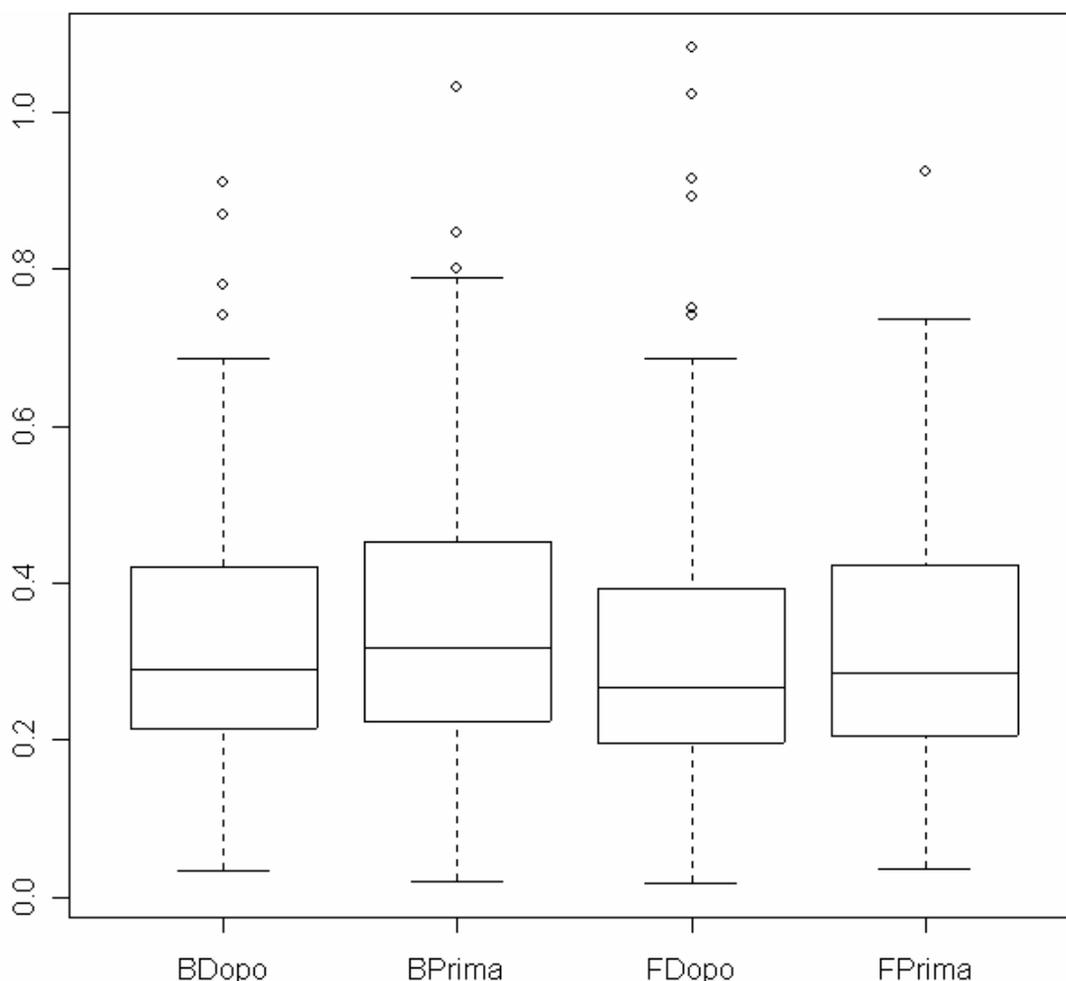


Figura 14. Diagramma Boxplot che descrive gli andamenti delle distribuzioni dei dati (consumi per utenza) nei quattro gruppi.

Il boxplot dà una rappresentazione visiva delle distribuzioni. Qualitativamente si osserva che a) entrambi i gruppi hanno consumato meno acqua dopo l'avvio della sperimentazione; b) prima della sperimentazione il gruppo campione consumava più acqua del gruppo controllo. Per il confronto simultaneo tra i quattro gruppi nel modello di analisi della varianza era specificato, quale fattore di variabilità, la località associata al periodo (LocPD).

Il calcolo ha reso i seguente output, rispettivamente per i consumo utenza e quelli procapite:

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
LocPD	3	0.0857	0.0286	12.3917	1.351e-07 ***
NUC	1	2.0594	2.0594	893.1563	< 2.2e-16 ***
CSERV	256	5.3224	0.0208	9.0167	< 2.2e-16 ***
Residuals	257	0.5926	0.0023		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
LocPD	3 0.	0148	0.0049	3.5760	0.01456 *
NUC	1	0.4802	0.4802	349.1715	< 2e-16 ***
CSERV	256	3.2408	0.0127	9.2051	< 2e-16 ***
Residuals	257	0.3534	0.0014		

 Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Dal modello si evince che i due campioni hanno consumato acqua in maniera diversa tra prima e dopo. Per stabilire a quali gruppi assegnare la “responsabilità” di questa differenza è stato eseguito un test di Tukey. Il grafici seguenti evidenziano i risultati di questo test. L’interpretazione può essere facilitata considerando che in ordinata sono segnalati i confronti a coppie (es: BP-BD= BagnacavalloPrima-BagnacavalloDopo) e che non esiste differenza significativa tutte le volte che i segmenti rappresentativi delle differenze tra le medie dei gruppi cadono a cavallo della linea dello zero. Per i confronti effettuati utilizzando i consumi per utenza i risultati sono schematizzati nel grafo di Figura 15.

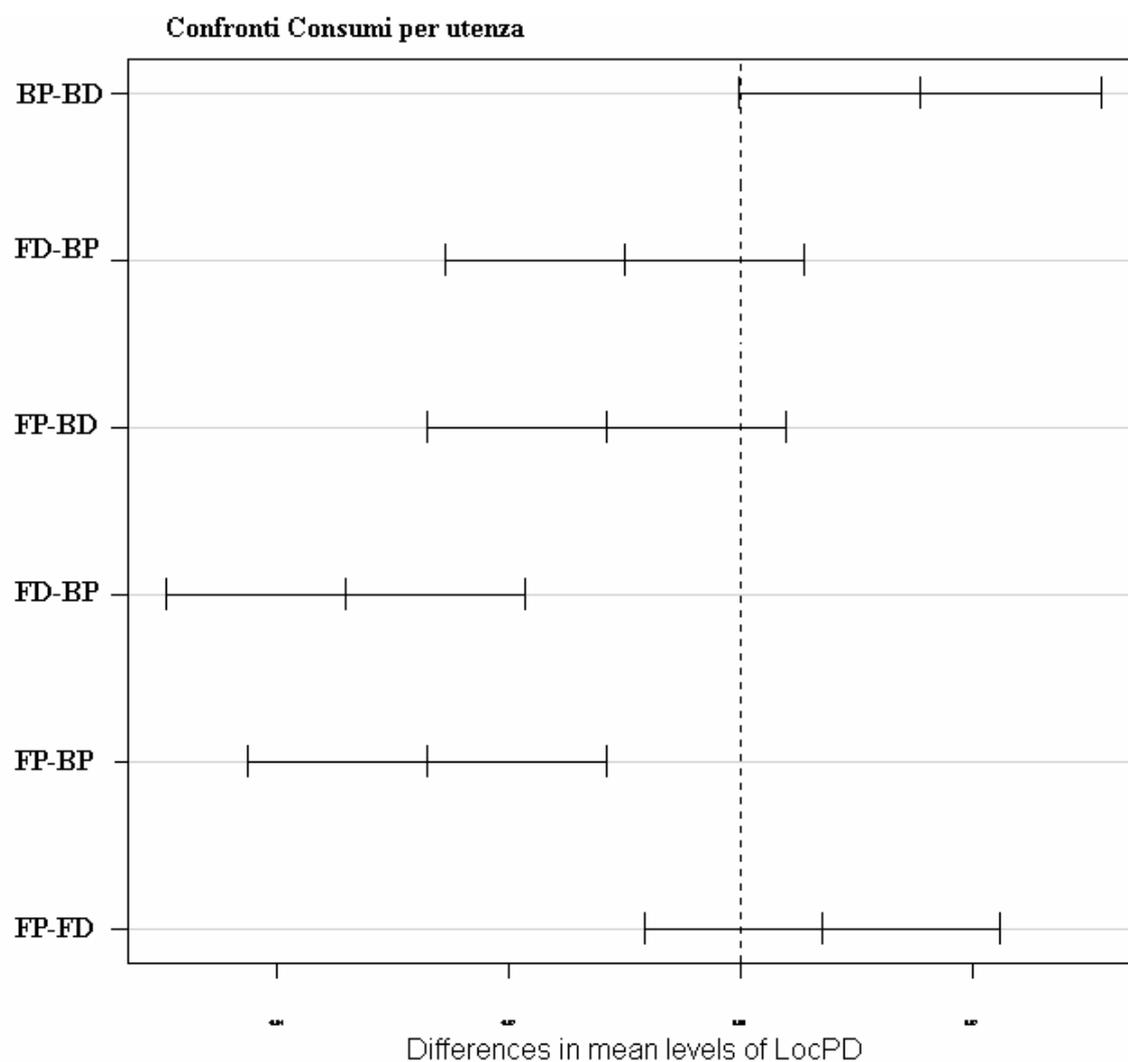


Figura 15. Risultati del test di Tukey per i 4 gruppi sperimentali utilizzando i consumi per utenza.

Per i consumi pro-capite i risultati sono dati in Figura 16.

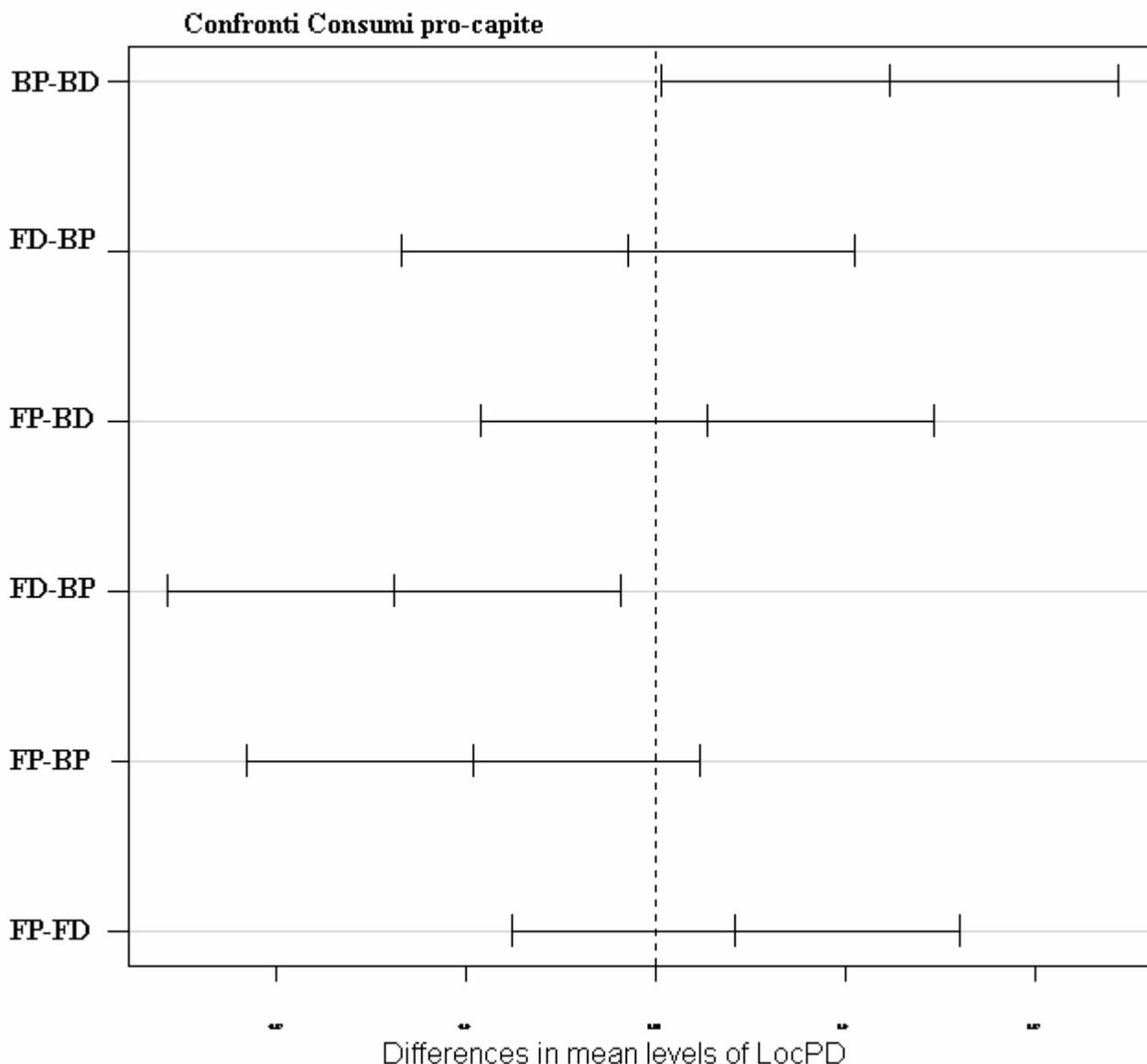


Figura 16. Risultati del test di Tukey per i 4 gruppi sperimentali utilizzando i consumi pro-capite.

I risultati consentono di affermare che i consumi a Fusignano non sono cambiati in maniera significativa dopo l'inizio della sperimentazione (primo segmento in basso), contrariamente a ciò che si è registrato a Bagnacavallo (primo segmento in alto nel diagramma). Nel diagramma dei confronti basati sui consumi per utenza (Figura 15) si evince che prima della sperimentazione a Bagnacavallo si consumava significativamente più acqua che a Fusignano. Questa differenza non è più risultata significativa dopo l'installazione dei riduttori di flusso. In conclusione si può dire che il risparmio associato all'uso dei riduttori di flusso ha consentito a Bagnacavallo di allinearsi ai consumi di Fusignano. I confronti incrociati confermano questa interpretazione dato che non si è osservata una differenza significativa tra Bagnacavallo dopo e Fusignano prima, mentre si è

osservata una differenza significativa tra i gruppi Bagnacavallo Prima e Fusignano Dopo. Nel diagramma che riporta risultati del confronto con i consumi pro-capite (Figura16) i risultati non sono così buoni, dato che il confronto sui dati storici non ha evidenziato una differenza significativa tra Bagnacavallo e Fusignano. I consumi restano più alti a Bagnacavallo, ma la differenza non è da considerarsi significativa. Tuttavia questo dato non invalida le conclusioni tratte precedentemente. I risultati dei confronti basati sui consumi pro-capite, infatti, sono meno attendibili di quelli per utenza, poiché ottenuti supponendo un comportamento lineare dei medesimi; in realtà non è necessariamente vero che il consumo di un nucleo con due individui risulti il doppio di quello di un nucleo composto da un solo individuo (ipotesi di linearità). Ciò introduce una fonte di incertezza che impone di guardare i risultati con una certa cautela. L'argomento verrà trattato in dettaglio nella sezione successiva, che tratta della stima del risparmio.

La stima del risparmio

La stima del risparmio è stata condotta attraverso l'uso di un modello lineare con cui si sono messi a confronto i consumi prima e dopo l'installazione dei dispositivi riduttori. Il modello è stato applicato sia alle medie dei consumi per utenza sia alle medie dei consumi pro-capite.

Consumi per utenza Bagnacavallo

Modello lineare con variabili Medie Consumi Prima e Dopo, NO INTERCETTA

Coefficients:	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
BCMediaPrima	0.91145	0.01528	59.66	<2e-16 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.06915 on 126 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.9658

Adjusted R-squared: **0.9655**

F-statistic: 3560 on 1 and 126 DF, p-value: < 2.2e-16

L'interpretazione del risultato è facilitata dal modello grafico, reso in Figura 17.

