



Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie,
l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile



Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Progetto per l'integrazione in una rete di illuminazione pubblica avanzata di un sistema per la supervisione remota di una rete di edifici residenziali equipaggiati con una piattaforma di domotica energetica

G.Comodi, A.Giantomassi, S.Longhi, F.Polonara



PROGETTO PER L'INTEGRAZIONE IN UNA RETE DI ILLUMINAZIONE PUBBLICA AVANZATA DI UN SISTEMA PER LA SUPERVISIONE REMOTA DI UNA RETE DI EDIFICI RESIDENZIALI EQUIPAGGIATI CON UNA PIATTAFORMA DOMOTICA ENERGETICA

G. Comodi, F. Polonara (DIISM –Dipartimento di Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche)

A. Giantomassi, S. Longhi (Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione)

Università Politecnica delle Marche

Novembre 2011

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Area: Razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia

Progetto: Tecnologie "smart" per l'integrazione della illuminazione pubblica con altre reti di servizi energetici e loro ottimizzazione

Responsabile Progetto: Mauro Annunziato, ENEA

Gli autori desiderano ringraziare per la loro collaborazione gli studenti: Daniele Costa, Leonardo Sgreccia e Alessandro Donnino

Sommario

Executive Summary	5
CAPITOLO 1 - Introduzione	8
1.1 Obiettivo	9
1.2 Lo “smart agent”	10
1.3 Funzionalità e peculiarità	11
1.4 Come si realizza	11
1.5 Cosa monitorizza	12
1.6 Livello delle informazioni	12
1.6.1 La logica di primo livello	12
1.6.2 La logica di secondo livello	13
1.7 La metàautenza smart: dalla domotica alla “smart street” verso la “smart city”	14
CAPITOLO 2 - Progettazione dell’architettura della <i>Interactive Building Network</i> per il settore residenziale	16
2.1 Piattaforma domotica di raccolta dati e possibile comunicazione verso l’utente	16
2.2 Principali errori comportamentali e principali best practices	17
2.3 Principali eventi da diagnosticare e sensori installabili	18
2.4 Implementazione di una rete per il trattamento delle informazioni provenienti dai sensori installati nell’edificio	20
2.4.1 Rete e alimentazione	20
2.4.2 Microprocessori	21
2.4.3 Topologia implementata	22
2.5 Un sistema di trasmissione del dato verso un server remoto	23
CAPITOLO 3 - Sviluppo prototipale delle metodologie per i sistemi intelligenti e la comunicazione	24
3.1 Il programma di simulazione per la generazione dei dati: il software di simulazione HAMBASE	24
3.2 L’edificio simulato	31
3.3 Profili di presenza	36
3.4 L’utenza termica	37
3.5 Profilo elettrico	38
3.6 Profili di carico simulati	42
3.6.1 Profili “FAULTLESS” – Best Practices	42
3.6.2 Profili “FAULT”	49
3.7 CRITICITA’: Diagnostica ed importanza del feed-back utente	52
3.8 Le logiche di diagnostica testate	53

3.8.1 Principal component analysis	53
3.8.2 T2 , Q statistic	58
3.8.3 Wavelet Analysis	60
3.8.4 Multi-Scale Principal Component Analysis	67
3.9 Individuazione e identificazione dei guasti e malfunzionamenti	70
CAPITOLO 4 - Analisi tecnico-economica su un caso di riferimento	75
4.1 Risultati delle simulazioni	75
4.1.1 Profili “FAULTLESS”	75
CAPITOLO 5 - CONCLUSIONI	83
Bibliografia	84
APPENDICE - Divulgazione dati	86

Executive Summary

I temi sviluppati nell'ambito del presente report riguardano la possibilità di sfruttare il sistema della illuminazione pubblica come linea digitale capillare per la raccolta dati e l'invio di informazioni verso una vasta rete di edifici residenziali. L'obiettivo è la costruzione di una "interactive building network", ossia dello sviluppo di una capacità "urbana" di orientare i cittadini in modo attivo verso il conseguimento di elevati risparmi energetici ed economici nella gestione delle reti energetiche delle proprie abitazioni.

Il progetto nasce dalla consapevolezza che l'ottimizzazione dell'efficienza energetica in ambito residenziale sarà funzione sempre meno dell'efficienza del singolo prodotto (che va comunque promossa e perseguita) e sempre più della individuazione di inefficienze (diagnostica) e dell'ottimizzazione dei profili di consumo dell'utenza finale ("load management").

Nella **Introduzione** si definisce il contesto in cui è inserito il lavoro specificandone gli obiettivi: lo studio di una metodologia per la supervisione remota di una rete di edifici residenziali equipaggiati con una piattaforma di domotica energetica avente lo scopo di ridurre i consumi finali di energia (elettrica e termica) dei consumatori finali domestici attraverso un percorso di crescita di consapevolezza energetica. Nella Introduzione viene anche definita l'idea di uno "smart agent", una sorta di supervisore dei consumi domestici suddiviso su due livelli. Il primo livello, realizzabile a livello di ogni singola unità abitativa, ha funzioni di diagnostica ed individuazione sia di "comportamenti energeticamente errati" da parte degli utenti, sia di "guasti" di apparecchiature, sensori ed attuatori. Il secondo livello, è pensato come un server centralizzato in cui risiede tutta la potenza di calcolo ed ottimizzazione delle informazioni ricevute dalla supervisione di primo livello. Le informazioni elaborate daranno origine a dei feed-back verso l'utente finale di carattere tecnico, economico, informativo. Per questo, la logica di secondo livello si configura come un vero e proprio "personal energy agent" che fornisce all'utente informazioni che lo aiutino a migliorare la propria consapevolezza di quanto e come consuma energia.

Nel **secondo capitolo**, "**Progettazione dell'architettura della Interactive Building Network per il settore residenziale**", viene descritta l'architettura di primo livello. In particolare, vengono individuati i principali eventi da controllare, i sensori installabili e le principali logiche di

diagnostica. Infine, vengono fornite indicazioni per l'implementazione sia di una rete domestica per il trattamento delle informazioni provenienti dai sensori installati nell'edificio, sia di una rete di interactive building per il trattamento delle informazioni provenienti dai sensori installati nell'edificio e dirette verso un server remoto (di strada, "smart street", di quartiere, "smart district", o di città "smart city"). La piattaforma domotica di interactive building network è caratterizzata da pochi sensori in grado di garantire economicità, robustezza e bassa intrusività, in particolare per quello che riguarda il retrofit sul parco edilizio esistente.

Nel **capitolo 3, "Sviluppo prototipale delle metodologie per i sistemi intelligenti e la comunicazione"** vengono descritte le metodologie di diagnostica che possono essere implementate nel settore domestico. Poiché la ricerca è ancora nella fase di studio e di messa a punto delle metodologie, non esiste ancora una base di dati sperimentali su cui lavorare. Per ovviare a questo inconveniente, è stata simulata una unità abitativa con diversi profili di utenza al proprio interno. La prima parte del capitolo quindi descrive brevemente il sistema di simulazione utilizzato (software "HAMBASE"), l'edificio simulato. Successivamente vengono descritte le caratteristiche dell'utenza simulata; in particolare sono stati studiati: 3 profili di presenza all'interno dell'abitazione; per ciascun profilo di presenza sono stati definiti 3 profili di carico termico ed 1 profilo di carico elettrico giornaliero e settimanale. Inizialmente, sono stati simulati i diversi profili senza errori comportamentali o senza guasti agli apparecchi (profili "faultless"); in una seconda fase sono state inserite alcune delle "anomalie" (errori comportamentali o guasti), così da generare un set di profili con degli errori (profili "fault") che sono stati poi elaborati con sistemi di diagnostica.

Nel **capitolo 4, "Analisi tecnico-economica su un caso di riferimento"**, vengono presentati i risultati più significativi delle simulazioni, sia dal punto di vista energetico (m^3 di metano consumati), che dal punto di vista economico (€ annui risparmiati). Questi risultati consentono di dare una indicazione di massima sia del risparmio annuo ottenibile dall'applicazione di best practices sia del costo finale che dovrebbe avere, per ciascun utente, la piattaforma domotica di interactive building network. Supponendo un tempo di ritorno economico di circa 3 anni il suo costo dovrebbe restare all'interno di un range compreso tra i **600** ed i **750 €**. La piattaforma base ipotizzata, realizzata con sensori ed attuatori commerciali può realizzarsi a partire da un costo di circa **700-800 € IVA INCLUSA**. Aggiungendo altri sensori ed attuatori (come ad esempio controllo luci, presenza, temporizzatore uscite) si può arrivare anche a **1300-1500 €, IVA INCLUSA**.

CAPITOLO 1 - Introduzione

La presente ricerca nasce dai seguenti presupposti:

I consumi del settore domestico:

1. Il settore residenziale è uno di quelli, insieme con i trasporti, su cui si hanno i maggiori margini di miglioramento di efficienza energetica. La principale ragione, specialmente se comparata con l'industria o il grande terziario, è di carattere economico. La spesa energetica delle famiglie è relativamente contenuta e un miglioramento di efficienza energetica si traduce spesso in qualche decina di euro all'anno a fronte di investimenti spesso notevoli (specialmente quelli sull'involucro edilizio e sull'esistente) che richiedono tempi di ritorno elevati
2. Il settore domestico in Italia, consuma circa l'80% dell'energia primaria per usi termici; il restante 20% sono usi elettrici. Fatte quindi le dovute proporzioni, occorrerà individuare le "inefficienze" su cui puntare maggiormente sia in termini energetici che economici.

La progettazione domotica:

3. La maggior parte delle utenze del settore domestico attuale non risponde a criteri progettuali organici: i consumi del settore domestico sono il frutto di un mix di utenze (elettriche e termiche) e di comportamenti di utenti "MAL-educati" dal punto di vista energetico.
4. La maggior parte dell'edilizia domestica esistente non è guidata dall'alto (dal progettista) ma dal consumatore/utente, con il risultato che il sistema complessivo di utenze (termiche ed elettriche) sono svincolate dal progetto dell'involucro e spesso non sono organiche tra loro. (In pratica, il progetto della casa prescinde dalle funzionalità a servizio di chi ci abiterà)
5. La casa domotica, al contrario, nasce da un progetto che vede coinvolte diverse figure professionali: il progettista domotico, l'architetto/interior designer, il committente/utilizzatore finale (le esigenze dell'abitante fanno parte delle specifiche di progetto sin dall'inizio).
6. La casa domotica va pensata come tale in fase di progettazione. Questo implica implementare alcune funzionalità già nell'involucro: presenza di sensori ed attuatori, sistema di pre-cablaggio per la comunicazione, sistemi di comunicazione, vano tecnico per l'alloggiamento della centrale operativa (cervello domotico).

7. La casa domotica rischia di essere molto costosa;
8. Essendo la maggior parte delle abitazioni attuali “non progettate” sotto il profilo domotico tutti i sistemi di sensori e di comunicazione devono essere poco intrusivi ed economici;
9. La sfida principale è il retrofit sull’edilizia residenziale esistente

La Smart street ed un sistema diffuso di trasmissione dati:

10. nelle città c’è una attenzione sempre maggiore a creare reti urbane intelligenti per fornire servizi al cittadino;
11. tra i principali servizi “smart” ci sono: infomobilità, sicurezza, accesso ad internet in aree pubbliche;
12. una infrastruttura molto interessante per la implementazione di servizi è sicuramente quella basata sulla illuminazione pubblica; attraverso la tecnologia di trasmissione dati basata sulle onde convogliate (PLC-Power Line Communication) è possibile avvalersi della linea di alimentazione elettrica per trasmettere o ricevere dati ed informazioni;
13. in questa ottica, il lampione diventa un nodo locale di una rete di trasmissione dati diffusa sul territorio;
14. l’illuminazione pubblica ha una presenza capillare su tutto il territorio, in particolare quello urbano; di conseguenza una rete di trasmissione dati poggiata su questa infrastruttura permette di raggiungere gran parte delle utenze domestiche, garantendo omogeneità nelle connessioni e superando problemi di trasferimento dati legati alla presenza o meno di altre connessioni (digital divide).

1.1 Obiettivo

Incrementare l’efficienza energetica nel settore domestico. Questo obiettivo sarà raggiunto rendendo i consumatori finali maggiormente consapevoli delle inefficienze (i) dei loro impianti e (ii) della loro gestione (diagnostica), (iii) dei loro comportamenti energetici (educazione).

I consumatori finali diventeranno, nel medio termine e con gradualità, parte attiva (per esempio, opzionando carichi o settando il proprio profilo ottimale) del sistema in cui sono inseriti, sia esso il singolo appartamento, il singolo condominio, la strada o il quartiere della “smart city”.

In questo contesto, il progetto sviluppa una metodologia per la supervisione remota di una rete di edifici residenziali equipaggiati con una piattaforma di domotica energetica in grado di sfruttare la rete di illuminazione pubblica come linea digitale capillare per la raccolta dati e l’invio di informazioni verso una vasta rete di edifici residenziali, con l’obiettivo di orientare i cittadini in

modo attivo verso il conseguimento di elevati risparmi energetici ed economici nella gestione delle reti energetiche delle proprie abitazioni.

Questo percorso di crescita di consapevolezza energetica si concretizza nello “smart agent”.

1.2 Lo “smart agent”

Lo smart agent è un sistema/piattaforma/strumento creato per migliorare l’efficienza energetica negli usi finali dell’energia del settore domestico di una o più zone della “smart city”. In particolare, lo “smart agent” fornisce al “consumatore finale” informazioni di diagnostica sullo stato e la gestione degli utilizzatori energetici, suggerisce comportamenti virtuosi per ridurre i consumi e di conseguenza la bolletta energetica. Lo “smart agent” può essere pensato come un servizio di consulenza al cittadino, privo quindi di “conflitti d’interesse” (quali potrebbero essere quelli forniti dai distributori/venditori stessi) o l’applicazione di protocolli proprietari che vincolano/fidelizzano l’utente all’utilizzo di specifiche tecnologie.

Con lo smart agent, inoltre, si superano, in una ottica di rete, i “confini” in cui finora è ricaduto lo sforzo di riduzione dei consumi del settore domestico:

- **l’efficienza del singolo prodotto**, sia esso inteso come utilizzatore finale di energia elettrica (elettrodomestici, lampade,..), di energia termica (caldaia) o come involucro (struttura, isolamento, infissi ...).
- **l’efficienza energetica della singola unità abitativa**

Con l’ottica di rete si vuole uscire dal confine del singolo prodotto o della singola abitazione per arrivare ad un miglioramento dell’efficienza energetica dell’intera area in cui l’unità abitativa è inserita (condominio, strada, quartiere). In questo senso lo “smart agent” vuole essere uno strumento al servizio del consumatore che diventa soggetto attivo del sistema con i suoi comportamenti. Lo “smart agent”, avendo una visione sinottica dei consumi energetici dell’area monitorata, potrà avere, in futuro, un ruolo nell’ottimizzazione dei carichi energetici di quella che potrà essere vista dalle reti energetiche (gas, elettricità, acqua,...) come una meta-utenza sulla quale poter intervenire anche con installazioni di sistemi di generazione distribuita anche da fonte rinnovabile.

1.3 Funzionalità e peculiarità

La funzione principale dello smart agent è quella di individuare sia le inefficienze di prodotto, sia quelle di sistema (prodotto + utilizzatore finale). Alcune funzioni dello smart agent potrebbero essere (elenco esemplificativo e non esaustivo, anzi, incrementabile): ausilio nella scelta dei profili tariffari migliori; fornire una fotografia energetica dell'utenza; diagnostica di anomalie su utilizzatori finali (macchine) o sugli impianti; suggerimenti generici all'utenza finale (messaggio del giorno "lo sapevi che?"); suggerimenti specifici per l'utenza (come impostare alcuni set-point); azioni specifiche sull'utenza (impostazioni set-point da remoto).

1.4 Come si realizza

Lo smart agent è pensato su due livelli:

- logica di 1° livello: singola unità abitativa. Le funzionalità saranno minime: raccolta dati da monitorare (include i sistemi di sensori e la tecnologia di trasferimento dell'informazione); prima elaborazione dei dati per una diagnostica di errori di primo livello; invio dei feed-back della diagnostica all'utente; invio di dati ad un server remoto (logica di livello superiore) per una loro successiva elaborazione; eventuale sistema ricezione di feed-back, eventuale interfaccia di comunicazione del feed-back;
- logica di 2° livello: è la logica di più alto livello, in cui vengono convogliate le informazioni in arrivo dalle singole unità abitative ed in cui risiedono le capacità di calcolo, elaborazione ed analisi delle informazioni da cui deriveranno i feed-back per i singoli utenti.

Obiettivo del lavoro è stato quello di capire come implementare, a costi accettabili per un utente domestico, un sistema di rilevazione dati interno alla unità abitativa e proporre delle modalità principali di comunicazione tra le logiche di primo e secondo livello e l'utente stesso. Una delle modalità di comunicazione più promettenti potrebbe essere quella legata al trasferimento dell'informazione attraverso reti intelligenti di illuminazione pubblica ("smart street", PLC- Power Line Communication), particolarmente attraenti per la loro capillarità e vicinanza agli utenti finali.

1.5 Cosa monitorizza

Il sistema di monitoraggio ed acquisizione dati da inserire all'interno di ciascuna unità abitativa deve essere caratterizzato da: semplicità, economicità, presenza di pochi sensori, robustezza e bassa intrusività. La prima parte del lavoro si è concentrata sulla individuazione delle informazioni da monitorare, sul come monitorarle, su quali informazioni dovrebbero/potrebbero essere integrate già sugli utilizzatori finali e a quale costo, con quale tecnologia di trasmissione dati.

1.6 Livello delle informazioni

Uno degli obiettivi principali del lavoro è quello di studiare e definire:

1. quali informazioni raccogliere e come raccoglierle all'interno della singola unità abitativa;
2. quali delle informazioni al punto 1 devono essere inviate alla logica di secondo livello e quali possono rimanere confinate alla logica di primo livello;
3. definire uno standard chiamato di "informazione pura" comune a tutta la piattaforma così da poter essere elaborata e confrontata in maniera standardizzata ed omogenea dalla logica di secondo livello;

Per fare questo occorre chiarire innanzitutto la funzione della logica di secondo livello.