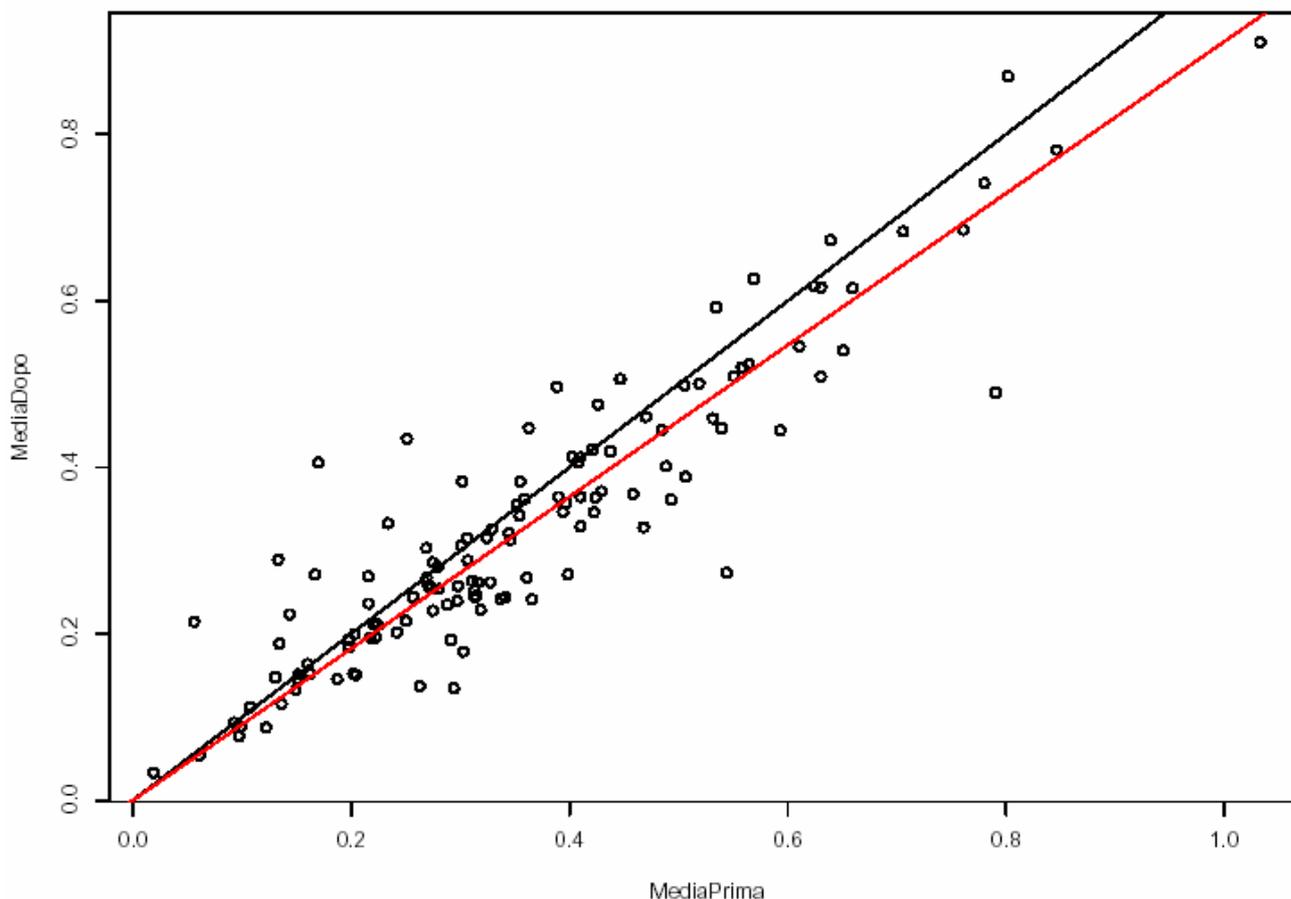


Figura 17. Retta interpolante i consumi medi per utenza del gruppo campione. La retta descrive la media dei consumi per utenza dopo il kit in funzione della media dei consumi per utenza prima del kit

Il modello presentato è statisticamente significativo (Estimate **0.91145** t value 59.66 $\Pr(>|t|) < 2e-16$). Questo risultato porta alla conclusione che la media dei consumi dopo la distribuzione dei riduttori di flusso non è semplicemente uno scostamento casuale dalla media generale dei consumi prima del kit ma esiste un effetto “fattore” che ha condizionato in modo sistematico i consumi. Il modello lineare permette, inoltre, di quantificare questa differenza. Ciascun punto del grafico rappresenta la singola utenza. Le sue proiezioni sugli assi X e Y sono rappresentative della media dei consumi prima (asse X, orizzontale) e dopo (asse Y, verticale) la diffusione dei dispositivi di risparmio. Il grafico riporta due semirette. Quella nera (più in alto) presenta equazione $Y=X$. Cioè rappresenta l'insieme dei punti per i quali la media dei consumi pro-capite prima del kit è uguale alla media dei consumi pro-capite dopo il kit. Tuttavia questa retta non è la migliore descrizione dell'andamento dei punti rappresentativi dei consumi. La descrizione più attendibile si ottiene attraverso la semiretta rossa, la cui equazione è della forma “media dopo = $0,91145 \cdot$ media prima”. Cioè, per ottenere la media dopo si deve moltiplicare il valore della media prima per un coefficiente minore di 1, che è come dire che i consumi per utenza si sono abbassati dopo l'inizio della sperimentazione. La differenza $1-0,91145$ ci dice quanto è minore il consumo per

utenza. Questo valore è pari a 0,0886, da cui si deduce che il risparmio sui consumi medi per utenza è pari al 8,86% (1-0,91145 x100). Il modello studiato prevede, contrariamente a ciò che di solito si osserva nelle analisi statistiche, l'assenza dell'intercetta. La decisione di forzare la relazione lineare a passare per l'origine deriva dall'assunzione che una utenza a consumo zero prima dell'inizio della sperimentazione rimanga a consumo zero anche dopo l'installazione dei riduttori. Ovviamente questa assunzione porta a una sovrastima dell' R^2 . (che infatti risulta eccessivamente alto se confrontato con la distribuzione dei punti). Ciò comporta la mancata possibilità di un utilizzo del modello a fini predittivi.

Consumi pro-capite Bagnacavallo

Modello lineare con variabili Media Consumi Pro-capite Prima e Dopo, NO INTERCETTA

Coefficients:	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
	0.89630	0.01694	52.92	<2e-16 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.03396 on 126 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.9569, Adjusted R-squared: 0.9566

F-statistic: 2800 on 1 and 126 DF, p-value: < 2.2e-16

Il test, anche in questo caso è altamente significativo e, tuttavia, quantifica il risparmio pro-capite come uguale al 10,37% (1-0.89630*100). La retta che meglio interpola i dati ha quindi la forma "Media Dopo=0.89630xMedia Prima", e cioè il risparmio percentuale pro capite risulta maggiore più alto di quello per utenza. Come è possibile che si ottenga un risparmio per utenza diverso da quello pro capite? Si considerino le seguenti specifiche:

CP=Consumo medio prima

CD=Consumo medio dopo

CP*=consumo medio prima pro capite

CD*=consumo medio dopo pro capite

il risparmio medio per utenza sarà dato da $R=CP-CD$, e quello medio pro-capite sarà calcolabile come $R^*=CP^*-CD^*$. Per quelle utenze che risparmiano dopo l'installazione del kit si avrà che $R>0$, cioè un risparmio positivo, e di conseguenza anche il risparmio pro-capite per queste utenze sarà positivo, cioè $R^*>0$. Tuttavia dato che il risparmio pro-capite si ottiene dividendo il risparmio dell'utenza per il numero di componenti il nucleo, si ha che $R>R^*$, cioè il risparmio complessivo, numericamente, è una quantità più grande del risparmio individuale. Soltanto nel caso in cui il nucleo familiare è composto da una persona le due quote di risparmio coincidono ($R=R^*$ se e solo

se il nucleo fam=1). Tuttavia a Bagnacavallo alcune utenze hanno consumato di più dopo l'installazione dei riduttori. In questi casi si può parlare di risparmio negativo ($R < 0$). Anche il risparmio pro-capite, per queste utenze, sarà negativo, $R^* < 0$, ma essendo numericamente il risparmio pro-capite sempre più piccolo di quello per utenza, ne risulta, trattandosi di valori di risparmio negativo, che $R^* > R$ ($R = R^*$ se e solo se il nucleo fam=1). Sulla base di queste considerazioni si può dire che le utenze (famiglie) con risparmio negativo hanno pesato maggiormente nella media del consumo per famiglia piuttosto che in quello pro-capite. In altri termini la differenza tra risparmio per utenza e risparmio pro-capite è dato dalla asimmetria della distribuzione della grandezza $R - R^*$ che dipende dal fatto che i nuclei famigliari hanno un diverso numero di componenti. Da questi risultati emerge anche che i

Analisi della Varianza e fattori significativi

Successivamente è stata condotta una analisi per individuare quali fattori potessero essere significativamente responsabili dei consumi dopo l'installazione dei dispositivi riduttori di flusso. È stato impostato un modello di analisi della varianza in cui erano presenti come fattori i consumi prima dell'installazione dei riduttori di flusso, il tipo di utenza e la dimensione del nucleo familiare. Inoltre si sono analizzate anche tutte le possibili interazioni tra questi fattori. L'analisi delle varianze (modello lineare) ha dato i seguenti risultati (sono qui dati, per esigenza di spazio, i valori di probabilità associati ai fattori e alle loro interazioni:

	Pr(>F)
MediaPrima	< 2.2e-16***
CSERV	0.1274473
NUCLEO	0.0003004***
MediaPrima:CSERV	0.0371485*
MediaPrima: NUCLEO	0.1894319
CSERV: NUCLEO	2.943e-05***
MediaPrima:COD SERV:NUCLEO	0.5187671

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

In pratica questi risultati indicano che la media dei consumi dopo l'installazione del kit dipende in maniera significativa dai consumi generali (prima del kit), dal tipo di utenza (CSERV; livello di significatività 0.05) e dalla composizione del nucleo familiare (NUCLEO). In altre parole le utenze hanno consumato in modo significativamente diverso le une dalle altre; il tipo di utenza influenza la differenza tra prima e dopo (non tutte le utenze presentano modalità di consumo simile) e così anche la numerosità del nucleo familiare.

L'effetto della dimensione del nucleo familiare

L'analisi della varianza ha mostrato che la dimensione del nucleo familiare è un fattore significativo per i consumi (e, di conseguenza, sul risparmio). Per approfondire questo aspetto si è testata la significatività del consumo in funzione del numero di componenti attraverso un modello lineare simile a quello precedentemente descritto, in cui il consumo medio per utenza dopo l'inizio della sperimentazione è dato in funzione dei consumi prima e del numero di componenti.

Modello lineare Media Consumo Prima e Dopo, NO INTERCETTA con NUCLEO

Coefficients:	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
BCMediaPrima	0.779660	0.035431	22.005	< 2e-16 ***
BCTOT NUCLEO	0.020901	0.005133	4.072	8.22e-05 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.06523 on 125 degrees of freedom
Multiple R-Squared: 0.9698, Adjusted R-squared: 0.9693
F-statistic: 2008 on 2 and 125 DF, p-value: < 2.2e-16

Il modello esprime il consumo “dopo” in funzione del consumo “prima” e della dimensione del nucleo e il risultato del test (t value = 4.072 Pr=8.22e-05) stabilisce che la dimensione del nucleo è un fattore che influisce in modo significativo sui consumi. Per capire in maniera più intuitiva l'effetto della dimensione del nucleo familiare sui consumi (e, di conseguenza, sul risparmio) è utile fare alcuni esempi.

Utilizzando le seguenti specifiche: D = consumo dopo, P = consumo prima, N= dimensione del nucleo il modello che rappresenta la relazione evidenziata può essere espresso come $D=aP+bN$. Poiché i coefficienti del modello sono $a=0.78$ $b=0.02$ il modello diventa $D=0.78P+0.02N$. Dato che i consumi sono in funzione della numerosità del nucleo posso considerare come valore di P il prodotto tra il consumo medio pro-capite prima (a Bagnacavallo 0.155 metri cubi) e il numero N di componenti. Il consumo dopo diventa quindi $D=0.78(0.155N)+0.02N$ da cui $D=0.14N$. Il risparmio può essere calcolato come $R=P-D=0.155N-0.14N=0.015N$ da cui si evince che i metri cubi/giorno risparmiati aumentano con il numero di componenti il nucleo. In termini volumetrici totali si ha un maggiore risparmio nei nuclei numerosi. Tuttavia il risparmio percentuale è indipendente da N, dato che $R\% = (1-D/P)*100 = (1-0.14N/0.155N)*100 = 1-0.9*100 = 10\%$.

Se immaginiamo un consumo uguale per utenza a prescindere dal numero di componenti es. $P=1$, il modello rende $D=0.78+0.02N$. Per $N=1$ si avrebbe $D=0.8$ e quindi se il consumo prima = 1 metro cubo al giorno e un nucleo familiare di 1 persona, il risparmio è del 20% $[(1-0.8)+100]$. Se

invece $N=5$ e $P=1$ $D=0.78+0.1= 0.88$ con risparmio del 12%. Cioè a dire che il risparmio per unità di consumo è maggiore nei nuclei piccoli. Ovviamente bisogna sempre tenere conto del fatto che i nuclei numerosi in assoluto consumano sempre di più di quelli più ridotti. Il nucleo familiare è un fattore il cui effetto, riconosciuto sui consumi idrici domestici, poteva essere analizzato dato che erano conosciuti i numeri relativi. E' ovvio che anche altri fattori (ambientali e culturali) potevano concorrere a determinare i consumi. Tuttavia per questi fattori non erano disponibili informazioni tali da permettere una indagine approfondita.

Il comportamento del gruppo di controllo

Il confronto tra Bagnacavallo e Fusignano (si vedano i grafici per il test di Tukey, Figure 15 e 16) ha permesso di stabilire che non c'era differenza nei consumi delle utenze appartenenti al gruppo di controllo. Tuttavia i dati di questo campione evidenziavano una media nei consumi più bassa dopo l'avvio della sperimentazione, pur senza significatività statistica. Si è costruito un modello lineare per evidenziare se dopo i consumi erano inferiori al periodo antecedente la sperimentazione.

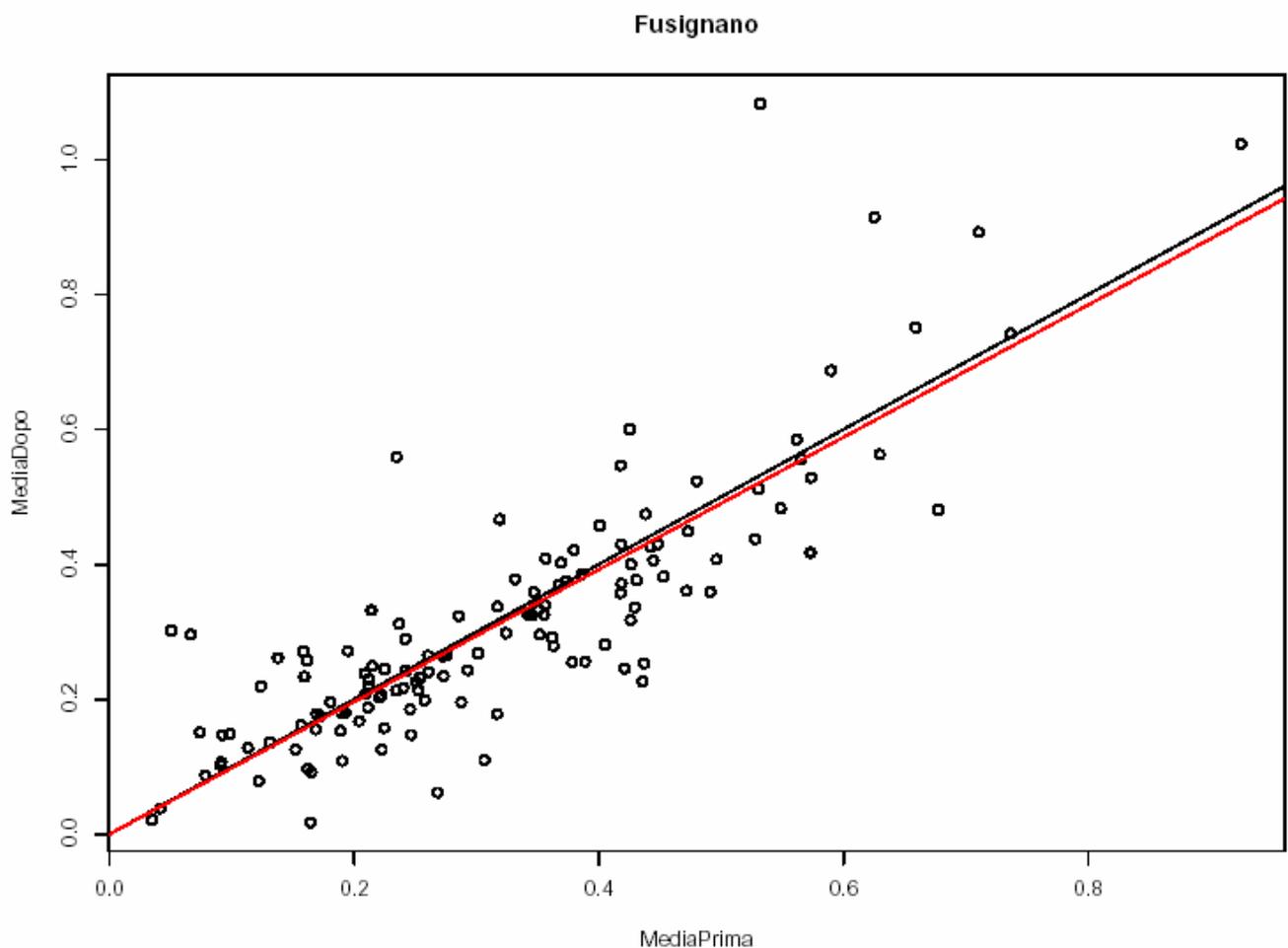


Figura 18. Modello lineare per il gruppo di controllo (Fusignano)

La Figura 18 illustra l'entità del risparmio a Fusignano (retta rossa). L'analisi statistica associata ha fornito i seguenti risultati:

FUSIGNANO:

Modello lineare Media Consumo Prima e Dopo, NO INTERCETTA

Coefficients:	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
FusMediaPrima	0.98072	0.02502	39.19	<2e-16 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.1024 on 131 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.9214, Adjusted R-squared: 0.9208

F-statistic: 1536 on 1 and 131 DF, p-value: < 2.2e-16

La retta rossa, meno inclinata rispetto alla retta Media prima=Media dopo ($Y=X$), evidenzia che si è avuto un risparmio anche a Fusignano dopo l'inizio della sperimentazione. Questo risparmio si attesta intorno al 2% ma, nonostante il modello lineare sia significativo (verificata la relazione lineare tra prima e dopo). Tuttavia il risparmio fatto registrare dalle utenze di Fusignano deve, statisticamente, essere associato a un effetto del puro caso.

I medesimi risultati sono stati ottenuti per il consumo pro-capite:

Modello lineare Media Consumo Prima e Dopo, NO INTERCETTA

Coefficients:	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
FusCPCPrima	0.96965	0.02573	37.68	<2e-16 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Per completare il quadro analitico si riportano qui di seguito i risultati del confronto tra il risparmio medio a Bagnacavallo e a Fusignano, comparazione effettuata mediante un test t-Student per due campioni indipendenti e che ha reso $t = 4.5247$, $df = 251.42$, $p\text{-value} = 4.666e-06$, che evidenzia come a Bagnacavallo si sia verificato un risparmio superiore che a Fusignano.

Per completare la conoscenza sul dato relativo al risparmio le utenze facenti parte del gruppo campione sono state suddivise in funzione delle quantità di acqua da esse risparmiata. Il grafico di Figura 19 riporta le classi di risparmio e le relative frequenze per le utenze del gruppo campione:

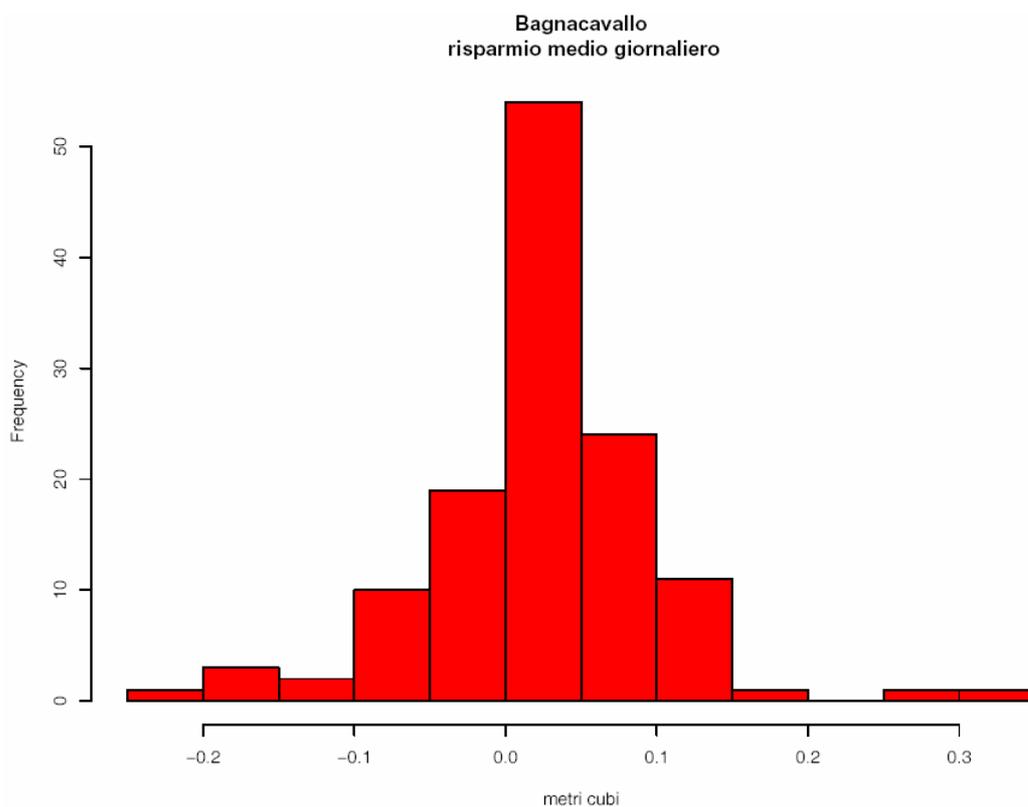


Figura 19. Distribuzione di frequenza per le classi di risparmio del gruppo campione.

La Tabella 4 riassume la ripartizione delle utenze per classi di risparmio espressa dall'istogramma di Figura 19.

Classi di risparmio	Numero utenze
(-0.25,-0.2]	1
(-0.2,-0.15]	3
(-0.15,-0.1]	2
(-0.1,0.05]	10
(-0.05,0]	19
(0, 0.05]	54
(0.05, 0.1]	25
(0.1, 0.15]	11
(0.15, 0.2]	1
(0.2, 0.25]	0
(0.25, 0.3]	1
(0.3, 0.35]	1

Tabella 4. Ripartizione delle utenze di Bagnacavallo per classi di risparmio (m³/giorno).

L'influenza del periodo sul risparmio

L'ultima indagine effettuata è stata quella finalizzata a capire se i diversi periodi dell'anno hanno comportato un risparmio diverso. In pratica si è effettuato un confronto per stagioni. Nel grafico seguente (Figura 20) sono riportati tutti i dati suddivisi per stagione.

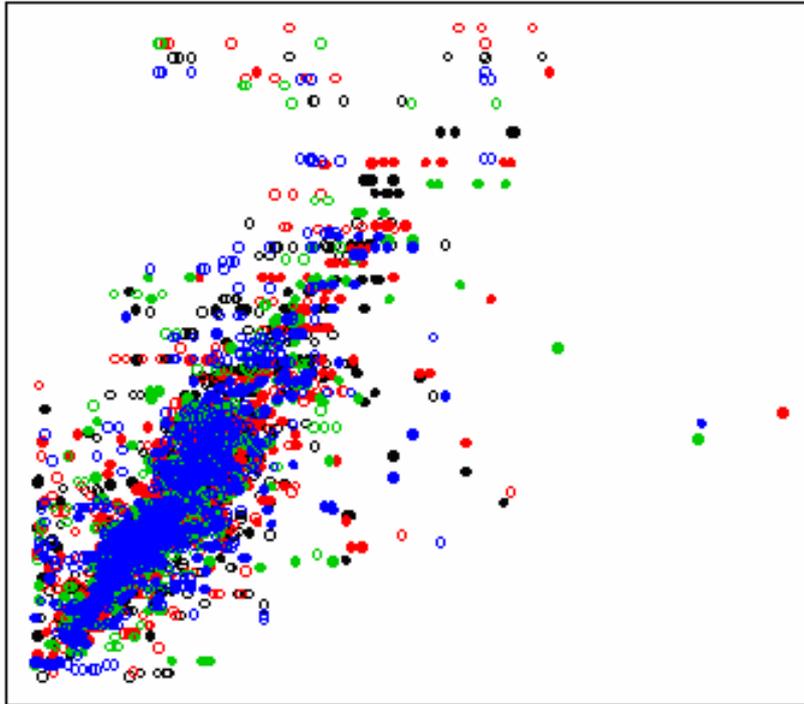


Figura 20. Valori campionari dei consumi per utenza in funzione della stagione in cui sono stati rilevati. Punto pieno = Bagnacavallo Punto vuoto = Fusignano. Primavera, Estate, Autunno, Inverno

Lo studio è stato condotto attraverso una analisi della varianza (modello lineare) in cui i consumi dopo l'avvio della sperimentazione sono stati testati in funzione dei consumi prima dell'applicazione dei riduttori, della località e della stagione. I risultati sono riassunti nell'output che segue:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
Prima	0.757274	0.010526	71.940	<2e-16 ***
BAGNACAVALLO	0.058523	0.006004	9.747	<2e-16 ***
FUSIGNANO	0.076326	0.005718	13.349	<2e-16 ***
as.factor(Stagione)2	0.001846	0.005585	0.331	0.741
as.factor(Stagione)3	0.002006	0.006136	0.327	0.744
as.factor(Stagione)4	-0.004221	0.005549	-0.761	0.447

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.1182 on 3380 degrees of freedom
Multiple R-Squared: 0.9055, Adjusted R-squared: 0.9053
F-statistic: 5398 on 6 and 3380 DF, p-value: < 2.2e-16

Il consumo “dopo” come funzione del consumo “prima” per ogni stagione e per entrambi i gruppi è stato reso in grafico. I grafici sono dati nelle Figure 21 e 22

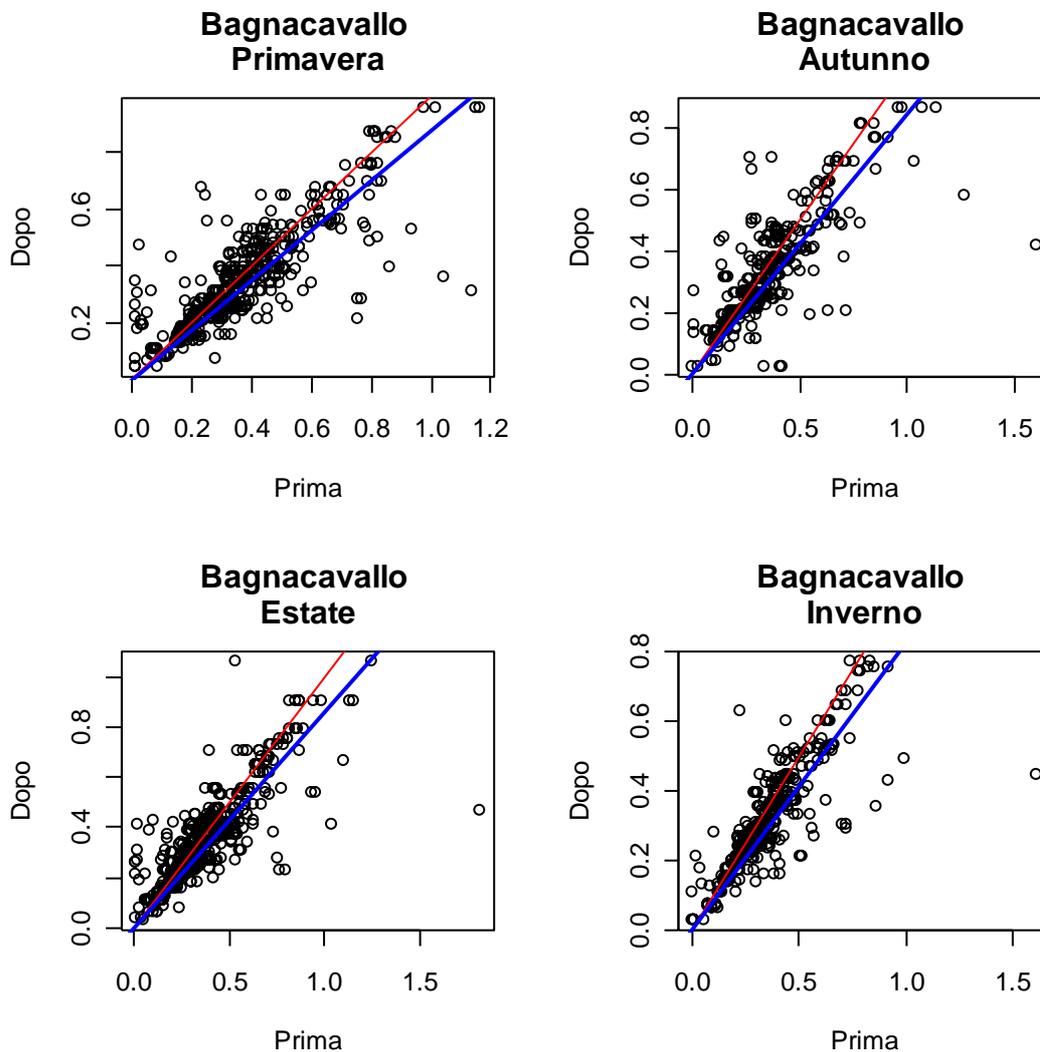


Figura 21 Modelli lineari stagionali (no intercetta) per Bagnacavallo

Bagnacavallo Primavera

Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
Prima 0.88138 0.01207 73.03 <2e-16 ***
 Residual standard error: 0.1072 on 436 degrees of freedom
 Multiple R-Squared: 0.9244, Adjusted R-squared: 0.9243
 F-statistic: 5334 on 1 and 436 DF, p-value: < 2.2e-16

Bagnacavallo Estate

Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
Prima 0.86183 0.01244 69.3 <2e-16 ***
 Residual standard error: 0.1153 on 438 degrees of freedom
 Multiple R-Squared: 0.9164, Adjusted R-squared: 0.9162
 F-statistic: 4803 on 1 and 438 DF, p-value: < 2.2e-16

Bagnacavallo Autunno

Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
Prima 0.84916 0.01588 53.48 <2e-16 ***
 Residual standard error: 0.1198 on 312 degrees of freedom
 Multiple R-Squared: 0.9017, Adjusted R-squared: 0.9013
 F-statistic: 2861 on 1 and 312 DF, p-value: < 2.2e-16

Bagnacavallo Inverno

Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)

Prima 0.82857 0.01356 61.1 <2e-16 ***

Residual standard error: 0.09894 on 312 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.9229, Adjusted R-squared: 0.9226

F-statistic: 3734 on 1 and 312 DF, p-value: < 2.2e-16

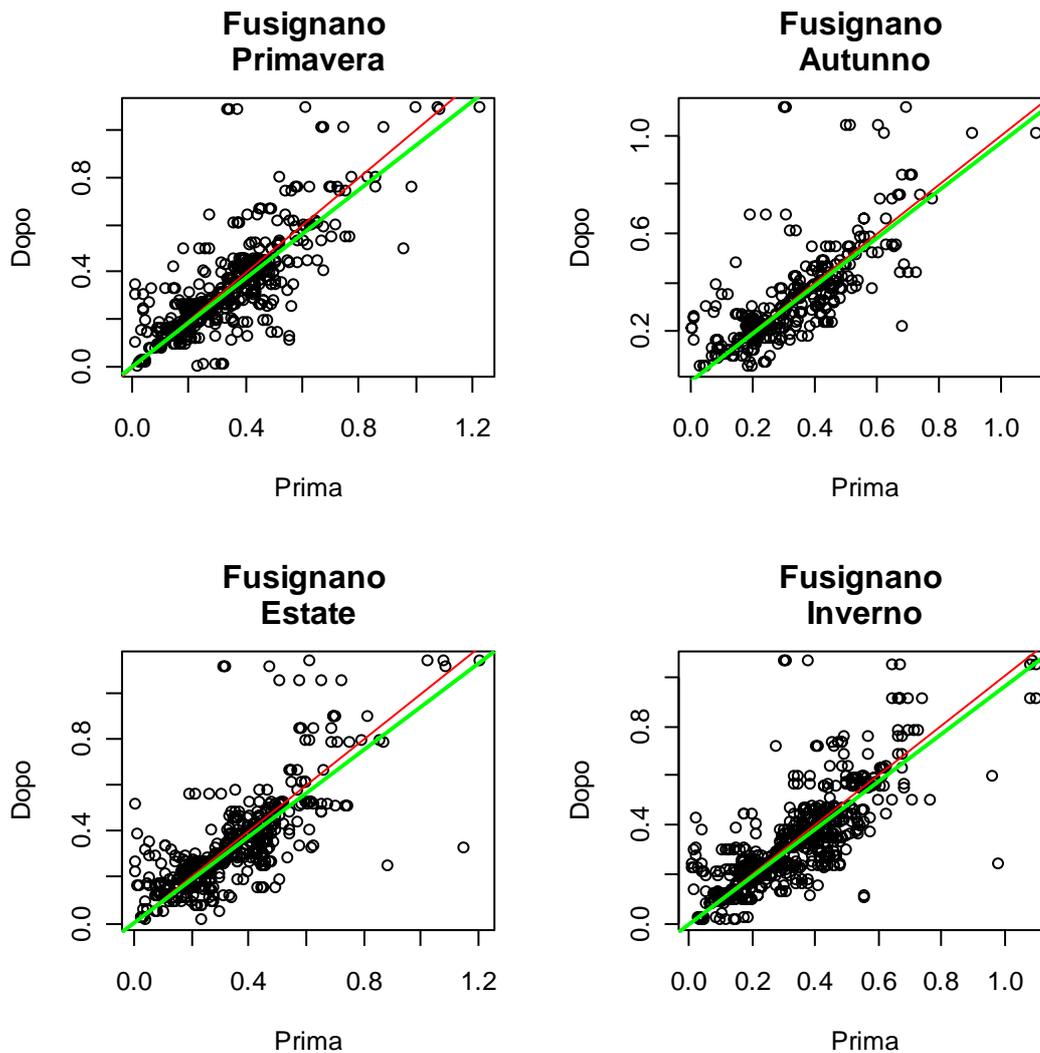


Figura 21 Modelli lineari stagionali (no intercetta) per Bagnacavallo

Fusignano Primavera

Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)