1.6.1 La logica di primo livello

All'interno dell'unità abitativa verrà progettata una piattaforma domotica con funzionalità minime quali:

- la raccolta dati proveniente dai sensori installati nell'appartamento;
- la prima elaborazione delle informazioni con algoritmi di diagnostica;
- la funzionalità di possibile comunicazione verso l'utente di informazioni di warning derivanti dalla diagnostica;
- un sistema di trasmissione dei dati "verso" un server remoto per la successiva elaborazione e definizione di logiche di ottimizzazione;
- un eventuale sistema di ricezione di feed-back dal server remoto

Alcuni feed-back di primo livello potrebbero essere dei semplici "warning" legati a:

- Diagnostica di comportamenti inefficienti;
- Diagnostica di malfunzionamento (rottura).

1.6.2 La logica di secondo livello

La logica di secondo livello, la logica “smart”, ha il compito di fornire dei feed-back all’utente finale in modo da accompagnarlo nel raggiungimento di una maggiore consapevolezza di “consumatore finale di energia”. Per questo essa può essere vista come una sorta di “personal Energy agent” che fornisce all’utente informazioni che lo aiutino a migliorare questa consapevolezza. Le informazioni possono essere le più varie e di carattere tecnico, economico, informativo:

Feed-back “informativi-educativi”

- profilo di consumi elettrici suddiviso per fasce orarie (F1, F2, F3);
- profilo di consumi di gas naturale;
- spesa per energia elettrica;
- spesa per gas naturale;
- caratterizzazione energetica del sistema “unità abitativa-occupante”;
 - consumo unità abitativa in kWh/m²/anno;
 - calcolo carbon footprint;

Feed-back di “suggerimento”

- suggerimenti per abbassare i costi dato il profilo dell’utenza (senza per ora modificare i consumi)
 - benchmark tra opzioni tariffarie del distributore locale;
 - benchmark tra le varie offerte dei fornitori di energia (offerte gas e luce insieme)
 - cosa succede se sposto i consumi verso la fascia F3?

Feed-back “di ottimizzazione”

- suggerimenti per ridurre i propri consumi (e conseguentemente i costi)
 - suggerire impostazioni locali di:
 - settaggio di temperatura di uscita dalla caldaia (anche in base all’apprendimento della T esterna);
 - settaggio della temperatura nei diversi ambienti (anche in base all’apprendimento della T esterna);
 - settaggio della temperatura per ACS
 - suggerire orario di accensione per elettrodomestici nella logica della “smart” e di “peak shaving”: l’orario di accensione dovrebbe essere scelto dalla logica smart per ridurre al minimo la contemporaneità dei carichi se l’energia è prelevata dalla rete o

per aumentare al massimo la contemporaneità con l'autoproduzione da fonti di energia rinnovabile (Esempio: nel caso di prelievo di energia elettrica dalla rete, accensione notturna degli elettrodomestici ma riducendo al minimo la contemporaneità dei carichi della "smart area"; accensione in concomitanza con l'autoproduzione di energia elettrica da fonti rinnovabili quali il fotovoltaico)

- suggerire best practices
- studio di fattibilità di massima di impianti PV, solari termici (eventualmente micro-chp)
 - costi
 - PBP
 - accesso incentivi
 - offerta banche
- stima di potenziali margini di riduzione dei costi e dei consumi;
- benchmark dell'appartamento con la mediana dei consumi e dei costi della "smart street";
- benchmark dell'appartamento con la mediana dei consumi e dei costi degli utenti della "smart street" con le stesse caratteristiche di utenza(confronto tra residenze di famiglie, single, pensionati...);

1.7 La metautenza smart: dalla domotica alla "smart street" verso la "smart city"

La logica di secondo livello dovrebbe introdurre delle funzioni "smart" che vadano oltre la visione "efficiente" della singola unità abitativa (oggetto della domotica) per arrivare ad integrare alcune funzioni in una ottica di "smart area", sia essa "smart building" (inteso come condominio), "smart street", "smart district" per arrivare alla "smart city".

Tutti i dati provenienti dalle logiche di primo livello dovranno essere elaborati dalla logica di secondo livello attraverso tecniche di analisi, diagnostica e predittive. Quindi, lo "smart agent" avrà bisogno di un periodo di apprendimento per capire e rispondere al meglio a quelle che sono le caratteristiche del sistema "smart" (condominio, street, district, city...). Alcuni dati dovrebbero essere acquisiti in maniera centralizzata per tutto il sistema "smart"; per esempio con una centralina meteo unica per la città o per il quartiere si potrebbero avere dati su: irraggiamento, vento, pioggia, temperatura esterna ed umidità. Si potrebbe prevedere anche un collegamento con banche dati di elaborazioni dati meteo. In particolare, la logica di secondo livello dovrebbe permettere di avere una visione sinottica dei consumi delle utenze ad essa sottoposte; in questa visione le singole utenze si fondono in una unica "meta utenza" che può essere gestita in modo tale da: (i) ottimizzare i carichi

elettrici/termici delle singole utenze così da ridurre la contemporaneità dei carichi (“peak shaving”); (ii) prevedere l’inserimento di centrali di generazione distribuita sia alimentati da fonte rinnovabili che da fonti fossili in modo da rispondere alla domanda energetica della meta utenza in una ottica di smart grid e di programmabilità dai carichi di rete; (iii) prevedere la produzione contemporanea di energia elettrica e termica attraverso sistemi di cogenerazione distribuita.

Alcuni esempi:

- programmare i carichi delle utenze elettriche nelle fasce di minor consumo nella logica della tariffa bioraria (F3) in modo da ridurre la contemporaneità dei carichi: la domotica fa funzionare gli elettrodomestici (lavastoviglie e lavatrici) negli orari di minor consumo senza preoccuparsi di quello che fanno le altre utenze ; la logica “smart” ripartisce i carichi delle varie utenze ottimizzando la gestione globale di tutte le utenze sottoposte;
- programmare i carichi delle utenze elettriche in modo da utilizzare tutta l’energia autoprodotta da eventuali impianti di generazione distribuita rinnovabili, evitando di riversare energia elettrica in rete;
- aggregare gli appartamenti in condomini (un criterio potrebbe essere per numero civico) in modo da avere una unità intermedia tra la singola unità abitativa e la street;
- fattibilità di impianti di micro-chp, a servizio di condominio o dove possibile per teleriscaldamento;
- previsione di potenza da fonti rinnovabili installabile nella “smart street” per ridurre il prelievo dalla rete;
- previsione di potenza da micro cogenerazione installabile nella “smart street”;
- previsione di producibilità di impianti solari fotovoltaici, termici in base ai dati climatici monitorati

NOTE:

1. alcune funzioni, in particolare l’apprendimento, potrebbero essere svolte in maniera interattiva con l’utente, magari visualizzando gli orari notturni liberi o facendo “opzionare” degli orari preferenziali;
2. informazioni devono essere user-friendly e di facile comprensione
3. il feed-back nel breve-medio periodo sarà sicuramente di suggerimento per l’utente, ma potrebbe essere anche implementato nell’ottica di azione da remoto;
4. è interessante sia dal punto di vista energetico, economico e “sociologico” capire quale è la risposta (in termini di prontezza dell’azione, costanza ...) dell’utente finale.

CAPITOLO 2 - Progettazione dell'architettura della *Interactive Building Network* per il settore residenziale

In questo capitolo, viene descritta l'architettura di primo livello. In particolare, vengono individuati i principali eventi da controllare, i sensori installabili e le principali logiche di diagnostica. Infine, vengono fornite indicazioni per l'implementazione sia di una rete domestica per il trattamento delle informazioni provenienti dai sensori installati nell'edificio, sia di una rete di *interactive building* per il trattamento delle informazioni provenienti dai sensori installati nell'edificio e dirette verso un server remoto (di strada, "smart street", di quartiere, "smart district", o di città "smart city").

Il sistema *Interactive Building Network* (IBN) sarà basato su una rete di sensori domestica wireless (o PLC) ed avrà lo scopo di interfacciare tutte le risorse ed utenze della abitazione/edificio tra cui a) quantificare eventuali sorgenti di energia rinnovabili; b) raccogliere i dati di consumo elettrico e termico; c) dialogare con elettrodomestici e utenze di tipo smart (*smart appliances*); d) predisporre una pre-analisi locale dei dati da inviare al server per la diagnostica remota o al sistema per la profilazione del quartiere nella ipotesi di distretti a generazione distribuita. Tale piattaforma sarà caratterizzata da un costo (in prospettiva di piani industriali) molto basso.

2.1 Piattaforma domotica di raccolta dati e possibile comunicazione verso l'utente.

Lo studio della piattaforma domotica di raccolta dati ha avuto come principali linee guida:

- l'individuazione dei principali parametri energetici da monitorare, tenuto conto sia di quelle che sono le principali best practices a livello di efficienza e risparmio energetico sia di quelli che sono i principali errori comportamentali di chi abita nell'appartamento;
- I protocolli di trasmissione, tenendo come direttrice la minor intrusività e la maggior facilità di installazione dei sensori inseriti;
- l'individuazione delle funzionalità/potenzialità che un gateway deve avere poter: i) ricevere le informazioni dai sensori installati, ii) effettuare un minimo di elaborazione per una diagnostica di primo livello, iii) inviare informazioni di feed-back all'utente, iv) inviare informazioni ad una logica di secondo livello per elaborazioni più approfondite ("smart");

- I costi di ciascun sensore al fine di definire/stimare il costo della piattaforma e, soprattutto, per valutare il rapporto costi/benefici tra “costo dell’informazione” associata al sensore e ”risparmio energetico/economico” ottenibile attraverso la correzione di un evento/comportamento prontamente diagnosticato;

Inoltre, è importante sottolineare che:

1. essendo preponderante il peso dei consumi termici rispetto a quelli elettrici, i benefici maggiori si hanno intervenendo sulle inefficienze negli impianti termici.
2. il beneficio energetico (e quindi economico) marginale è tanto più elevato quanto maggiore è l’inefficienza del sistema energetico stesso, in questo caso l’abitazione, inteso come combinazione di involucro e utilizzatori finali (elettrici e termici) di energia.

2.2 Principali errori comportamentali e principali best practices

Innanzitutto è importante distinguere tra efficienza energetica (energy efficiency) e risparmio energetico (energy conservation): la prima è legata alle prestazioni energetiche del singolo prodotto (elettrodomestico, lampada, edificio, sistema di produzione di energia) mentre la seconda è più legata

ai comportamenti dell’utente. La massimizzazione della riduzione dei consumi si ottiene agendo su entrambi i fronti, sia quello del risparmio che quello dell’efficienza.

Alcune best practices standard suggerite dalla letteratura sono:

- Controllo temperatura in ogni ambiente e conseguente regolazione locale con cronotermostato (risparmio energetico stimato 10-15% sul costo di riscaldamento)
- Installazione di un termostato automatico;
- Impostazioni termostato: (sensore di presenza, temperatura, cronotermostato in ogni ambiente)
 - INVERNO: impostare termostato ad una temperatura di comfort di 18/20 °C quando la casa è occupata; abbassare ulteriormente la temperatura impostata a 16°C di notte e quando nessuno è in casa durante il giorno; abbassare ulteriormente 13-15 °C quando la casa è inoccupata per più di 24 ore; abbassare la temperatura o chiudere i termosifoni nelle stanze poco utilizzate; (chiudere le porte con locali non scaldati o a temperatura inferiore.)
 - ESTATE: raffrescare solo alcuni ambienti principali e selezionati; impostare la temperatura a 25-26 °C o superiore;
- Impostare l’accensione della caldaia in base a quando sono previste delle presenze;
- Abbassare la temperatura di mandata dell’impianto di riscaldamento;

- Abbassare impostazione della temperatura ACS a 48 °C;
- Controllo apertura chiusura delle finestre;
- Controllo delle presenze (sensori di presenza con “MANUAL ON” e “AUTOMATIC OFF”)
- Spegner la luce quando non serve

2.3 Principali eventi da diagnosticare e sensori installabili

I principali eventi da diagnosticare sono elencati in tabella 1.

#	Evento da diagnosticare	Casistica	INFO
1	Porte, finestre esterne aperte	Sempre	Rapida variazione nel tempo AND/OR Temperatura più vicina all'ambiente adiacente che al set-point
2	Porte, finestre interne aperte Predisposti ma non simulato	Solo con controllo di temperatura in ogni ambiente	Rapida variazione nel tempo AND/OR Temperatura più vicina all'ambiente comunicante che al set-point
3	Rottura termostato (rimane aperto o chiuso)	Solo con controllo di temperatura in un solo ambiente	Temperatura ambiente diversa dal set-point
3 bis	Rottura termostato (isteresi per usura)		
4	Rottura termo valvole (rimane bloccata o tutta aperta o tutta chiusa)	Solo con controllo di temperatura in ogni ambiente	Temperatura ambiente diversa dal set-point E mancata presenza degli eventi 1-2 (per esempio la variazione di temperatura non è rapida e la T è comunque lontana da quella degli ambienti adiacenti)
5	Cambio set-point da parte dell'utente Predisposti ma non simulato		Verificare se la temperatura è molto (quanto?) diversa dal set-point è diverso
6	Rientro ritardato da parte dell'utente rispetto all'accensione programmata del termostato OTTIMIZZAZIONE	Con controllo di temperatura almeno in un ambiente	Verificare perché il riscaldamento ha programmato una accensione ed ancora non c'è nessuno in casa. Questo si potrebbe fare incrociando l'accensione della caldaia con il segnale di presenza o con un carico elettrico di base.
7	Utenze elettriche rimaste accese Predisposti ma non simulato	sempre	Verificare perché il carico elettrico è diverso da quello base mentre non c'è nessuno in casa
8	Lampade rimaste accese Predisposti ma non simulato	sempre	Capire che le luci sono accese e incrociare il dato con irraggiamento o ora del giorno
9	Funzionamento elettrodomestici in orario non ottimale	sempre	Verificare che gli elettrodomestici siano in funzione in fascia F1 o F2, in assenza di autoproduzione di energia, o che siano in funzione fascia F1 o F2 con autoproduzione

TABELLA 1

I principali sensori/attuatori da implementare nella piattaforma domotica sono elencati in tabella 2. L'elenco non è da considerarsi esaustivo; la piattaforma, infatti è stata pensata come aperta, cioè in grado, qualora fosse necessario, di implementare l'acquisizione di altri parametri. Tuttavia, poiché uno degli obiettivi della presente ricerca è stato anche quello di studiare una piattaforma domotica a basso costo, l'attenzione è stata posta particolarmente alla realizzazione di una soluzione robusta che potesse raggiungere elevati risparmi con la presenza di pochi sensori accuratamente scelti e posizionati.

#	Sensore/attuatore	Modalità di trasmissione dato/informazione
1	Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> • Cavo (wired); • Home Radio Frequency (HomeRF); • Wi-fi; • Zig-bee; • Onde convogliate (PLC)
2	Analizzatore di rete appartamento	
3	Misuratore portata gas	
4	Sensore presenza	
5	Sensori di contatto porte e finestre	
6	Sensore luminosità	
7	Wattmetro per utenze elettriche	
8	Termostato	
9	Cronotermostato per termosifoni	

Tabella 2: Principali sensori/attuatori implementabili nella piattaforma domotica

La piattaforma domotica progettata potrebbe implementare alcune logiche semplici già a livello di appartamento, provvedendo all'utente un feed-back di "warning". Alcune tra le principali logiche di diagnostica sono elencate in tabella 3.

# evento	Sensori/attuatori associati (cfr. Tabelle 1 e 2)	Tipologia intervento correttivo
1	1 AND/OR 5	warning
2	1 AND/OR 5	warning
3	1 AND 8	warning
4	1 AND 8 AND 9	warning
5	1 AND 8	warning
6	8 AND (4 OR 5)	warning
7	(7 OR 2) AND (4 OR 5)	warning
8	6 OR 2(su linea luce)AND(ora giorno OR irraggiamento OR 4 OR 5)	Warning
9	(2 (possibilmente su linea motrice) OR 7) AND ora del giorno	Warning

Tabella 3

E' anche possibile pensare ad una futura implementazione di ulteriori logiche non solo di diagnostica, ma anche di ottimizzazione di controllo; un esempio potrebbe essere l'ottimizzazione dei set-point (ad esempio temperatura dell'acqua di mandata in caldaia) nell'unità abitativa o addirittura nelle singole stanze una volta diagnosticati possibili apporti termici dovuti alla presenza di persone o di utenze elettriche (ad esempio il forno in cucina).

2.4 Implementazione di una rete per il trattamento delle informazioni provenienti dai sensori installati nell'edificio

Per la gestione delle informazioni provenienti dai sensori installati all'interno dello stabile in oggetto occorre una rete di comunicazione, che garantisca pur mantenendo bassi i costi di esercizio un'affidabile capacità di trasmissione che non pregiudichi le prestazioni generali del sistema. La tipologia di rete che meglio risponde a tali necessità risulta essere una WSN (Wireless Sensor Network) ovvero una rete wireless costituita appunto dai sensori distribuiti nell'ambiente, utilizzati per rilevare fenomeni fisici o monitorare condizioni ambientali. Questi dispositivi vengono interfacciati con opportuni router o gateway i quali costituiscono lo scheletro della rete di trasmissione. La scelta della trasmissione wifi è da preferire a quella wired poiché l'installazione degli apparati risulta essere più facile e con un notevole risparmio economico in termini di manodopera, al contrario una rete prettamente di tipo wired è da prendere in considerazione solamente se si procede alla realizzazione di un edificio pensato e progettato per la cablatura.

I sensori di misurazione distribuiti all'interno delle zone, comunicano via wireless con un gateway centrale, il quale può essere collegato a dispositivi che permettono di memorizzare, elaborare, analizzare e presentare i dati di misura rilevati. Per aumentare le distanze operative e l'affidabilità in una rete di sensori wireless, è possibile utilizzare dei router che implementino dei "ponti" al fine di mantenere sempre efficiente ed efficace la comunicazione tra i nodi finali e il gateway. Questo infine raccoglie i dati di misura da ogni nodo e li invia a un host controller. Tali dati vengono poi elaborati, analizzati e presentati all'utente finale.