Prima 0.93525 0.01541 60.68 <2e-16 ***

Residual standard error: 0.1296 on 453 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.8905, Adjusted R-squared: 0.8902

F-statistic: 3682 on 1 and 453 DF, p-value: < 2.2e-16

Fusignano Estate

Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)

Prima 0.9444 0.0167 56.54 <2e-16 ***

Residual standard error: 0.1386 on 462 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.8737, Adjusted R-squared: 0.8734

F-statistic: 3197 on 1 and 462 DF, p-value: < 2.2e-16

Fusignano Autunno

Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)

Prima 0.97000 0.02035 47.68 <2e-16 ***

Residual standard error: 0.1357 on 323 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.8756, Adjusted R-squared: 0.8752

F-statistic: 2273 on 1 and 323 DF, p-value: < 2.2e-16

Fusignano Inverno

Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)

Prima 0.95887 0.01267 75.66 <2e-16 ***

Residual standard error: 0.1199 on 642 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.8992, Adjusted R-squared: 0.899

F-statistic: 5725 on 1 and 642 DF, p-value: < 2.2e-16

In sintesi, il risultato di quest'ultima indagine evidenzia che la significatività del risparmio vale per ogni stagione (cioè in tutte le stagioni a Bagnacavallo c'è stato risparmio). Il fatto che nell'ANOVA il fattore stagione non sia significativo significa che gli altri fattori (l'utenza, il consumo prima del kit e la località) sono sufficienti a spiegare la variabilità dei consumi. Il fattore "consumo prima" contiene il dato per stagione, per cui il fatto che le stagioni non siano significative non vuol dire che il consumo non cambi da una stagione all'altra. In altre parole, se il consumo registrato in inverno dopo l'installazione dei dispositivi riduttori di flusso può essere approssimato conoscendo la località e il consumo prima, non c'è una correzione dovuta al fatto che la stagione considerata sia l'inverno. In sintesi, il consumo cambia per stagione, ma non il risparmio (almeno, non significativamente).

Bibliografia

OECD 2001. *Key environmental indicators 2001*. OECD Environment Directorate, pp. 22-23.

Ronchi, E. 1999. Intervento d'apertura. *Atti della I Conferenza Nazionale sulla Tutela delle Acque*. Ministero dell'Ambiente, Roma, pp.1-9.

Progetto Risparmio idrico Bagnacavallo (RA)

Data: 31/10/2005

Antonio Bodini – Dipartimento di Scienze Ambientali, Università di Parma
Stefano Allesina – Department of Fisheries and Wildlife Science, Michigan State University
Cristina Bondavalli – Dipartimento di Scienze Ambientali, Università di Parma

Parte II

Considerazioni sul risparmio e di natura gestionale

La sperimentazione ha mostrato che l'installazione dei riduttori di flusso può realmente ridurre i consumi. In questa sezione sono contenute indicazioni inerenti il risparmio idrico reale, e potenziale, nonché il risparmio energetico ad esso associato e considerazioni sulle emissioni di anidride carbonica evitata. Inoltre vengono proposte anche delle stime sul risparmio economico complessivo sia per la parte di risparmio idrico che energetico.

I dati sperimentali utili per le considerazioni di cui sopra possono essere così riassunti:

Risparmio medio per utenza 8.86%

Risparmio medio pro-capite 10.37 %

Consumi medi uso domestico per utenza prima dell'utilizzo dei riduttori = $0.357 \text{ m}^3/\text{gg}/\text{utenza}$

Consumi medi uso domestico pro-capite prima dell'utilizzo dei riduttori = $0.155 \text{ m}^3/\text{gg}/\text{abitante}$

Numero complessivo di famiglie che hanno ritirato il kit = 1921

Composizione media del nucleo familiare = 2.6 ind.

Da questi dati è possibile risalire ai seguenti risparmi della risorsa idrica:

$0.357 \text{ m}^3/\text{gg}/\text{utenza} * 8.86\% \text{ risparmio medio per utenza} * 1921 \text{ famiglie che hanno ritirato il kit} =$
 $60.83 \text{ m}^3/\text{gg}$

In un anno:

$60.83 \text{ m}^3/\text{gg} * 365 = 22\ 203 \text{ m}^3/\text{anno}$. **Risparmio idrico totale stimato per tutte le utenze provviste di dispositivi riduttori di flusso durante l'anno di sperimentazione.**

La tabella seguente fornisce un prospetto del consumo e del risparmio pro-capite e per nucleo familiare.

NUCLEO	Consumi H ₂ O	Risparmi H ₂ O	
	m ³ /gg	m ³ /gg	m ³ /anno
pro-capite	0.155	0.01607	5.867
nucleo 1	0.223	0.01980	7.225
nucleo 2	0.314	0.02779	10.144
nucleo 3	0.388	0.03434	12.536
nucleo 4	0.495	0.04387	16.013

La differenza osservabile tra il dato pro-capite e quello per il nucleo composto da una sola persona è dovuta al fatto che la stima del risparmio pro-capite dal modello statistico lineare ripartiva in maniera uguale per ciascun individuo il consumo del nucleo di appartenenza. I dati per nucleo sono stati ottenuti raggruppando i valori dei consumi per utenza in funzione della numerosità; per questi si è calcolata la frazione risparmiata a partire dal risparmio medio per utenza ottenuto con il modello lineare. Estendendo il calcolo a tutta la popolazione di Bagnacavallo (16 087 abitanti; ISTAT 2001) utilizzando il valore del risparmio pro-capite si ottiene una stima del risparmio annuo pari a:

$$5.867 \text{ m}^3/\text{anno}/\text{abitante} * 16\ 087 \text{ abitanti} =$$

94 380 m³ annui di acqua teoricamente risparmiabile per tutto il comune di Bagnacavallo

Lo stesso calcolo effettuato utilizzando il risparmio relativo ai nuclei familiari (6 716 famiglie; ISTAT 2001) rende un risparmio annuo di:

$$11.351 \text{ m}^3/\text{anno} (\text{risparmio annuo per un nucleo medio}^1) * 6\ 716 \text{ famiglie} =$$

76 236 m³ di acqua teoricamente risparmiabile in tutto il comune di Bagnacavallo

Risparmio di Acqua calda

Considerando il risparmio stimato totale (per tutte le utenze provviste di riduttori), che ammonta a di 60.83 m³/gg è stato possibile calcolare il risparmio di acqua calda. Le informazioni ottenute dalle fonti citate nel riquadro hanno permesso di stimare che di tutta la risorsa risparmiata il 28% è costituito da acqua calda (vedi riquadro sotto). In forza di questo dato si ha che il risparmio giornaliero di acqua calda a Bagnacavallo risulta essere pari a:

¹ risparmio annuo per un nucleo medio : questo è stato ottenuto ipotizzando che la composizione dei nuclei familiari nel campione sia rappresentativa di quella dell'intera popolazione di Bagnacavallo.

$$60.83 \text{ m}^3/\text{gg} * 0.28 = 17 \text{ m}^3/\text{gg}$$

In un anno

$$17 \text{ m}^3/\text{gg} * 365 = \mathbf{6\ 217 \text{ m}^3/\text{anno}}$$
 acqua calda risparmiata da tutte le utenze munite di kit

180 l/gg/ab consumo medio di acqua per usi domestico

http://www.comune.modena.it/a21/newsletter_modena/n6_lug04.pdf

177 l/gg/ab consumo medio di acqua per usi domestico

http://www.arpalombardia.it/new/live/ambiente/rapporto/2003/4cd/cap_05_famiglie.pdf

Per solo uso domestico si stima che la media è di 120 litri/giorno.

<http://www.cgil.it/fnle/acqua/pag5bis2.html>

Il consumo domestico medio per abitante in Italia si attesta sui 220 litri al giorno

<http://www.biopro.it/notizie/380.html>

50 l/gg/ab consumo medio di acqua calda

<http://www.greenpeace.it/camp/clima/acqua.htm>

<http://www.verdilivorno.it/futuro.htm>

http://www.waycasa.net/root/unifamiliare_art_1782.html

<http://www.asshomosapiens.org/pagine%20biblioteca%20articoli/ABITARE%20ECOLOGICAMENTE3.htm>

<http://www.sgmprogetti.it/risparmio.htm>

dal rapporto tra i due ottengo $50/180 * 100 = 28 \%$

Il valore utilizzato del 28% è una stima cautelativa. L'acqua calda infatti non è ripartita ugualmente tra la frazione non risparmiabile e quella risparmiabile (acqua che passa attraverso i riduttori). Quest'ultima, associata ad usi tipo doccia, rubinetti ecc., contiene la maggior parte dell'acqua calda usata quotidianamente dalle famiglie.

Per la stima del risparmio teorico di acqua calda per tutto Bagnacavallo si descrivono qui sotto i passaggi essenziali:

consumi uso domestico prima dell'utilizzo dei riduttori = $0.155 \text{ m}^3/\text{gg}/\text{abitante}$

di questo quantitativo il 28% è stato stimato essere acqua calda

$$0.155 \text{ m}^3/\text{gg}/\text{abitante} * 0.28 = 0.0434 \text{ m}^3/\text{gg}/\text{abitante}$$
 acqua calda utilizzata

Considerando che il risparmio medio pro-capite è stato stimato al 10.37 %

$$0.0434 \text{ m}^3/\text{gg}/\text{abitante}$$
 acqua calda utilizzata * 0.1037 = $0.0045 \text{ m}^3/\text{gg}/\text{abitante}$ = 4.5 litri/gg/abitante

$$0.0045 \text{ m}^3/\text{gg}/\text{abitante} = \mathbf{4.5 \text{ litri/gg/abitante}}$$
 acqua calda risparmiata

Moltiplicando per i giorni in un anno:

$$4.5 \text{ litri/gg/abitante} * 365 / 1000 = \mathbf{1.643 \text{ m}^3/\text{anno}/\text{abitante}}$$
 acqua calda risparmiata

Inoltre, i risparmi stimati per nucleo familiare sono i seguenti:

NUCLEO	Risparmio H2O calda	
	l/gg	m ³ /anno
nucleo 1	5.5	2.023
nucleo 2	7.8	2.840
nucleo 3	9.6	3.510
nucleo 4	12.3	4.484

Infine, per tutta la popolazione di Bagnacavallo (16 087 abitanti; ISTAT 2001), utilizzando il risparmio pro-capite si ottiene un risparmio annuo di:

$$1.643 \text{ m}^3/\text{anno}/\text{abitante} * 16\ 087 \text{ abitanti} =$$

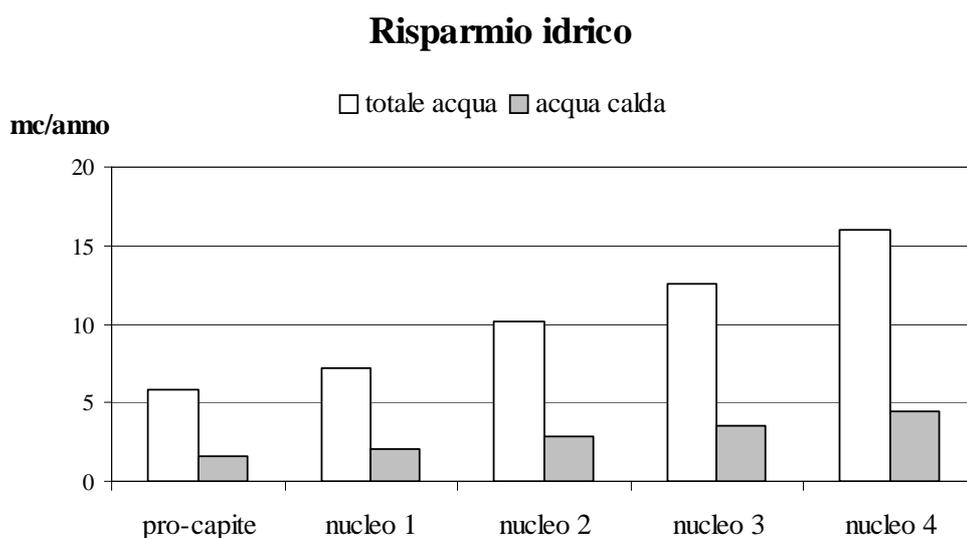
24 426 m³ annui di acqua calda risparmiata per tutto il comune di Bagnacavallo

Lo stesso calcolo, effettuato utilizzando il risparmio relativo ai nuclei famigliari (6 716 famiglie; ISTAT 2001) permette di stimare un risparmio annuo inferiore e pari a:

$$3.178 \text{ m}^3/\text{anno} (\text{risparmio annuo per un nucleo medio}) * 6\ 716 \text{ famiglie} =$$

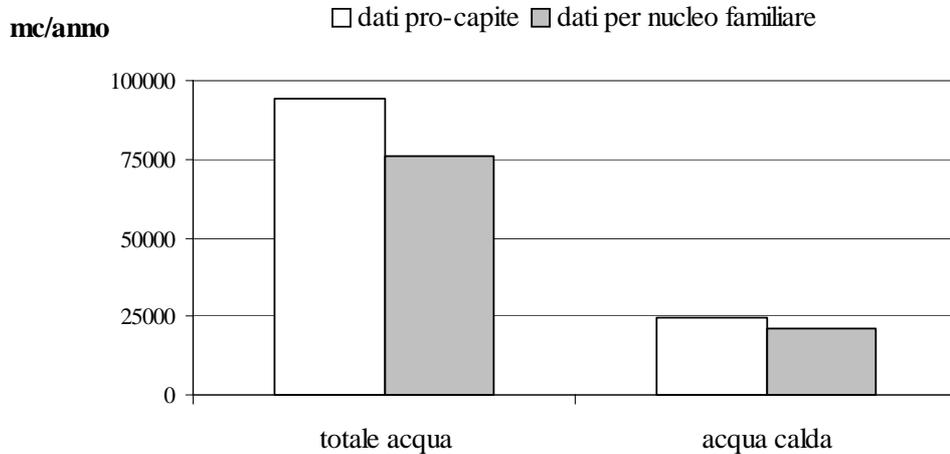
21 346 m³ annui di acqua calda risparmiata per tutto il comune di Bagnacavallo

Quest'ultimo valore può essere considerato più realistico in virtù del modo con cui il modello lineare ha permesso di stimare il risparmio pro-capite. Nel grafico seguente sono riassunti i risparmi di acqua totale e di acqua calda pro-capite e per dimensione del nucleo familiare:



Di seguito la rappresentazione grafica del risparmio idrico potenziale per tutto il Comune ottenuto utilizzando le stime del risparmio pro-capite e per utenza.

Risparmio idrico potenziale del comune



Risparmio energetico

In ambito urbano l'acqua calda sanitaria è, nella maggior parte dei casi, prodotta con caldaie a gas o scaldabagni elettrici. In media, in Italia si consumano circa 50 litri al giorno di acqua calda sanitaria pro capite, alla temperatura di 45°C (o di 50° C - <http://www.verdilivorno.it/futuro.htm>). Ipotizzando una temperatura dell'acqua proveniente dall'acquedotto pari a 15 °C si può calcolare il quantitativo pro capite Q, di energia termica necessaria:

$$Q = G \cdot cs \cdot (Tu - Ta) = 50 \text{ l} \cdot 1 \text{ kcal/l } ^\circ\text{C} \cdot 30 \text{ } ^\circ\text{C} = 1500 \text{ kcal}$$

in cui:

- G, massa d'acqua da scaldare (l)
- cs, calore specifico dell'acqua (kcal/l)
- Tu, temperatura di utilizzo, pari a 45°C
- Ta, temperatura acqua dell'acquedotto (°C).

http://www.minambiente.it/Sito/settori_azione/iar/FontiRinnovabili/tecnologie/tecnici/solare_termico.asp

<http://enelgreenpower.enel.it/it/energia/solare/stato.html>

Sulla base di questa relazione generale sono stati impostati i calcoli dei risparmi energetici conseguenti all'uso dei riduttori.