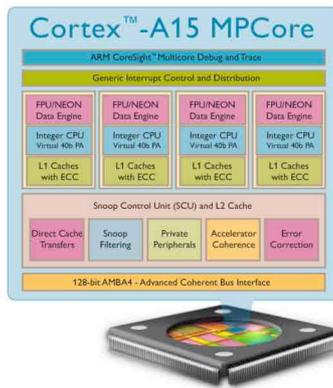
2.4.1 Rete e alimentazione

Un sensore base di una rete WSN contiene diversi componenti fondamentali come sistema radio, batteria, microcontrollore, circuito analogico e interfaccia sensore. Proprio perché questa tipologia

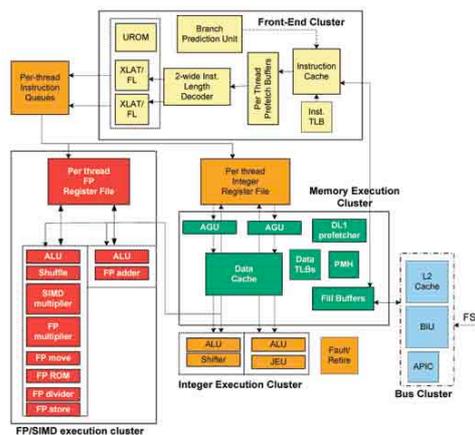
di apparati viene alimentata da batteria, è necessario definire un compromesso tra le elevate velocità di trasferimento dati e il consumo di energia. Nelle comuni applicazioni WSN la durata delle batterie può variare da 3 a 5 anni e considerando che oggi la maggior parte dei sistemi WSN si sviluppano su protocolli ZigBee o IEEE 802.15.4 a basso consumo energetico, la durata della vita delle batterie è in costante aumento. Il protocollo IEEE 802.15.4 definisce il layer fisico e quello di controllo dell'accesso al mezzo fisico del modello di rete, offrendo comunicazione nelle bande ISM da 868 a 915 MHz e 2.4 GHz e velocità di trasferimento dati fino a 250 kb/s. ZigBee si sviluppa sui layer del protocollo 802.15.4 per garantire sicurezza e affidabilità tramite le topologie di rete mesh e interoperabilità con altri dispositivi e standard. ZigBee supporta anche oggetti o profili dell'applicazione definiti dall'utente, in grado di offrire personalizzazione e flessibilità all'interno del protocollo.

2.4.2 Microprocessori

Per incrementare la vita delle batterie che alimentano i sensori installati nelle zone , un nodo opera in maniera "switch" ovvero acquisisce e trasmette i dati accendendo il sistema radio e subito effettuata la trasmissione lo spegne, in maniera tale da operare con la massima efficienza e il massimo risparmio energetico possibile. In tale modalità di funzionamento, il processore deve essere in grado di accendere e poi reimpostare il sistema in modalità "sleep" in modo efficiente, garantendo tuttavia la trasmissione dei dati attraverso opportune tecniche di trasmissione con handshaking. Le tecnologie dei microprocessori per le reti di sensori sono in costante sviluppo per ridurre il consumo energetico. La principale architettura utilizzata è l' ARM (Advance RISC Machine) o intel ATOM, la quali risultano essere le migliori nel campo delle applicazioni embedded, in quanto offrono ottime caratteristiche di prestazioni ad un basso consumo energetico. Inoltre tali microprocessori sono molto diffusi anche in ambiente SOHO (Small Office Home Office) e pertanto risultano reperibili attraverso i maggiori fornitori di hardware di conseguenza anche il costo di acquisto risulta essere notevolmente ridotto, basti pensare che il diversi produttori come ASUS HP GYGABYTE offrono soluzioni complete a costi di poco superiore ai 100 €.



Architettura di un microprocessore ARM CORTEX A-15



Architettura di un microprocessore INTEL ATOM

2.4.3 Topologia implementata

E' possibile utilizzare diverse topologie di rete per coordinare il gateway WSN, i nodi finali e i nodi router. I nodi router sono simili a nodi terminali nel senso che sono in grado di acquisire i dati di misura ma possono anche trasmetterli da altri nodi. La topologia a stella permette a ogni nodo di mantenere un percorso di comunicazione singolo e diretto con il gateway. Questa topologia è semplice ma limita la distanza complessiva che la tua rete è in grado di realizzare. Per aumentare la distanza che una rete può coprire, è possibile implementare una topologia cluster o ad albero. In questa architettura più complessa, ogni nodo mantiene ancora un singolo percorso di comunicazione al gateway ma può utilizzare altri nodi per instradare i propri dati attraverso quel percorso. Questa topologia però presenta degli svantaggi. Se un nodo router si arresta, tutti i nodi che dipendono da quel nodo router perdono anche i percorsi di comunicazione con il gateway. La topologia di rete mesh rimedia a questo problema utilizzando percorsi di comunicazione ridondanti per incrementare l'affidabilità del sistema. In una rete mesh, i nodi mantengono percorsi di comunicazione multipli al gateway, in modo che, se un nodo router si arresta, la rete re-instrada automaticamente i dati

attraverso un percorso differente. La topologia mesh, anche se molto affidabile, presenta degli svantaggi dato che la latenza di rete aumenta poiché i dati devono effettuare hop multipli prima di raggiungere il gateway.

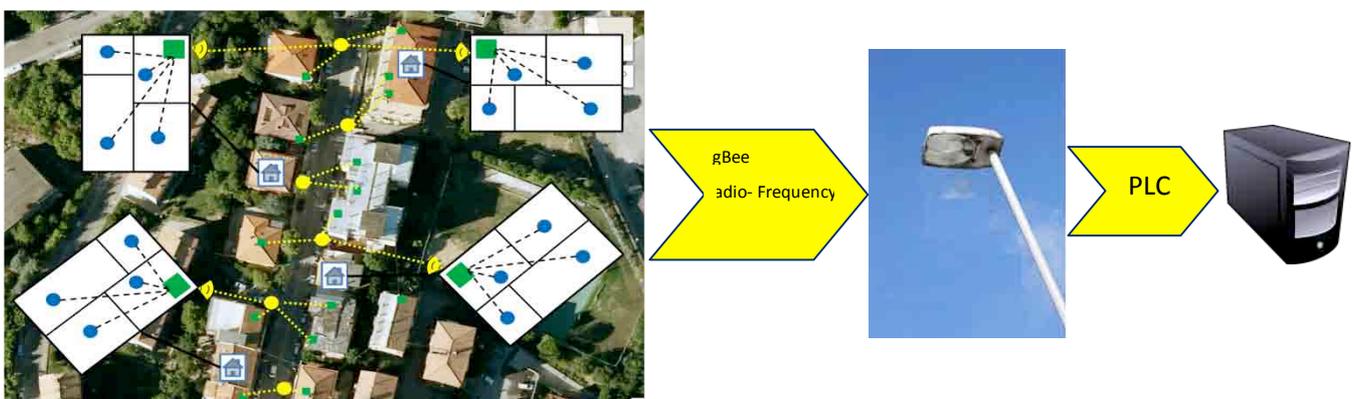


Rappresentazione di una rete di sensori ZeegBee di tipo MESH

2.5 Un sistema di trasmissione del dato verso un server remoto.

I dati raccolti a livello di singola unità abitativa possono essere inviati al server remoto attraverso diverse modalità, la principale della quale potrebbe essere la rete internet. Tuttavia riveste particolare interesse la possibilità di studiare l'utilizzo di una rete di illuminazione pubblica avanzata che possa essere utilizzata come infrastruttura di appoggio. I vantaggi di questa ultima soluzione sono:

- capillarità della rete di illuminazione sul territorio e quindi pressoché totale copertura geografica, anche in zone non coperte da reti internet veloci;
- possibilità di partecipazione al network anche per quegli utenti, in particolare le persone anziane, non interessati ad avere una linea internet;
- per chi ha una rete internet, non viene occupata la banda di upload;
- possono rimanere sempre connesse anche tutte quelle utenze che non hanno un contratto flat.



Schema di una "interactive building network" applicata ad una smartstreet dotata di una rete di illuminazione pubblica avanzata (in giallo i "lampioni smart") connessa ad un server remoto

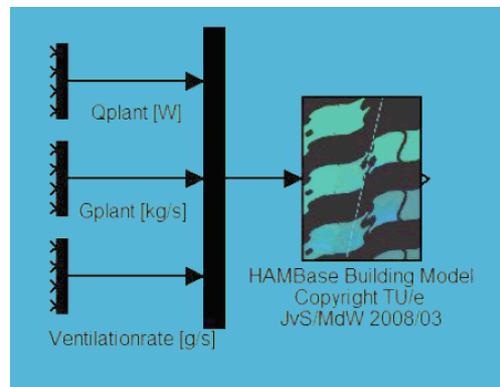
CAPITOLO 3 - Sviluppo prototipale delle metodologie per i sistemi intelligenti e la comunicazione

L'obiettivo della presente ricerca è quello di testare le metodologie di diagnostica implementabili nel settore domestico attraverso la piattaforma domotica a basso costo proposta e progettata nei capitoli precedenti. Poiché la ricerca è ancora nella fase di studio e di messa a punto delle metodologie, non esiste ancora una base di dati sperimentali su cui lavorare. Per ovviare a questo inconveniente, è stata simulata una unità abitativa con diversi profili di utenza al proprio interno. Inizialmente, sono stati simulati i diversi profili senza errori comportamentali o senza guasti agli apparecchi (profili "faultless"); in una seconda fase sono state inserite alcune delle "anomalie" (errori comportamentali o guasti) presentate in Tabella 1, così da generare un set di profili con degli errori (profili "fault") che sono stati poi elaborati con sistemi di diagnostica.