Risparmio complessivo per tutte le utenze munite di dispositivi riduttori

Produzione di acqua calda con caldaia a gas

I riferimenti riportati nel riquadro sotto hanno permesso di stimare che il 10% delle famiglie riscaldano l'acqua mediante scaldabagno elettrico.

Il boiler elettrico è presente nel 15% delle famiglie di Bologna

<http://www.issi.it/>

Il boiler elettrico è usato nel 10% dei casi per produrre acqua calda

[Piano Energetico Ambientale della Provincia di Bologna](#)

Ripartizione del consumo di energia per acqua calda sanitaria nel settore domestico - Rapporto

ENEA 2004. = 17% con energia elettrica

http://www.la220.it/energiazurra/comportamenti_sub.php?menu=2&comp=1&sub=5&id=8&pos=3

Come mostrato in precedenza la quantità di acqua calda risparmiata complessivamente da tutte le utenze munite di kit ammonta a $17 \text{ m}^3/\text{gg}$. Di questa quantità il 10% verrebbe prodotta con scaldabagni elettrici risparmiata ($17 \text{ m}^3/\text{gg} * 0.10$ (stima cautelativa) = 1.7 m^3). Il restante 90% verrebbe prodotta mediante caldaie a gas ($17 - 1.7 = 15.33 \text{ m}^3$).

Per produrre 15 330 litri di acqua calda sono necessarie:

$$Q = 15\,330 * 30 = 459\,883 \text{ kcal}$$

sapendo che il fattore di conversione per passare da kcal a kWh è 860 kcal/kWh, la spesa energetica in kWh per il riscaldamento della stessa quantità di acqua è pari a

$$459\,883 \text{ kcal} / 860 \text{ (f.c.)} = 535 \text{ kWh.}$$

Una caldaia a gas ha una resa energetica globale che si aggira sull'80÷85%.

http://www.minambiente.it/Sito/settori_azione/iar/FontiRinnovabili/tecnologie/tecnici/solare_termico.asp

<http://enelgreenpower.enel.it/it/energia/solare/stato.html>

Nel caso (peggiore) in cui il rendimento di una caldaia a gas fosse del 80% (si veda il riquadro sopra) la spesa energetica risulterebbe essere pari

$$535 \text{ kWh} / 0.8 = 668 \text{ kWh}$$

Utilizzando l'apposito fattore di conversione (riquadro sotto) è possibile tradurre questa spesa energetica in tonnellate equivalenti di petrolio (tep):

$$668 \text{ kWh} / 11\,628 = \mathbf{57 \cdot 10^{-3} \text{ tep/gg}}$$

$$1 \text{ tep} = 11\,628 \text{ kWh}$$

Equivalenze tra unità di misura di energia e calore delle fonti energetiche

http://www.ambiente.provincia.rimini.it/energia/tabelle%20conversione/tabelle_di_conversione.htm

Un metodo di calcolo alternativo è quello proposto nelle Schede tecniche dell'Autorità per l'Energia Elettrica e il Gas.

Per produrre $17 \text{ m}^3/\text{gg}$ di acqua calda sono necessarie 459 883 kcal.

$$1 \text{ caloria} = 4.186 \text{ joule}$$

$$459\,883 \text{ kcal.} * 4.186 \cdot 10^{-3} = 1\,925 \text{ MJ}$$

Nel caso peggiore di rendimento del 80% di una caldaia a gas (1 tep = 41.86 GJ):

$$(1\,925 \text{ MJ} / 0.8 / 41.86) * 10^{-3} = \mathbf{57 \cdot 10^{-3} \text{ tep/gg}}$$

Produzione di acqua calda con scaldabagno elettrico.

L'utilizzo di energia elettrica per produrre acqua sanitaria prevede una doppia trasformazione. In una prima fase occorre produrre energia elettrica (tipicamente in centrali termoelettriche). L'energia elettrica prodotta, poi, trasportata all'utenza, dovrà a sua volta trasformarsi in energia termica con cui portare l'acqua in temperatura. Per produrre con uno scaldabagno elettrico 1,7 kWh termici sono necessari 1,94 kWh elettrici, avendo stimato l'efficienza di conversione dello scaldabagno elettrico pari al 90%. Ma per la produzione di ogni kWh elettrico, vengono consumati dal parco di centrali elettriche italiane, circa 2,54 kWh, sotto forma di energia primaria.

Come descritto sopra, del totale di acqua calda risparmiata 17 m³/gg (calcolato su tutte le utenze munite di kit) il 10 % viene prodotto con scaldabagni elettrici:

17 m³/gg * 0.10 (stima cautelativa) = 1.7 m³ prodotti con scaldabagni elettrici

Per produrre 1.7 m³ di acqua calda (1 700 litri) sono necessarie:

$$Q = 1\,700 * 30 = 51\,098 \text{ kcal}$$

$$51\,098 \text{ kcal} / 860 \text{ kcal/kWh (fattore di conversione)} = 59 \text{ kWh}$$

Stimando l'efficienza di conversione dello scaldabagno elettrico pari al 90% si ottiene:

$$59 \text{ kWh termici} / 0.9 = 66 \text{ kWh elettrici (vedi riquadro sotto).}$$

Per produrre con uno scaldabagno elettrico 1,7 kWh termici sono necessari 1,94 kWh elettrici, avendo stimato l'efficienza di conversione dello scaldabagno elettrico pari al 90%.

http://www.minambiente.it/Sito/settori_azione/iar/FontiRinnovabili/tecnologie/tecnici/solare_termico.asp

<http://enelgreenpower.enel.it/it/energia/solare/stato.html>

Considerando che, per la produzione di ogni kWh elettrico, vengono consumati dal parco di centrali elettriche italiane, circa 2,54 kWh sotto forma di energia primaria (vedi riquadro sotto).

Per la produzione di ogni kWh elettrico, vengono consumati dal parco di centrali elettriche italiane, circa 2,54 kWh, sotto forma di energia primaria

http://www.minambiente.it/Sito/settori_azione/iar/FontiRinnovabili/tecnologie/tecnici/solare_termico.asp

<http://enelgreenpower.enel.it/it/energia/solare/stato.html>

Sulla base dei presupposti di cui sopra il calcolo rende

$$66 \text{ kWh elettrici} * 2,54 \text{ kWh} = 168 \text{ kWh}$$

$$1 \text{ tep} = 11\,628 \text{ kWh}$$

$$168 \text{ kWh} / 11\,628 = 14 \cdot 10^{-3} \text{ tep/gg}$$

Risparmio energetico totale (tep) calcolato su tutte le utenze munite di kit

$57 \cdot 10^{-3}$ tep/gg (caldaie a gas) + $14 \cdot 10^{-3}$ (boiler elettrici) = $72 \cdot 10^{-3}$ tep/gg risparmiate da tutte le utenze munite di kit Moltiplicando per i giorni in un anno:

$$72 \cdot 10^{-3} * 365 =$$

= 26 tep risparmiate in un anno da tutte le utenze munite di kit

Risparmio energetico pro-capite

Produzione di acqua calda con caldaia a gas

Si è precedentemente stimato un risparmio pro-capite di acqua calda pari a 4.5 litri/gg/abitante.

Per produrre tale quantità sono necessarie 135 kcal/gg/abitante ($Q = 4.5 * 30$):

che corrispondono a 0.16 kWh/gg/abitante (135 kcal/gg/abitante /860 kcal/kWh).

Nel caso peggiore di rendimento del 80% di una caldaia a gas

$$0.16 \text{ kWh} / 0.8 = 0.20 \text{ kWh/gg/abitante.}$$

Una caldaia a gas ha una resa energetica globale che si aggira sull'80÷85%.

http://www.minambiente.it/Sito/settori_azione/iar/FontiRinnovabili/tecnologie/tecnici/solare_termico.asp
<http://enelgreenpower.enel.it/it/energia/solare/stato.html>

corrispondenti a $0.20 \text{ kWh} / 11 \ 628 = \mathbf{16.88 \cdot 10^{-6} \text{ tep/gg/abitante}}$

1 tep = 11 628 kWh

Equivalenze tra unità di misura di energia e calore delle fonti energetiche

http://www.ambiente.provincia.rimini.it/energia/tabelle%20conversione/tabelle_di_conversione.htm

Un metodo di calcolo alternativo è quello proposto nelle Schede tecniche dell'Autorità per l'Energia Elettrica e il Gas.

Per produrre 4.5 litri di acqua calda sono necessarie 135 kcal.

1 caloria = 4.186 joule

$$135 \text{ kcal} * 4.186 \cdot 10^{-3} = 0.565 \text{ MJ}$$

Nel caso peggiore di rendimento del 80% di una caldaia a gas (1 tep = 41.86 GJ):

$$(0.565 \text{ MJ} / 0.8 / 41.86) * 10^{-3} = \mathbf{16.88 \cdot 10^{-6} \text{ tep/gg/abitante}}$$

Moltiplicando per i giorni in un anno:

$$16.88 \cdot 10^{-6} \text{ tep/gg/abitante} * 365 = \mathbf{6.16 \cdot 10^{-3} \text{ tep/anno/abitante}}$$

Utilizzando la stessa procedura di calcolo anche per i nuclei familiari si stima che:

	x 10⁻³ tep/anno
caldaia a metano	
nucleo 1	7.59
nucleo 2	10.65
nucleo 3	13.16
nucleo 4	16.81

Produzione di acqua calda con scaldabagno elettrico

Come descritto sopra, il risparmio pro-capite di acqua calda è pari a 4.5 litri/gg/abitante.

Per produrre 4.5 litri litri di acqua calda sono necessarie:

$$Q = 4.5 * 30 = 135 \text{ kcal/gg/abitante.}$$

$$\text{F.C.} = 860 \text{ kcal/kWh}$$

$$135 \text{ kcal} / 860 \text{ (f.c.)} = 0.16 \text{ kWh/gg/abitante.}$$

Stimando l'efficienza di conversione dello scaldabagno elettrico pari al 90% si ottiene:

$$0.16 \text{ kWh termici} / 0.9 = 0.178 \text{ kWh elettrici/gg/abitante}$$

Per produrre con uno scaldabagno elettrico 1,7 kWh termici sono necessari 1,94 kWh elettrici, avendo stimato l'efficienza di conversione dello scaldabagno elettrico pari al 90%.

http://www.minambiente.it/Sito/settori_azione/iar/FontiRinnovabili/tecnologie/tecnici/solare_termico.asp

<http://enelgreenpower.enel.it/it/energia/solare/stato.html>

Dato che per la produzione di ogni kWh elettrico, vengono consumati dal parco di centrali elettriche italiane, circa 2,54 kWh, sotto forma di energia primaria il calcolo rende:

$$0.18 \text{ kWh elettrici} * 2,54 \text{ kWh} = 0.45 \text{ kWh/gg/abitante}$$

$$1 \text{ tep} = 11 \text{ 628 kWh}$$

$$0.45 \text{ kWh} / 11 \text{ 628} = \mathbf{38.83 \cdot 10^{-6} \text{ tep/gg/abitante}}$$

Su scala annuale si ha un risparmio energetico di:

$$38.83 \cdot 10^{-6} \text{ tep/gg/abitante} * 365 = \mathbf{14 \cdot 10^{-3} \text{ tep/anno/abitante}}$$

La tabella seguente illustra lo stesso calcolo applicato ai nuclei familiari.

x 10⁻³ tep/anno	
boiler elettrico	
nucleo 1	17.13
nucleo 2	24.05
nucleo 3	29.72
nucleo 4	37.96

Computo estimativo esteso a tutto il comune di Bagnacavallo

Il computo estimativo è stato poi esteso a tutto il comune di Bagnacavallo (16 087 abitanti; ISTAT 2001), con l'assunto che il 90% della popolazione utilizzi caldaie a gas mentre il 10% boiler elettrici (vedi sezioni precedenti). Dai calcoli eseguiti precedentemente si è ottenuto che con caldaia a gas il risparmio è di $6.16 \cdot 10^{-3}$ tep/anno/abitante, mentre con boiler elettrico esso ammonta a $14 \cdot 10^{-3}$ tep/anno/abitante. Da ciò deriva che:

$$(6.16 \cdot 10^{-3} \text{ tep} * 0.9 + 14 \cdot 10^{-3} \text{ tep} * 0.1) * 16\,087 \text{ abitanti} =$$

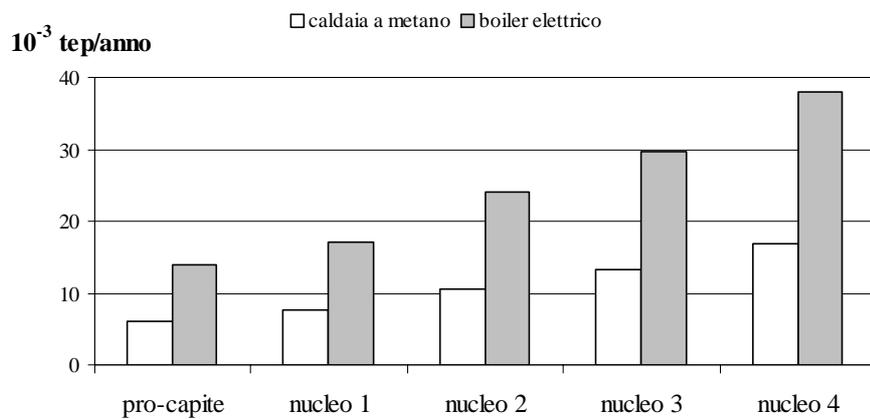
112 tep/anno risparmiate per tutto il comune di Bagnacavallo

Lo stesso calcolo effettuato utilizzando il dato del risparmio per le utenze e considerando il numero totale di nuclei familiari (6 716 famiglie; ISTAT 2001) permette di ottenere un risparmio annuo di: 13.418 tep/anno (risparmio annuo per un nucleo medio) * 6 716 famiglie =

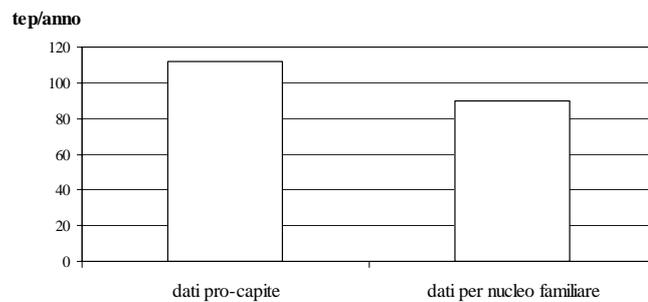
90 tep/anno risparmiate per tutto il comune di Bagnacavallo

I grafici seguenti riassumono le stime di risparmio energetico:

Risparmio energetico



Risparmio energetico potenziale del comune



Emissioni di CO₂ evitate

Calcolo su tutte le utenze munite di dispositivi riduttori

Caldaia a metano

Si è precedentemente calcolato che per produrre 15.33 m³ di acqua calda sono necessari:
535 kWh

Per calcolare le emissioni di CO₂ corrispondenti alla produzione di 535 kWh si sono utilizzati diversi parametri che hanno portato a differenti risultati.

- 1) Se si assume che nella combustione si formano 0,25 kg CO₂ per ogni kWh termico

http://www.minambiente.it/Sito/settori_azione/iar/FontiRinnovabili/tecnologie/tecnic/solare_termico.asp
<http://enelgreenpower.enel.it/it/energia/solare/stato.html>
http://enelgreenpower.enel.it/it/energia/solare/rapp_ambiente.html

535 kWh elettrici * 0.25 kg di anidride carbonica = **134 kg CO₂ risparmiati ogni giorno**

- 2) Se si assume che nella combustione si formano 0,205 kg CO₂ per ogni kWh termico (vedi riquadro sotto)

<http://www.fis.unipr.it/sustain/modules.php?op=modload&name=Sections&file=index&req=printpage&artid=70>
Valutazione di massima dell'efficienza energetica degli edifici
(<http://www.reteilliput.it/modules.php?op=modload&name=DownloadsPlus&file=index&req=MostPopular>)

535 kWh elettrici * 0.205 kg di anidride carbonica = **110 kg CO₂ risparmiati ogni giorno**

- 3) Una via alternativa per il calcolo passa attraverso i m³ di metano.

Per produrre 15.33 m³ di acqua calda sono necessarie 459 883 kcal (Q = 15 330 * 30)

Assumiamo il potere calorifico inferiore del metano pari a 8000-8500 Kcal/Nm³ (media 8250)
www.garioninaval.com/public_pdf/vapore1_ITA.pdf
http://www.miservi.it/miserviWeb/serviziAEM/pmi/informativa/faq_condomini_gas.jsp:*.*.node3
www.aster.it/opet/doc/ceramica_modena.pdf
<http://www.metanoauto.com/modules.php?name=Encyclopedia&op=content&tid=54>

$$459\,883\text{ kcal} / 8250\text{ Kcal/Nm}^3 = 56\text{ Nm}^3$$

Nel caso peggiore di rendimento del 80% di una caldaia a gas:

$$3.0\text{ Nm}^3 / 0.8 = 70\text{ Nm}^3$$

Fattore di emissione del metano: 1,96 kg CO₂/m³
[Calcolo stechiometrico](#)

70 Nm³ * 1,96 kg CO₂/m³ = **137 Kg CO₂ risparmiati ogni giorno**

- 4) Una ulteriore metodo di calcolo è quello che utilizza i joule.