3.1 Il programma di simulazione per la generazione dei dati: il software di simulazione HAMBASE

Per l'implementazione del sistema di simulazione si è utilizzato il pacchetto software matlab/simulink, tale strumento unito al modello HAMBASE ha permesso la realizzazione del simulatore domotico utilizzato per analizzare gli andamenti termici negli edifici. Si è deciso di utilizzare tali programmi poiché il numero di utenti e utilizzatori di questi software in questi ultimi anni ha subito un rapido e progressivo incremento specialmente nel campo HVAC, questo perché gli strumenti messi a disposizione permettono di andare ad analizzare e studiare in maniera accurata e precisa, le principali dinamiche che interessano tali problemi di studio. Il simulatore domotico permette quindi un'attenta analisi dei consumi energetici richiesti dal settore domestico. Nel corso degli anni lo sviluppo dei software di modellazione e simulazione hanno introdotto la possibilità di utilizzare un unico ambiente di calcolo in cui poter implementare diversi modelli basati su equazioni differenziali ordinarie (ODEs) e/o parziali (PDEs). il progetto sviluppato dell'università di Eindhoven è basato sull'utilizzo di Matlab/Simulink come strumento per la risoluzione di ODEs e PDEs ha portato alla realizzazione del simulatore HAMBASE, che permette di andare ad analizzare e simulare il comportamento di un edificio sfruttando il modello della temperatura interna, l'umidità dell'aria interna e il consumo di energia che occorre per il riscaldamento e il

raffreddamento di un edificio multi-zona. Per la realizzazione di sistemi di termoregolazione l'approccio della simulazione oraria, comune a molti software, tuttavia non è adeguata nel caso in cui si voglia integrare la dinamica dei sistemi HVAC con la loro relativamente piccola costante di tempo, pertanto per risolvere problema è stato realizzato in HAMBASE un modello ibrido costituito da una componente con passo temporale variabile ed una a passo discreto di un'ora. Tale modello appena descritto viene visualizzato in Matlab/Simulink sotto forma di S-function (Una S-Function è una descrizione, mediante linguaggio di programmazione, di un sistema dinamico, il cui codice può essere scritto utilizzando i linguaggi Matlab o C.). L'ambiente simulink (un software per la modellazione, simulazione e analisi di sistemi dinamici, sviluppato dalla compagnia statunitense MathWorks) in fase di running di conseguenza esegue ripetute chiamate durante specifici stadi della simulazione alle routine del modello HAMBASE.



Rappresentazione del modello del simulatore HAMBASE

L'utilizzo di HAMBASE prevede anzitutto la corretta definizione del settaggio dei parametri interni al simulatore i quali costituiscono il punto di partenza per ottenere simulazione ben dettagliate e precise. I parametri da impostare per un corretto utilizzo del simulatore sono:

- dati meteorologici;
- localizzazione geografica (latitudine, longitudine, altezza dal sul livello del mare);
- numero di zone in cui `e suddiviso l'edificio e le loro caratteristiche costitutive;
- caratteristiche costruttive delle componenti interne all'edificio;
- fenomeni di ombreggiamento;
- descrizione dettagliata delle superfici che costituiscono ogni zona;
- presenza di vetrate;
- arredamento;

Per quanto riguarda i parametri forniti in input richiesti dal simulatore troviamo;

- potenza [W];

- vapore [Kg/s];
- ventilation rate [g/s];

I parametri forniti in output dal sistema sono invece;

- temperatura [C];
- umidità relativa [%];

Nel modello preso in considerazione l'unità fondamentale dell'edificio è la zona. Una zona può essere una stanza ma anche un numero di locali adiacenti soggetti alle stesse condizioni climatiche.

Il modello globale di una zona è costituito da due parti:

- modello termico;
- modello igrometrico.

Nel modello termico lo stato interno viene rappresentato da una temperatura globale per l'intera zona e da alcune temperatura radianti che sono dovute alle superfici interne. Il calcolo dettagliato dello scambio per radiazione tra le superfici contribuisce in maniera importante all'accuratezza del modello nel caso in cui si prenda in considerazione;

- superfici radianti costituiti essenzialmente da corpi grigi (un corpo la cui remissività è costante su tutto lo spettro elettromagnetico. L'analogia con il colore grigio è dovuta al fatto che un oggetto che appare di tale colore ha la caratteristica di assorbire allo stesso modo la luce a tutte le frequenze dello spettro visibile);
- totale assenza di mobili all'interno della zona;
- superfici a temperatura uniforme;
- assenza totale di stratificazione;

la trattazione del modello igrometrico è pressoché simile a quella del modello termico, tuttavia in questo specifico caso le equazioni che regolano il modello hanno tali caratteristiche costitutive;

- non linearità;
- presenza di due potenziali: umidità assoluta e relativa.

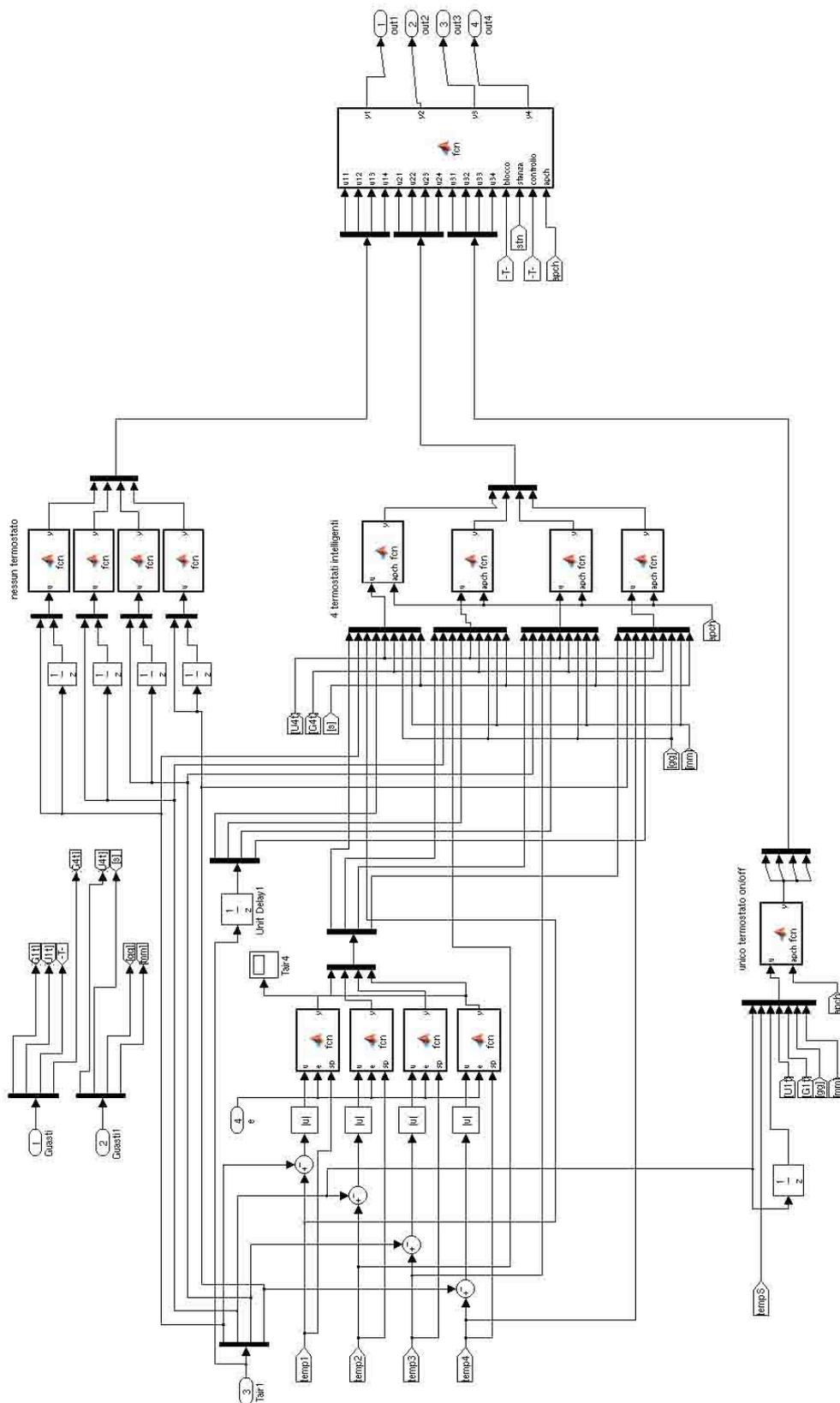
Per semplificazione le equazioni sono state linearizzate anche se questo comporta una minore validità del modello. Tuttavia si è scelta una soglia di umidità che varia dal 20%-80% valori ritenuti di difficile raggiungimento nelle più comuni condizioni di vita quotidiana