Per produrre 15 330 litri di acqua calda sono necessarie 459 883 kcal.

1 caloria = 4.186 joule

$459\,883\text{ kcal} * 4.186\,10^{-3} = 1\,925\text{ MJ}$

Nel caso peggiore di rendimento del 80% di una caldaia a gas:

$1\,925\text{ MJ} / 0.8 = 2\,406\text{ MJ}$

Per il gas naturale (metano) è fornito un fattore di conversione a partire dall'energia generata attraverso l'utilizzo di tale combustibile. Il coefficiente proposto per il gas naturale è di 15,3 t di carbonio/TJ, cioè per la generazione di 1 TJ di energia, attraverso l'impiego del metano, ho emissioni pari a 15,3 tonnellate di carbonio pari a 56.1 di CO₂.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 1997. *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Workbook*. Vol. 2. Intergovernmental Panel on Climate Change, Organization for Economic Co – Operation and Development and the International Energy Agency, Paris, France.

$2\,406\text{ MJ} * 56.1 * 10^{-3} = \mathbf{135\text{ kg CO}_2\text{ risparmiati ogni giorno}}$

Scaldabagno elettrico

Per produrre 1.7 m³ di acqua calda sono necessari 66 kWh elettrici.

Anche in questo caso, per calcolare le emissioni di CO₂ corrispondenti alla produzione di 66 kWh si sono utilizzati diversi parametri che hanno portato a differenti risultati.

- 1) In Italia, per produrre un kWh elettrico, le centrali termoelettriche emettono nell'atmosfera in media 0,58 kg di anidride carbonica (CO₂) [Dati ENEL 1999]

http://www.minambiente.it/Sito/settori_azione/iar/FontiRinnovabili/tecnologie/tecnicisolare_termico.asp
<http://enelgreenpower.enel.it/it/energia/solare/stato.html>

$66\text{ kWh elettrici} * 0,58\text{ kg di anidride carbonica} = \mathbf{38\text{ kg CO}_2\text{ risparmiati ogni giorno}}$

- 2) In Italia, per produrre un kWh elettrico, le centrali termoelettriche emettono nell'atmosfera in media 0,70 kg di anidride carbonica

http://enelgreenpower.enel.it/it/energia/solare/rapp_ambiente.html

$66\text{ kWh} * 0.70\text{ kg CO}_2 = \mathbf{46\text{ kg CO}_2\text{ risparmiati ogni giorno}}$

- 3) Fattore di emissione di CO₂ da kWh prodotto nel 1999, per il settore elettrico italiano = 0,532 Kg di CO₂ / kWh di energia elettrica

Vignati S., 2002. Il sistema di generazione elettrica italiano dopo i recenti accordi sul protocollo di Kyoto. *Energia, Ambiente e Innovazione*, anno 48, Marzo-Aprile 2002: 41 – 49.

$66\text{ kWh elettrici} * 0,532\text{ Kg di CO}_2 / \text{kWh} = \mathbf{35\text{ kg CO}_2\text{ risparmiati ogni giorno}}$

Totale CO₂ evitata su tutte le utenze munite di kit

Dalle stime effettuate precedentemente si sono ottenuti diversi valori e precisamente:

kg CO ₂ /gg evitati	
caldaie a metano	boiler elettrici
134	38
110	46
137	35
135	

Si sono perciò stimati un valore minimo ed uno massimo, ottenendo:

minimo => 110 (caldaie a gas) + 35 (boiler elettrici) = 145 kg CO₂risparmiati ogni giorno calcolato su tutte le utenze munite di kit

MASSIMO => 137 (caldaie a gas) + 46 (boiler elettrici) = 183 kg CO₂risparmiati ogni giorno calcolato su tutte le utenze munite di kit;

su scala annuale il calcolo ha reso

minimo => 145 kg CO₂ * 365 = 53 t CO₂ risparmiate in un anno

MASSIMO => 183 kg CO₂ * 365 = 67 t CO₂ risparmiate in un anno

CO₂ pro-capite evitata

Caldaia a metano

Si è precedentemente calcolato che per produrre i 4.5 litri di acqua calda risparmiata sono necessari 0.20 kWh/gg/abitante.

Per calcolare le emissioni di CO₂ corrispondenti alla produzione di 0.20 kWh/gg/abitante si sono utilizzati diversi parametri che hanno portato a differenti risultati.

- 1) Assumendo che nella combustione si formano 0,25 kg CO₂ per ogni kWh termico

http://www.minambiente.it/Sito/settori_azione/iar/FontiRinnovabili/tecnologie/tecnici/solare_termico.asp
<http://enelgreenpower.enel.it/it/energia/solare/stato.html>
http://enelgreenpower.enel.it/it/energia/solare/rapp_ambiente.html

0.20 kWh/gg/abitante * 0.25 kg di anidride carbonica = **0.05 kg CO₂/gg/abitante risparmiati**

- 2) Se, invece, nella combustione si formano 0,205 kg CO₂ per ogni kWh termico

<http://www.fis.unipr.it/sustain/modules.php?op=modload&name=Sections&file=index&req=printpage&artid=70>
Valutazione di massima dell'efficienza energetica degli edifici
(<http://www.retelilliput.it/modules.php?op=modload&name=DownloadsPlus&file=index&req=MostPopular>)

0.20 kWh/gg/abitante * 0.205 kg di anidride carbonica = **0.04 kg CO₂/gg/abitante risparmiati**

3) Il calcolo può essere eseguito utilizzando i m³ di metano.

Per produrre 4.5 litri di acqua calda sono necessarie 135 kcal.

Assumiamo il potere calorifico inferiore del metano pari a 8000-8500 Kcal/Nm³ (media 8250)

www.garioninaival.com/public_pdf/vapore1_ITA.pdf

http://www.miservi.it/miserviWeb/serviziAEM/pmi/informativa/faq_condomini_gas.jsp;*.node3

www.aster.it/opet/doc/ceramica_modena.pdf

<http://www.metanoauto.com/modules.php?name=Encyclopedia&op=content&tid=54>

$$135 \text{ kcal} / 8250 \text{ Kcal/Nm}^3 = 0.0164 \text{ Nm}^3$$

Nel caso peggiore di rendimento del 80% di una caldaia a gas:

$$0.0164 \text{ Nm}^3 / 0.8 = 0.021 \text{ Nm}^3$$

Fattore di emissione del metano: 1,96 kg CO₂/ m³

[Calcolo stechiometrico](#)

$$0.021 \text{ Nm}^3 * 1,96 \text{ kg CO}_2 / \text{m}^3 = \mathbf{0.04 \text{ Kg CO}_2/\text{gg/abitante risparmiati}$$

4) Utilizzando i joule di energia.

Per produrre 4.5 litri di acqua calda sono necessarie 135 kcal.

$$1 \text{ caloria} = 4.186 \text{ joule}$$

$$135 \text{ kcal} * 4.186 \cdot 10^{-3} = 0.57 \text{ MJ}$$

Nel caso peggiore di rendimento del 80% di una caldaia a gas:

$$0.57 \text{ MJ} / 0.8 = 0.71 \text{ MJ}$$

Per il gas naturale (metano) è fornito un fattore di conversione a partire dall'energia generata attraverso l'utilizzo di tale combustibile. Il coefficiente proposto per il gas naturale è di 15,3 t di carbonio/TJ, cioè per la generazione di 1 TJ di energia, attraverso l'impiego del metano, ho emissioni pari a 15,3 tonnellate di carbonio pari a 56.1 di CO₂.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 1997. *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Workbook*. Vol. 2. Intergovernmental Panel on Climate Change, Organization for Economic Co – Operation and Development and the International Energy Agency, Paris, France.

$$0.71 \text{ MJ} * 56.1 * 10^{-3} = \mathbf{0.04 \text{ kgCO}_2/\text{gg/abitante}$$

riassumendo, l'anidride carbonica evitata è:

kg CO₂ pro-capite evitati

caldaia a metano	
giorno	anno
0.05	16.12
0.04	13.22
0.04	13.17
0.04	13.02

Utilizzando la stessa procedura di calcolo anche per i nuclei familiari:

kg CO₂ evitati / anno

caldaia a metano				
nucleo 1	nucleo 2	nucleo 3	nucleo 4	
19.85	27.87	34.44	43.99	
16.28	22.85	28.24	36.07	
16.22	22.77	28.14	35.95	
16.03	22.51	27.82	35.54	

Scaldabagno elettrico

Per produrre 4.5 litri/gg/abitante di acqua calda sono necessari 0.178 kWh elettrici/gg/abitante.

Anche in questo caso, per calcolare le emissioni di CO₂ corrispondenti alla produzione di 0.178 kWh elettrici/gg/abitante si sono utilizzati diversi parametri che hanno portato a differenti risultati.

- 1) In Italia, per produrre un kWh elettrico, le centrali termoelettriche emettono nell'atmosfera in media 0,58 kg di anidride carbonica (CO₂)

[Dati ENEL 1999].

http://www.minambiente.it/Sito/settori_azione/iar/FontiRinnovabili/tecnologie/tecnic/solare_termico.asp
<http://enelgreenpower.enel.it/it/energia/solare/stato.html>

0.178 kWh elettrici * 0,58 kg di anidride carbonica = **0.10 Kg CO₂/gg/abitante risparmiati**

- 2) In Italia, per produrre un kWh elettrico, le centrali termoelettriche emettono nell'atmosfera in media 0,70 kg di anidride carbonica (CO₂)

http://enelgreenpower.enel.it/it/energia/solare/rapp_ambiente.html

0.178 kWh elettrici/gg/abitante * 0.70 kg CO₂ = **0.125 Kg CO₂/gg/abitante risparmiati**

- 3) Fattore di emissione di CO₂ da kWh prodotto nel 1999, per il settore elettrico italiano = 0,532 Kg di CO₂/ kWh di energia elettrica

0.178 kWh/gg/abitante * 0,532 Kg di CO₂/kWh = **0.095 Kg CO₂/gg/abitante risparmiati**

Riassumendo:

kg CO₂ pro-capite evitati

boiler elettrico	
giorno	anno
0.10	36.93
0.12	44.57
0.09	33.87

Utilizzando la stessa procedura di calcolo anche per i nuclei familiari:

kg CO₂ evitati / anno

boiler elettrico			
nucleo 1	nucleo 2	nucleo 3	nucleo 4
45.48	63.85	78.91	100.79
54.89	77.06	95.23	121.65
41.72	58.57	72.38	92.45

Computo estimativo esteso a tutto il comune di Bagnacavallo

Sempre nell'ipotesi che l'uso dei due metodi di riscaldamento sia ripartito in percentuale 90%-10% si è esteso il calcolo a tutta la popolazione di Bagnacavallo. Per il calcolo si sono utilizzati solo il valore massimo e minimo pro-capite di CO₂ evitati (in Kg).

Per la frazione di utenze che produce acqua calda con caldaie a metano si ha:

❖ minimo

13.02 kgCO₂/anno/abitante * 16 087 abitanti * 0.9 /1000 =

189 tCO₂ annue risparmiate per tutto il comune di Bagnacavallo

❖ MASSIMO

16.12 kgCO₂/anno/abitante * 16 087 abitanti * 0.9 /1000 =

233 tCO₂ annue risparmiate per tutto il comune di Bagnacavallo

Per la frazione di utenze che produce acqua calda con boiler elettrico si ha:

❖ minimo

33.87 kgCO₂/anno/abitante * 16 087 abitanti * 0.1 /1000 =

54 tCO₂ annue risparmiate per tutto il comune di Bagnacavallo

❖ MASSIMO

$44.57 \text{ kgCO}_2/\text{anno}/\text{abitante} * 16\ 087 \text{ abitanti} * 0.1 / 1000 =$

72 tCO₂ annue risparmiate per tutto il comune di Bagnacavallo

Il risparmio totale risulta essere perciò compreso tra i due seguenti limiti:

minimo

$189 \text{ tCO}_2 / \text{anno} + 54 \text{ tCO}_2 / \text{anno} =$

243 tCO₂ annue risparmiate per tutto il comune di Bagnacavallo

MASSIMO

$233 \text{ tCO}_2 / \text{anno} + 72 \text{ tCO}_2 / \text{anno} =$

305 tCO₂ annue risparmiate per tutto il comune di Bagnacavallo

Utilizzando le stime di risparmio per utenza l'estensione della stima a tutto il Comune (6 716 famiglie; ISTAT 2001) si ottiene:

per la frazione di utenze che produce acqua calda con caldaie a metano si ha:

❖ minimo

$25.19 \text{ kgCO}_2/\text{anno} (\text{risparmio annuo per un nucleo medio}) * 6\ 716 \text{ famiglie} * 0.9 / 1000 =$

152 tCO₂ annue risparmiate per tutto il comune di Bagnacavallo

❖ MASSIMO

$31.18 \text{ kgCO}_2/\text{anno} (\text{risparmio annuo per un nucleo medio}) * 6\ 716 \text{ famiglie} * 0.9 / 1000 =$

188 tCO₂ annue risparmiate per tutto il comune di Bagnacavallo

Per la frazione di utenze che produce acqua calda con boiler elettrico si ha:

❖ minimo

$65.54 \text{ kgCO}_2/\text{anno} (\text{risparmio annuo per un nucleo medio}) * 6\ 716 \text{ famiglie} * 0.1 / 1000 =$

44 tCO₂ annue risparmiate per tutto il comune di Bagnacavallo

❖ MASSIMO

$86.24 \text{ kgCO}_2/\text{anno} (\text{risparmio annuo per un nucleo medio}) * 6\ 716 \text{ famiglie} * 0.1 / 1000 =$

58 tCO₂ annue risparmiate per tutto il comune di Bagnacavallo

Il che comporta una stima complessiva racchiusa entro i seguenti limiti:

minimo

$152 \text{ tCO}_2 / \text{anno} + 44 \text{ tCO}_2 / \text{anno} =$

196 tCO₂ annue risparmiate per tutto il comune di Bagnacavallo

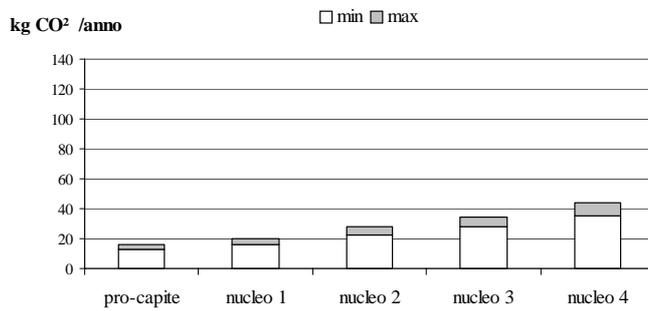
MASSIMO

$188 \text{ tCO}_2 / \text{anno} + 58 \text{ tCO}_2 / \text{anno} =$

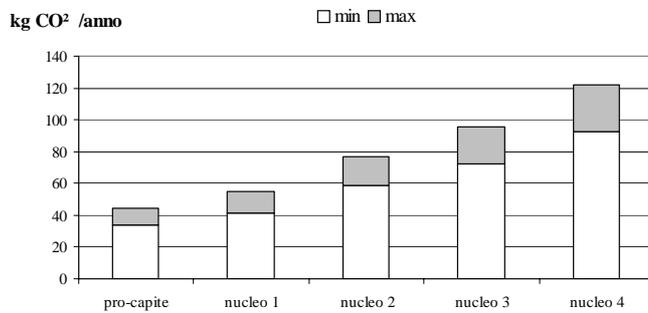
246 tCO₂ annue risparmiate per tutto il comune di Bagnacavallo

I grafici seguenti riassumono i risultati ottenuti:

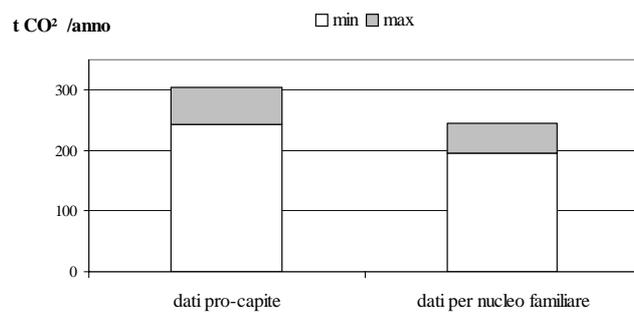
Emissioni di CO₂ evitate (caldaia a metano)



Emissioni di CO₂ evitate (boiler elettrico)



Emissioni di CO₂ evitate nel comune



Risparmio economico

In questa sezione è presentato un prospetto dei risparmi economici derivati dal risparmio idrico possibile utilizzando i riduttori di flusso. La sezione è suddivisa in due parti: nella prima sono date le informazioni generali riguardanti i costi dell'energia elettrica, del gas metano e dell'acqua; nella seconda sono messi in evidenza i calcoli del risparmio, condotto utilizzando le informazioni contenute nella prima parte.