I fattori presenti nel simulatore HAMBASE inerenti gli scambi termici che si presentano nelle casistiche di simulazione vengono così approssimati:

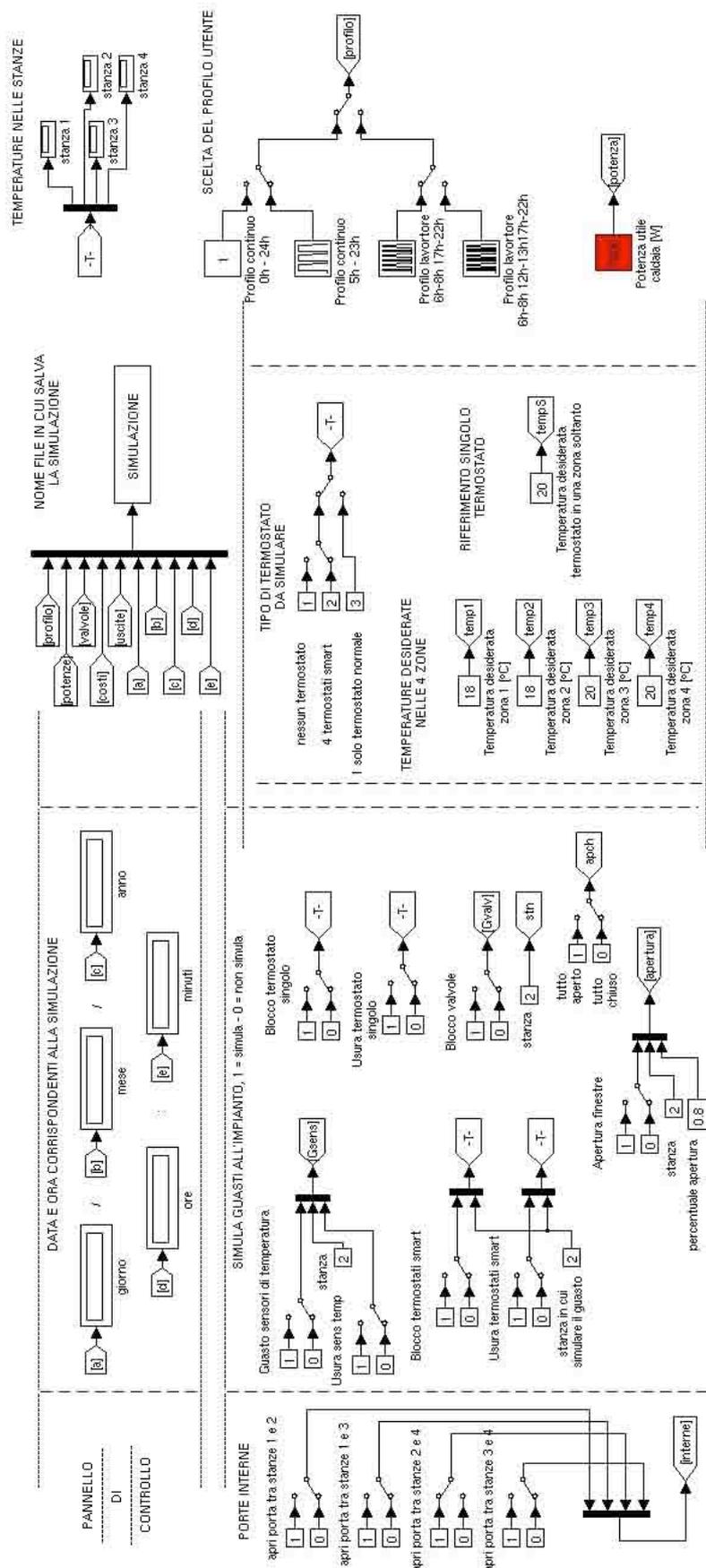
- i fattori di affacciamento sono approssimati con i (corretti) valori di integrazione sferica (la radiazione termica è ugualmente distribuita sulle pareti). Negli edifici isolati le temperature interne di superficie delle pareti opache sono circa uguali a quelle delle

vetrate; quindi lo scambio per radiazione tra le pareti è piccolo. Dall'approssimazione dell'integrazione sferica è possibile ottenere una temperatura radiante per tutte le pareti e non ci sono restrizioni sulla forma geometrica del locale;

- l'aria di zona è perfettamente miscelata. Quindi una zona sarà caratterizzata da una temperatura d'aria uniforme;
- i coefficienti di superficie per la convezione e la radiazione sono costanti.
- tutto il calore radiante in ingresso è distribuito in modo uniforme sulle pareti ad eccezione delle finestre, che assorbono la stessa quantità di energia per unità di superficie.



Schema del blocco di controllo: sono presenti script per il calcolo della risposta del termostato e delle termovalvole, in questa funzione è anche calcolato l'apporto termico totale da somministrare alle varie stanze (che Hambase modula sulla base del modello del sistema radiante).



Pannello di controllo del simulatore: è possibile impostare il profilo da simulare, i set-point di temperatura e l'inserimento di eventuali guasti o bad practices

3.2 L'edificio simulato

L'edificio residenziale sul quale effettuare la supervisione remota attraverso una piattaforma di domotica energetica è stato pensato, in prima istanza, essere una villetta singola residenziale abitata da due persone. L'abitazione è stata realizzata di 100 m² di superficie calpestabile, avente altezza di 3 m e situata a piano terra con le superfici verticali che lo delimitano e il tetto che possono scambiare calore con l'esterno. Per tale motivo sono state apportate modifiche sostanziali all'edificio di default caricato in Hambase. Sulla base delle procedure di default in Hambase è stato immaginato un edificio composto da quattro volumi differenti ognuno dei quali adibito ad una funzione differente: un salotto, una cucina, un bagno e una camera da letto. Nella realizzazione dell'abitazione residenziale sulla quale procedere con le prime simulazioni, sono state effettuate alcune semplificazioni:

- data l'esigenza di volere una finestra in ogni ambiente, si è pensato di realizzare una finestra su ogni lato dell'edificio per non incrementare in una sola parete l'apporto termico ma distribuirlo uniformemente;
- si sono trascurate, in prima approssimazione, le differenze di dimensioni delle finestre a seconda se essa è situata sul lato esposto a sud o meno, come consigliato;
- eccezione fatta per entrambe le pareti esterne del salotto sulle quali sono state realizzate una porta su una e una finestra sull'altra.

Le considerazioni riguardanti l'ombreggiamento sono da tener conto nel momento in cui verrà effettuata l'implementazione di una via soggetta a supervisione remota.

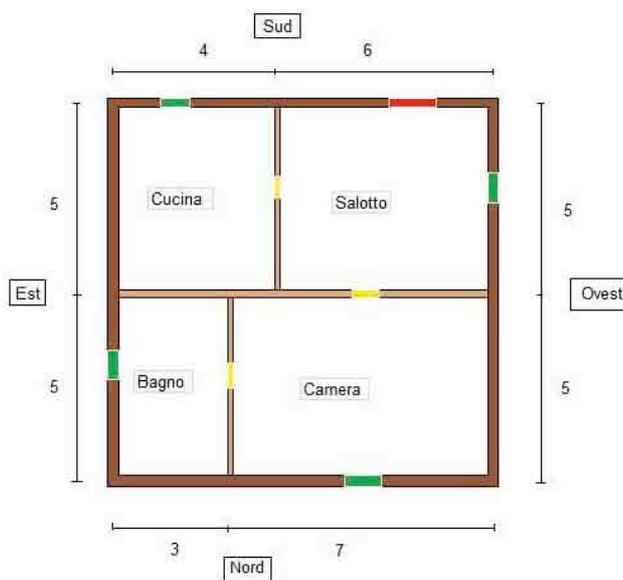


Figura - Realizzazione semplificata dell'edificio

Come si nota dalla figura I, l'edificio è stato pensato suddiviso in 4 volumi poiché per semplicità è stato preferito non modificare in questa fase di prime simulazioni il codice presente in hambase.

L'edificio è stato pensato comunicante con l'esterno attraverso una porta, identificata nel disegno dal colore rosso, e quattro finestre di uguale superficie, identificate con il colore verde. Inoltre per un'esigenza legate alle simulazioni sono state realizzate anche le porte interne di collegamento per i locali, identificate dal colore giallo. Si è pensato di mettere i locali cucina e salotto entrambi esposti a sud, per le ragioni precedentemente citate, lasciando stare, invece, per il momento la collocazione fra est ed ovest. Inseguito si è passati alla scelta dei materiali per la realizzazione dell'involucro edilizio. I materiali utilizzabili oggi per la realizzazione dell'involucro edilizio sono moltissimi, tutti con caratteristiche specifiche che li rendono più o meno adatti a seconda della forma dell'edificio, della sua funzione o della sua localizzazione geografica. Alcuni materiali, molto resistenti alle sollecitazioni, vengono scelti per realizzare gli elementi strutturali o dell'involucro. Alcuni di questi hanno buone proprietà isolanti, altri invece consentono un notevole passaggio del calore. E proprio per evitare queste dispersioni essi vengono associati ad altri materiali che hanno buone proprietà isolanti, ma che non possono essere utilizzati da soli senza elementi di supporto.