Costi dell'energia elettrica

Le informazioni sono state reperite dal sito :

http://www.autorita.energia.it/consumatori/schede/elementi_della_tariffa_d2.htm

La tariffa elettrica complessiva è composta da:

- ❖ Corrispettivo di potenza e Corrispettivo fisso:
questi rimangono costanti al variare dei consumi e dipendono solo dal tipo di contratto; qui si è ipotizzata una tariffa D2 con potenza impiegata fino a 3kW.
- ❖ Corrispettivo di energia variabile sia per trimestri che per scaglioni di consumo

Il seguente riquadro riporta le fonti di informazione esplorate per stimare il consumo medio per utenza in kWh/anno per la scelta dello scaglione tariffario da impiegare.

Una famiglia di 4 persone posiziona il proprio consumo massimo di elettricità nell'ultimo scaglione tariffario.

<http://www.asshomosapiens.org/pagine%20biblioteca%20articoli/ABITARE%20ECOLOGICAMENTE3.htm>

Elettricità - Famiglia tipo: tre kw impegnati e consumi da 225 kWh mensili (2700 annui);

<http://www.cgil.it/finanze/consumi/default.htm>

<http://www.miaeconomia.com/retrieval/home/articolo.aspx?idchannel=5&idcategory=185&idarticle=79113&can=SOLDI+E+FAMIGLIA&cat=Prezzi+e+risparmio>

<http://www.repubblica.it/2004/k/sezioni/economia/prezzi7/tariffe/tariffe.html>

<http://www.movimentoconsumatori.it/stampa.php?mcnews=65>

<http://www.miaeconomia.it/retrieval/home/articolo.aspx?idchannel=7&idcategory=39&idarticle=80153&can=CASA&cat=Casa+news>

Consumo medio di una famiglia italiana = 2500/3000 kWh annui

http://www.arpa.veneto.it/rivista_arpa/docs/ambiente_veneto_2005_01.pdf

Consumo medio di una famiglia italiana = 2200 kWh annui

http://www.ingegneriambientali.it/docs/docs_bacheca/AIATInforma4-2003_COP9.pdf

EURISPES

Elettricità - Famiglia tipo: 3213 kWh annui;

<http://www.gesuiti.it/csarrupe/pdf/LAVORARE%20NON%20BASTA%2026%20ottobre.pdf>

La scelta è ricaduta due fasce da 1801 a 2640 kW/anno e da 2641 a 3540 kW/anno.

Si è ipotizzato un costo medio annuo (media dei trimestri) per gli scaglioni considerati:

da 1801 a 2640 kW/anno => 0.1340 euro/kWh per il 2005

da 2641 a 3540 kW/anno => 0.2190 euro/kWh per il 2005

- ❖ Imposta erariale => 0.0047 euro/kWh

❖ Addizionale comunale => 0.01859 euro/kWh

❖ IVA => 10% dell'imponibile

Costo complessivo di un kWh (escluse le spese fisse):

da 1801 a 2640 kWh/anno => 0.17410 euro/kWh per il 2005

da 2641 a 3540 kWh/anno => 0.26860 euro/kWh per il 2005

Costi del gas metano²

Le condizioni economiche di fornitura sono date da:

- una quota fissa, che non varia dato che per il calcolo si è ipotizzato uno scaglione medio di consumo;
- una quota variabile;
- una imposta di consumo;
- addizionale regionale;
- IVA 10%;

I dati di tariffe di fornitura del GAS NATURALE per il 2005 sono disponibili sul sito di HERA, ma non per Bagnacavallo. Si sono pertanto utilizzati quelli per Lugo di Romagna per ragioni di prossimità geografica. I valori di riferimento sono stati dedotti dalle seguenti tabelle:

SCAGLIONI per consumo annuo di Smc		Quota Fissa € / anno	Componenti Variabili* c€ / mc
1	Fino a 255	30,00	30,6009
2	255 1.021	36,00	29,9547
3	1.021 2.553	60,00	28,9951
4	2.553 25.532	120,00	28,9559
5	25.532 204.257	360,00	28,4859
6	204.257 1.021.284	-	27,7418
7	Oltre 1.021.284	-	27,3501
Quota fissa per capacità conferita (clienti con consumo superiore a 200.000 Smc/anno)		€/mc/giorno	
		0,50	

Imposte				
Tipologia cliente	Imposta di consumo c€/mc	Addizionale regionale c€/mc	IVA	
			Normale	Ridotta
Uso domestico cottura cibi e produzione acqua calda	4,484910	2,242450	10%	
Riscaldamento individuale con o senza uso promiscuo	fino a 250 mc/anno	7,885260	20%	
	oltre 250 mc/anno	17,330740	20%	
Altri usi civili	17,330740	3,098740	20%	10%
Usi industriali e artigianali	1,249800	0,624900	20%	10%

² la relazione esistente tra il normal metro cubo e il metro cubo standard è: $1N\ m^3 = 1,056\ S\ m^3$.

Per risalire allo scaglione di consumo da utilizzare erano necessarie informazioni relative al consumo medio per utenza in m³/anno. Queste informazioni sono state recuperate utilizzando i riferimenti dati nel riquadro sottostante.

Consumo totale di metano di una famiglia (4 persone) che usa solo metano per cucina, acqua calda e riscaldamento: 872.21 (225 cucina, 166.66 acqua calda, 480.55 riscaldamento).

<http://www.comune.oliveto-citra.sa.it/Metano/Dati%20Tecnici.htm>

Gas - Famiglia tipo: circa 1.400 metri cubi consumati in un anno.

<http://www.cgil.it/firenze/consumi/default.htm>

<http://www.miaeconomia.com/retrieval/home/articolo.aspx?idchannel=5&idcategory=185&idarticle=79113&can=SOLDI+E+FAMIGLIA&cat=Prezzi+risparmio>

<http://www.repubblica.it/2004/k/sezioni/economia/prezzi7/tariffe/tariffe.html>

<http://www.movimentoconsumatori.it/stampa.php?mcnews=65>

<http://www.miaeconomia.it/retrieval/home/articolo.aspx?idchannel=7&idcategory=39&idarticle=80153&can=CASA&cat=Casa+news>

EURISPES

Gas - Famiglia tipo: circa 2200 metri cubi consumati in un anno.

<http://www.gesuiti.it/csarrupe/pdf/LAVORARE%20NON%20BASTA%2026%20ottobre.pdf>

Su queste basi è stata scelta la fascia da 1 021 a 2 553 S m³/anno per il 2005 con i costi segnalati di seguito:

28,9951 cEuro/ m³ (quota variabile) + 4,484910 cEuro/ m³ (imposta di consumo) + 2,24245 cEuro/ m³ (addizionale regionale) + IVA 10% = 0.39692 euro/ m³

Costi dell'acqua

La tariffa di fornitura per il 2005 (gruppo HERA <http://www.gruppohera.it>) si compone di:

- quota fissa (non influenzata dal risparmio)
- quota variabile specifica per i m³ consumati (euro/ m³) differenziata in 3 diversi scaglioni
- quota variabile fognatura per i m³ consumati (euro/ m³)
- quota variabile depurazione per i m³ consumati (euro/ m³)
- IVA 10%

Tariffa agevolata per consumi fino a 40 m³/anno (pari a 0.109 m³/gg) = 0.695854 + 0.127434 + 0.339922 + (10%) = 1.29246 euro/ m³

Tariffa base per consumi da 40 a 100 m³/anno (pari a 0.274 m³/gg) = 1.154928 + 0.127434 + 0.339922 + (10%) = 1.80254 euro/ m³

Tariffa di eccedenza per consumi superiori a 100 m³/anno = 1.475277 + 0.127434 + 0.339922 + (10%) = 2.15848 euro/ m³

Per risalire allo scaglione di consumo da utilizzare sono state ricercate informazioni sul consumo medio per utenza di m³/anno:

consumo medio pro-capite a Bagnacavallo 0.155 m³/gg

composizione nucleo familiare 2.53

0.155 m³/gg *350 = 137 m³/anno

0.155 m³/gg *365 = 143 m³/anno

consumo medio per utenza a Bagnacavallo 0.357 m³/gg

0.357 m³/gg *350 = 125 m³/anno

0.357 m³/gg *365 = 130 m³/anno

I metri cubi risparmiati ricadono mediamente nell'ultimo scaglione della tariffa.

Risparmio economico totale per le utenze munite di dispositivi riduttori

I dati di risparmio energetico (elettricità + metano) e acqua sono riassumibili come:

⇒ 60.83 m³/gg di acqua risparmiati ogni giorno stimati su tutte le utenze minite di kit

⇒ 70 Nm³ di metano risparmiati ogni giorno stimati su tutte le utenze minite di kit

⇒ 66 kWh elettrici risparmiati ogni giorno stimati su tutte le utenze minite di kit

Tariffa per l'acqua:

❖ tariffa di eccedenza per consumi superiori a 100 m³/anno = 2.15848 euro/ m³

Tariffa per il metano:

❖ da 1 021 a 2 553 S m³/anno => 0.39692 euro/ m³ per il 2005

Tariffe per l'energia elettrica:

da 1801 a 2640 kW/anno => 0.17410 euro/kWh per il 2005 – Tariffa 1 (T1)

da 2641 a 3540 kW/anno => 0.26860 euro/kWh per il 2005 – Tariffa 2 (T2)

La sintesi dei risparmi è affidata alla tabella seguente:

Risparmi	H2O	Metano	Elettricità (T1)	Elettricità (T2)
euro/anno	47 926	10 095	4 195	6 472
Risparmio totale	T1	T2		
euro/anno	62 216	64 493		

Risparmio economico totale pro-capite e per utenza

Considerando i risparmi medi di acqua:

- ❖ risparmio medio pro-capite 10.37 %
- ❖ risparmio medio per utenza 8.86%

si possono stimare i seguenti risparmi giornalieri di acqua e gas, nel caso di una caldaia a metano

Risparmio	H2O m ³ /gg	Metano m ³ /gg
pro-capite	0.0160735	0.02045718
nucleo 1	0.0197951	0.02519374
nucleo 2	0.0277911	0.03537053
nucleo 3	0.0343443	0.04371090
nucleo 4	0.0438711	0.05583594

e di acqua ed elettricità, nel caso di boiler elettrico:

Risparmio	H2O m ³ /gg	Elettricità kWh/gg
pro-capite	0.0160735	0.174441
nucleo 1	0.0197951	0.214830
nucleo 2	0.0277911	0.301609
nucleo 3	0.0343443	0.372729
nucleo 4	0.0438711	0.476120

Nel caso di una caldaia a metano, le tariffe utilizzate per l'acqua sono state:

- ❖ tariffa base per consumi fino a 0.274 m³/gg = 2.15848 euro/ m³
- ❖ tariffa di eccedenza per consumi superiori a 0.274 m³/gg = 2.15848 euro/ m³

la tariffa per il metano era:

- ❖ da 1 021 a 2 553 S m³/anno => 0.39692 euro/ m³ per il 2005

Sulla base di questi dati i calcoli hanno fornito le stime dei risparmi dati nella tabella che segue:

Risparmio	H2O	Metano	TOTALE
euro/anno	euro/anno	euro/anno	euro/anno
pro-capite	12.66	2.96	15.63
nucleo 1	13.02	3.65	16.67
nucleo 2	21.90	5.12	27.02
nucleo 3	27.06	6.33	33.39
nucleo 4	34.56	8.09	42.65

Nel caso di un boiler elettrico, per l'acqua è stata utilizzata la

- ❖ tariffa di eccedenza per consumi superiori a 100 m³/anno = 2.15848 euro/ m³

Per l'energia elettrica:

- ❖ da 1801 a 2640 kW/anno => 0.17410 euro/kWh per il 2005 – Tariffa 1 (T1)
- ❖ da 2641 a 3540 kW/anno => 0.26860 euro/kWh per il 2005 – Tariffa 2 (T2)

In tabella è dato il prospetto riassuntivo di questi calcoli

Risparmio	H2O	Elettricità (T1)	Elettricità (T2)	TOTALE (T1)	TOTALE (T2)
euro/anno				euro/anno	euro/anno
pro-capite	12.66	11.09	17.10	23.75	29.77
nucleo 1	13.02	13.65	21.06	26.68	34.09
nucleo 2	21.90	19.17	29.57	41.06	51.46
nucleo 3	27.06	23.69	36.54	50.74	63.60
nucleo 4	34.56	30.26	46.68	64.82	81.24

Computo estimativo esteso a tutto il comune di Bagnacavallo

Considerando tutta la popolazione di Bagnacavallo, per gli utenti con caldaia a metano, circa il 90%, si è ottenuto un risparmio complessivo pari a:

$$15.63 \text{ euro risparmio annuo medio pro-capite} * (16\ 087 \text{ abitanti} * 0.9) =$$

226 255 euro risparmiati da tutti gli utenti con caldaia a metano nel comune di Bagnacavallo

Per gli utenti con scaldabagno elettrico, circa il 10%, il risparmio complessivo è stato stimato pari a (utilizzo il valore pro-capite di risparmio medio calcolato su T1 e T2):

$$26.76 \text{ euro risparmio annuo medio pro-capite} * (16\ 087 \text{ abitanti} * 0.1) =$$

43 044 euro risparmiati da tutti gli utenti con boiler elettrico nel comune di Bagnacavallo

Sommando le due stime:

$$226\ 255 \text{ euro} + 43\ 044 \text{ euro} =$$

269 299 euro risparmiabili da tutti gli utenti nel comune di Bagnacavallo

Utilizzando i dati di risparmio per utenza le stime sono risultate essere:

per le utenze con caldaia a metano, circa il 90%, il risparmio complessivo era pari a:

29.74 euro (risparmio annuo per un nucleo medio)* 6 716 famiglie * 0.9 =

179 751 euro risparmiati da tutte le famiglie con caldaia a metano;

per gli utenti con scaldabagno elettrico, circa il 10%, si è ottenuto un risparmio complessivo che ammonta a (utilizzo il valore per nucleo di risparmio medio calcolato su T1 e T2):

51.27 euro (risparmio annuo per un nucleo medio)* 6 716 famiglie * 0.1 =

34 435 euro risparmiati da tutte le famiglie con boiler elettrico nel comune di Bagnacavallo

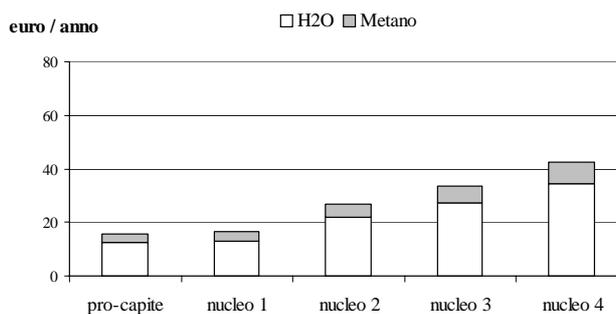
Sommando le due stime così ottenute il risparmio complessivo è:

179 751 euro + 34 435 euro =

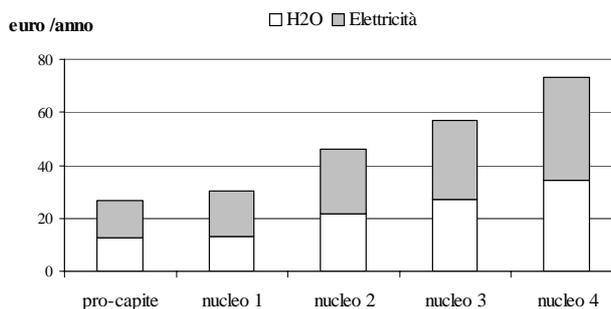
214 186 euro risparmiabili da tutte le famiglie nel comune di Bagnacavallo

I grafici illustrati di seguito riassumono le stime del risparmio economico:

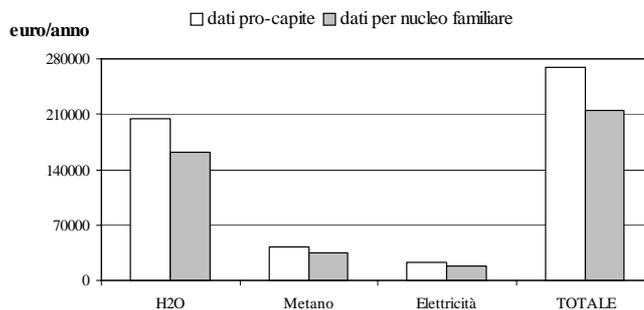
Risparmio economico (caldaia a metano)



Risparmio economico (boiler elettrico)



Risparmio economico del comune



Considerando invece di un risparmio medio del 10.37% pro-capite e del 8.86% per utenza, un risparmio massimo del 25% per entrambi si sarebbe ottenuto

a) nel caso di una caldaia a metano:

Risparmio	H2O	Metano	TOTALE
euro/anno	euro/anno	euro/anno	euro/anno
pro-capite	30.53	7.15	37.67
nucleo 1	36.75	10.30	47.05
nucleo 2	61.78	14.46	76.24
nucleo 3	76.35	17.87	94.22
nucleo 4	97.53	22.83	120.35

b) nel caso di boiler elettrico:

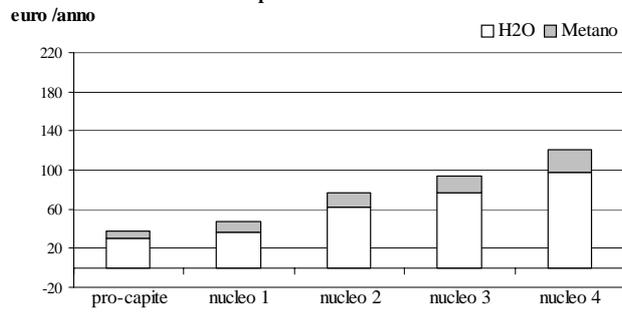
Risparmio	H2O	Elettricità (T1)	Elettricità (T2)	TOTALE (T1)	TOTALE (T2)
euro/anno					
pro-capite	30.53	26.72	41.23	57.25	71.76
nucleo 1	36.75	38.52	59.43	75.27	96.18
nucleo 2	61.78	54.08	83.44	115.86	145.22
nucleo 3	76.35	66.83	103.11	143.18	179.46
nucleo 4	97.53	85.37	131.71	182.90	229.24

Il risparmio così ottenuto, esteso a tutto il comune risulterebbe pari a:

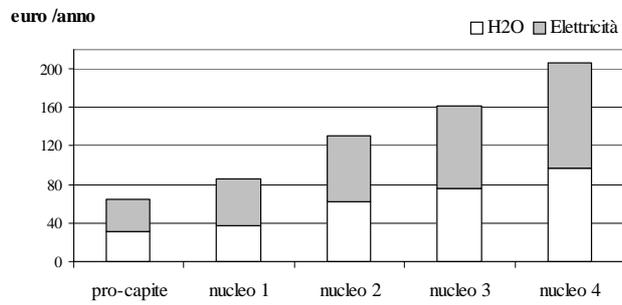
- ❖ **649 226 euro risparmiabili da tutti gli utenti nel comune di Bagnacavallo**
- ❖ **604 362 euro risparmiabili da tutte le famiglie nel comune di Bagnacavallo**

I grafici a seguire sintetizzano questi risultati:

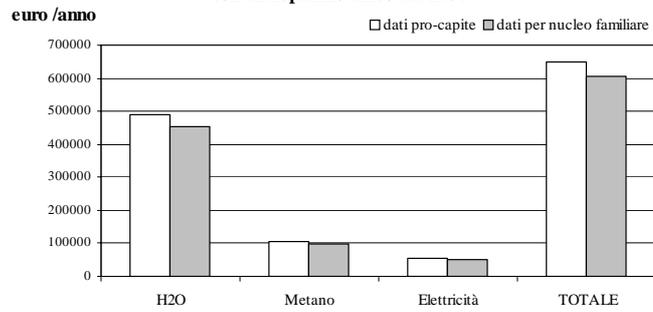
Risparmio economico (caldaia a metano)
con un risparmio idrico del 25%



Risparmio economico (boiler elettrico)
con un risparmio idrico del 25%



Risparmio economico del comune
con un risparmio idrico del 25%



Risparmi complessivi stimati per tutte le utenze provviste di dispositivi riduttori di flusso durante l'anno di sperimentazione

H ₂ O (m ³)	H ₂ O calda (m ³)	Energia (tep)	CO ₂ (t)		Risparmio economico (euro)							
					H ₂ O		metano		elettricità		Totale	
					min	Max	min	Max	min	Max	min	Max
22 203	6 217	26	145	183	47 926	10 095	4 195	6 472	62 216	64 493		

Risparmi complessivi pro-capite (annui)

H ₂ O (m ³)	H ₂ O calda (m ³)	Energia (x10 ⁻³ tep)		CO ₂ (kg)				Euro			
				metano		elettricità		metano		elettricità	
				min	Max	min	Max	min	Max	min	Max
5.9	2	6.2	14	13	16.1	33.9	44.6	15.63	23.75	29.77	

Risparmi complessivi per nucleo familiare (annui)

	H ₂ O (m ³)	H ₂ O calda (m ³)	Energia (x 10 ⁻³ tep)		CO ₂ (kg)				Euro		
			metano	elettricità	metano		elettricità		metano	elettricità	
					min	Max	min	Max		min	Max
nucleo 1	7.225	2.023	7.59	17.13	16	19.85	41.7	54.9	16.67	26.68	34.09
nucleo 2	10.144	2.840	10.65	24.05	22.5	27.9	58.6	77.1	27.02	41.06	51.46
nucleo 3	12.536	3.510	13.16	29.72	27.8	34.4	72.4	95.2	33.39	50.74	63.6
nucleo 4	16.013	4.484	16.81	37.96	35.5	44	92.5	121.7	42.65	64.82	81.24

Risparmi complessivi teorici estesi a tutto il Comune di Bagnacavallo

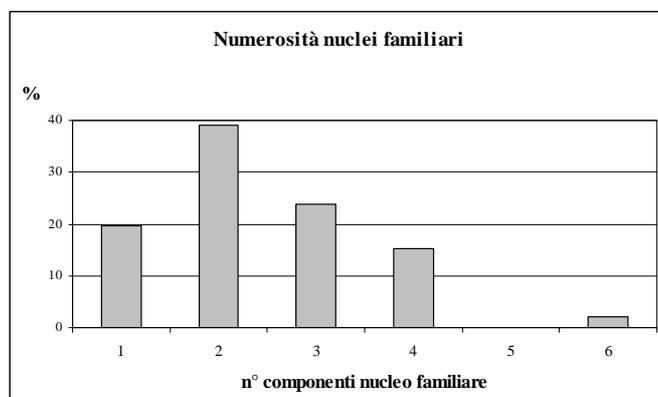
	H ₂ O (m ³)	H ₂ O calda (m ³)	Energia (tep)	CO ₂ (t)		Euro
				min	Max	
utilizzando il valore del risparmio pro-capite	94 380	24 436	112	243	305	269 299
utilizzando il risparmio relativo ai nuclei familiari	76 236	21 346	90	196	246	214 186

Questionario di rilevazione dei dati sul risparmio idrico

Al termine della sperimentazione si è pensato di elaborare un questionario da proporre, su base volontaria, alle utenze che avevano preso parte all'iniziativa. Lo scopo era quello di raccogliere informazioni puntuali che potessero dare informazioni sugli esiti della sperimentazione. Le utenze che hanno accettato di rispondere alle domande del questionario sono state quarantasei. Di seguito sono sintetizzate le informazioni contenute nel campione a partire dalle risposte alle singole domande.

1) Da quante persone è composta la sua famiglia?

La prima domanda del questionario, relativa alla composizione media della famiglia, è semplicemente una domanda di controllo al fine di verificare che il sottocampione di famiglie che volontariamente ha compilato il questionario sia omogeneo rispetto alla totalità di utenze che ha installato i riduttori di flusso. La composizione media delle famiglie appartenenti al sottocampione è risultata essere in accordo con quella del campione esteso e precisamente di 2.6 individui per nucleo. Qui in grafico sono riassunte le informazioni ottenute ed è evidente come le frequenze maggiori si sono riscontrate per i gruppi composti da 2 o 3 persone.



2) La composizione della sua famiglia è cambiata nell'ultimo anno?

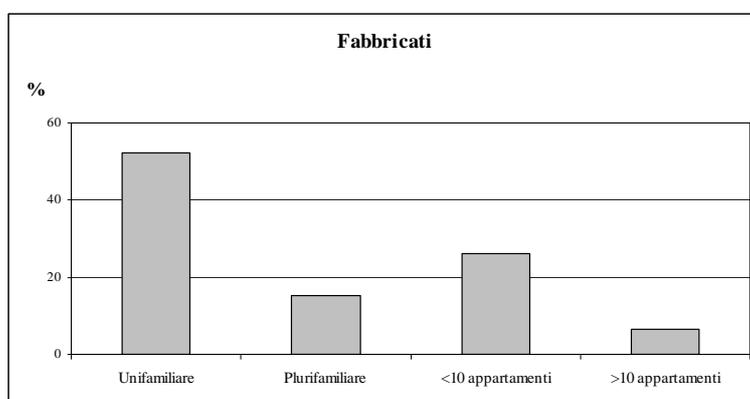
La seconda domanda del questionario ci ha fornito informazioni su eventuali cambiamenti nella composizione del nucleo familiare. Questi sono risultati essere generalmente legati ad una diminuzione del nucleo (trasferimenti e decessi), ma è risultato difficile collocare queste informazioni in un'ottica di maggiore o minore risparmio idrico, in un contesto dove la variabilità del risparmio è risultata (dalle analisi statistiche) alta.

Si riporta una curiosità: l'unica utenza che ha comunicato un aumento del nucleo familiare grazie alla nascita di un figlio ha poi riportato un risparmio negativo (quindi un aumento nel consumo di acqua).

3) In quale tipo di fabbricato vive la sua famiglia?

4) Qual è la superficie complessiva della sua abitazione?

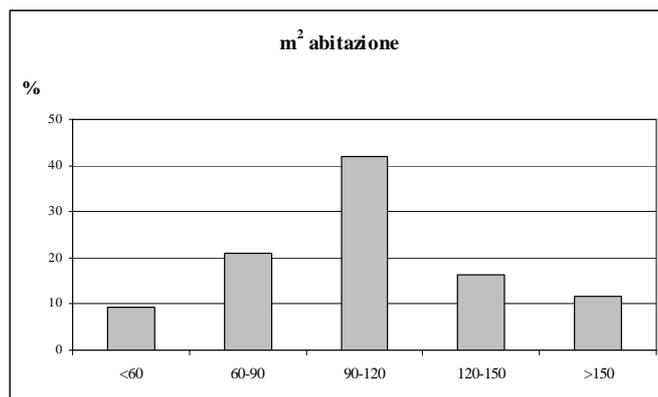
Le domande 3 e 4 sono relative alla tipologia di abitazione e alla sua estensione. Più del 50% delle famiglie interpellate abita in fabbricati unifamiliari e per queste utenze si è anche registrato il risparmio maggiore, pari al 15%. Negativo è invece risultato il risparmio per i fabbricati plurifamiliari e con meno di 10 appartamenti. Nella media sono risultati i risparmi per le famiglie domiciliate in fabbricati con più di 10 appartamenti.



% di risparmio idrico

Unifamiliare	15
Plurifamiliare	-8
<10 appartamenti	-18
>10 appartamenti	8

Questi risultati relativi ai fabbricati si possono mettere in relazione con quelli dell'estensione delle abitazioni; si vede infatti che più del 30% delle utenze abita su aree superiori ai 120 m²: queste hanno avuto i risparmi maggiori (16%). Questo esito può essere ricondotto a quanto osservato per le abitazioni unifamiliari e si osserva quindi che i risparmi maggiori sono riconducibili ad abitazioni indipendenti e spaziose.



m² abitazione	% di risparmio idrico
<60	6
60-90	4
90-120	-10
120-150	16
>150	16

5) Il contatore che rileva il consumo di acqua della sua abitazione è autonomo o condominiale?

Tutti le famiglie interpellate sono munite di contatore autonomo.

6) Di quanti bagni dispone l'abitazione in cui vive?

7) Quante sono le vasche da bagno presenti nella sua abitazione?

8) Quante sono le docce presenti nella sua abitazione?

Le domande 6, 7 e 8 sono relative al numero e alla tipologia dei bagni presenti nelle abitazioni. Il 42 % delle utenze dispone di 1 solo bagno e presenta un risparmio di circa il 10%; al contrario le famiglie che possiedono due bagni (58%) mostrano in risparmio negativo di circa il 4%. Un risparmio negativo si ritrova anche, diversamente da quanto atteso, tra chi possiede bagni dotati solo di docce (35%), mentre per chi possiede sia vasca da bagno che doccia (63%) si registra un risparmio medio del 15%.

% risparmio medio		
1 bagno	42 %	9.88
2 bagni	58 %	-4.20
% risparmio medio		
solo doccia	35 %	-20.24
vasca e doccia	63 %	15.00
solo vasca	2 %	-

- 9) In casa ha la lavatrice e/o la lavastoviglie?**
10) Quante volte utilizza la lavastoviglie alla settimana?
11) Quante volte utilizza la lavatrice alla settimana?

Le domande 9, 10 e 11 sono relative al possesso e all'utilizzo di lavatrici e lavastoviglie. Tutte le famiglie del campione possiedono una lavatrice mentre solo la metà (48%) è provvista di lavastoviglie.

	%
lavatrice	100
lavastoviglie	48

Nella seguente tabella sono illustrate le frequenze di utilizzo di lavatrici e lavastoviglie.

	Lavatrice	Lavastoviglie
n° lavaggi	%	%
0	0	52
1	31	11
2	13	0
3	27	17
4	9	11
>5	20	9

L'acqua utilizzata da lavatrici e lavastoviglie non appartiene alla quota risparmiabile, quindi si suppone che le famiglie che non utilizzano lavastoviglie abbiano un potenziale maggiore di risparmio. Questo si è verificato confrontando le percentuali di risparmio idrico di famiglie senza e con lavastoviglie ed è emerso che le prime hanno un risparmio del 16% (circa), al contrario le seconde hanno un risparmio medio negativo.

	% risparmio medio	
lavastoviglie	48 %	-11.51
no lavastoviglie	52 %	15.75

12) Lei e la sua famiglia utilizzate l'acqua del rubinetto per bere, lavare l'auto, innaffiare?

Con questa dodicesima domanda si indagano alcune tipologie di utilizzo della risorsa idrica: bere, lavare l'auto ed innaffiare. I risultati evidenziano un soddisfacente uso dell'acqua del rubinetto per bere; infatti il 43% delle famiglie interpellate ne fa un uso costante e il 33% ne fa un uso saltuario. Positivo è anche il fatto che l'acqua del rubinetto non viene mai utilizzata per lavare l'auto dall'82% delle utenze interpellate e il 61% non l'utilizza mai per innaffiare.

	Mai (%)	A volte (%)	Sempre (%)
Bere	24	33	43
Auto	82	16	2
Giardino	61	22	17

13) Controlla abitualmente il consumo rilevato dal contatore e l'importo della bolletta d'acqua?

Dalle risposte a questa domanda è risultato che il 67% del campione controlla abitualmente i consumi e la bolletta dell'acqua.

	SI	NO
Controllo consumi e bolletta	67%	33%

14) Quali sono stati i motivi che l'hanno spinto ad installare il kit del risparmio idrico distribuito dall'Amministrazione Comunale?

Le risposte a questa domanda sono da ricondurre ai risultati relativi alla domanda numero 20.

Per le domande dalla 15 alla 20 riportiamo in schematiche tabelle quanto emerso dai risultati del questionario. Queste informazioni sono risultate essere solo di natura descrittiva.

15) Ritiene che il progetto per il risparmio idrico a Bagnacavallo le abbia consentito un reale risparmio nel consumo di acqua?

	SI	NO
Reale risparmio	78%	22%

16) Ha avuto difficoltà nell'installazione dei riduttori di flusso?

	SI	NO
Difficoltà nell'installazione	9%	91%

17) Oltre al riduttore di flusso, nella sua casa sono presenti altre apparecchiature idro-sanitarie che riducono il consumo dell'acqua?

	SI	NO
Altri apparecchi idro-sanitari per il risparmio	30%	70%

18) Ci sono particolari comportamenti che lei attua quotidianamente per risparmiare acqua?

Comportamenti per risparmiare acqua risparmio medio		
SI	54%	-7%
NO	46%	13%

19) Ha un'idea del risparmio che riuscirebbe ad ottenere riducendo il consumo dell'acqua?

	SI	NO
Ha un'idea del risparmio?	26%	74%

20) Quale ritiene sia il motivo principale per cui una famiglia dovrebbe impegnarsi a ridurre i consumi di acqua per usi domestici?

Perché risparmiare	%
etico	29
etico-responsabile	49
economico	23

21) Lei sapeva che risparmiando acqua in casa riduce notevolmente anche i consumi di energia?

	SI	NO
Sa del risparmio di energia correlato?	76%	24%

22) Ritiene che l'acqua per consumi domestici costi poco, molto o il giusto?

L'acqua costa	%
Poco	2
Giusto	42
Molto	56