Muro esterno	s [m]	λ [W/mK]	R[m ² K/W]
Adduttanza Interna	0		0.13
Intonaco di calce e gesso	0.015	0.8	
Mattoni isolanti	0.08	0.3	
Aria in quiete a 20°C	0.02	0.023	
Polistirene espanso (isolamento)	0.07	0.04	
Gesso premiscelato di cemento	0.015	1.2	
Mattoni isolanti	0.1	0.3	
Mattone	0.08	0.6	
Intonaco di calce e gesso	0.015	0.8	
Adduttanza Esterna	0		0.04
Tetto	s [m]	λ [W/mK]	R[m ² K/W]
Adduttanza Superiore	0		0.13
Tegole	0.02	0.2	
Malta di calce	0.04	1	
Polistirene espanso	0.02	0.036	
Malta di calce	0.04	1	
Blocco da solaio di laterizio	0.2	0.6	
Adduttanza Inferiore	0		0.04
Porta interna	s [m]	λ [W/mK]	R[m ² K/W]
Adduttanza Interna	0		0.13
Legno	0.03	0.15	
Adduttanza Esterna	0		0.13

Muro interno	s [m]	λ [W/mK]	R[m²K/W]
Adduttanza Interna	0		0.13
Intonaco di calce e gesso	0.01	0.8	
Mattone	0.08	0.6	
Intonaco di calce e gesso	0.01	0.8	
Adduttanza Esterna	0		0.04
Porta esterna	s [m]	λ [W/mK]	R[m²K/W]
Adduttanza Interna	0		0.13
Legno duro	0.04	0.17	
Adduttanza Esterna	0		0.04
Pavimento	s [m]	λ [W/mK]	R[m²K/W]
Adduttanza Interna	0		0.13
Piastrelle	0.015	0.8	
Calcestruzzo	0.2	1.7	
Polistirolo espanso	0.05	0.036	
Calcestruzzo	0.05	1.7	
Adduttanza Esterna	0		1

Tabella - Descrizione dei componenti usati nella realizzazione semplificata dell'edificio

La scelta dei materiali per la realizzazione semplificata dell'edificio sul quale svolgere le simulazione, è stata effettuata sulla base di due esigenze:

- tenere in considerazione il database dei materiali presente in Hatabase;
- tenere presente la Legge 10 inerente alla realizzazione degli edifici residenziali.

Tenendo quindi in considerazione queste due necessità, si sono presi in considerazione i materiali usati in una relazione tecnica basata sulla Legge 10 adattandoli a quelli presenti nel database di hatabase usando λ come parametro di scelta.

Questo si è potuto effettuare per il semplice motivo che il parametro λ è l'unico parametro di interesse perché è quello che entrerà nell'equazione per calcolare il fabbisogno energetico dell'edificio, sottoforma di trasmittanza, e quindi per la scelta della caldaia da usare nella simulazione.

	U[W/m²K]
Muro esterno	0.279
Muro interno	2.4
Tetto	0.81
Porta esterna	2.47
Porta interna	2.2
Pavimento	0.37
Finestra	2.25

Tabella - Trasmittanze dei vari componenti opachi

Nella tabella II sono stati riportati i dati relativi alle trasmittanze dei componenti opachi che compongono l'edificio calcolate attraverso la seguente formula:

$$U = \frac{1}{R_{INT} + \frac{s_j}{\lambda_j} + R_{EXT}} [W / m^2 K]$$

La Zona climatica in cui ricade l'opera in oggetto è "D", pertanto il periodo di riscaldamento previsto per legge è di giorni 166 e precisamente dal 1/11 al 15/4.

La temperatura minima di progetto dell'aria esterna secondo norma UNI 5364 è di -2°C.

Tenendo in considerazione la temperatura minima di progetto dell'aria esterna e la temperatura che si vuole garantire dentro i locali (20°C) si è passati al calcolo del fabbisogno energetico dell'edificio.

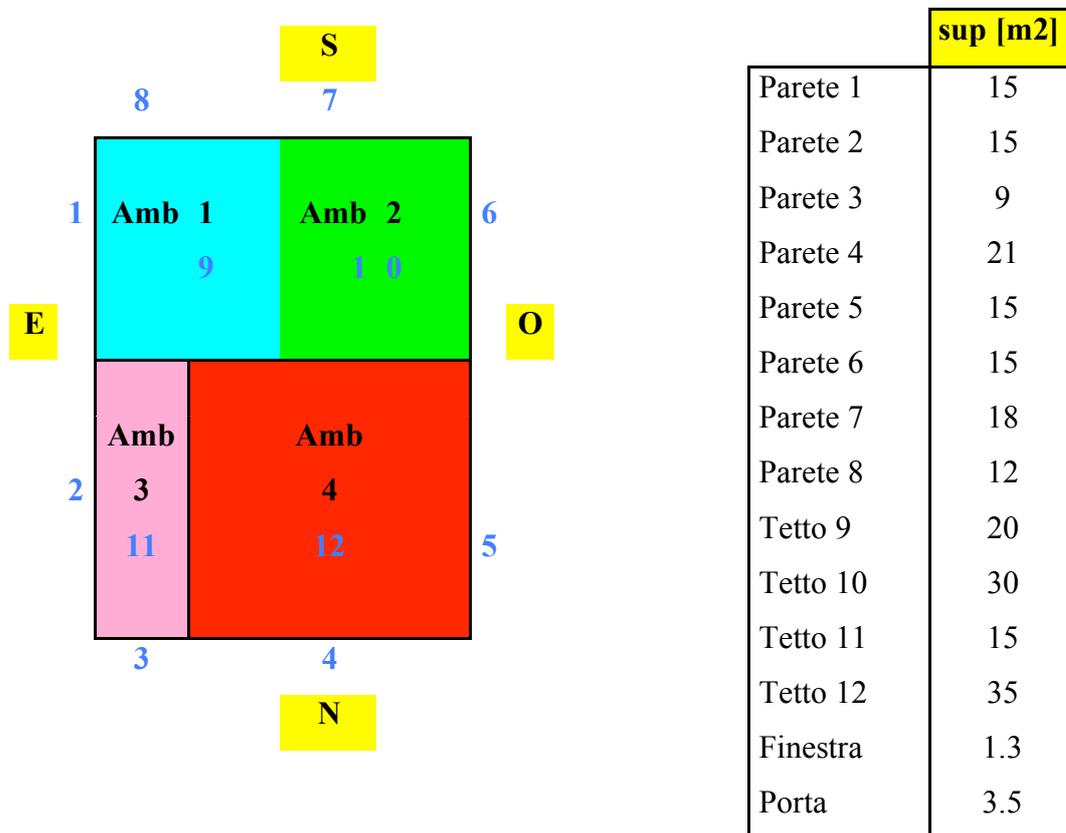


Figura I- rappresentazione delle pareti che compongono l'involucro

Ogni parete dell'edificio è stata suddivisa in due sottopareti costituite dallo stesso materiale solo per un'esigenza legata al codice di Hambase riguardante l'esatta collocazione della finestra. La stessa cosa è stata fatta per il soffitto in modo da avere quattro ambienti distinti e trattabili separatamente.

Si è calcolato per ogni ambiente il fabbisogno energetico tramite la formula del calcolo delle dispersioni termiche attraverso le superfici di ogni parete verticale e orizzontale, trascurando il solo pavimento poiché si fa la semplificazione di considerarlo a temperatura costante:

$$Q = S \cdot T \cdot U[W]$$

In seguito sommando i vari contributi dei vari locali e considerando un rendimento globale di caldaia pari a 0.7 ci si è calcolati la potenza al focolare che verrà inserita nel codice di hambiente, risultata pari a circa 4kW.

	sup	sup	sup	sup		
Amb 1	Parete 1	15	Tetto 9	20		
	Parete 8	10.7	Finestra	1.3		
Amb 2	Parete 7	14.5	Tetto 10	30		
	Parete 6	13.7	Finestra	1.3		
Amb 3	Parete 2	13.7	Finestra	1.3		
	Parete 3	9	Tetto 11	15		
Amb 4	Parete 4	19.7	Finestra	1.3		
	Parete 5	15	Tetto 12	35		
	Parete Q perdite	Parete Q perdite	Finestra Q perdite	Tetto 9 Q perdite	Porta Q perdite	Fabbisogno energetico per ogni ambiente
Amb 1	92.07	65.6766	64.35	356.4		578.4966
Amb 2	89.001	84.0906	64.35	534.6	190.19	962.2316
Amb 3	84.0906	55.242	64.35	267.3		470.9826
Amb 4	120.9186	92.07	64.35	623.7		901.0386

Tabella - Calcolo delle perdite termiche attraverso ogni componente dell'involucro trascurando il solo pavimento

3.3 Profili di presenza

I profili di presenza sono stati individuati tra quelli più reimpostati nei termostati ambientali. La maggior parte di questi, infatti, hanno profili predefiniti ed altri programmabili in base alle esigenze particolari degli utenti finali.

Sono stati scelti 3 profili standard:

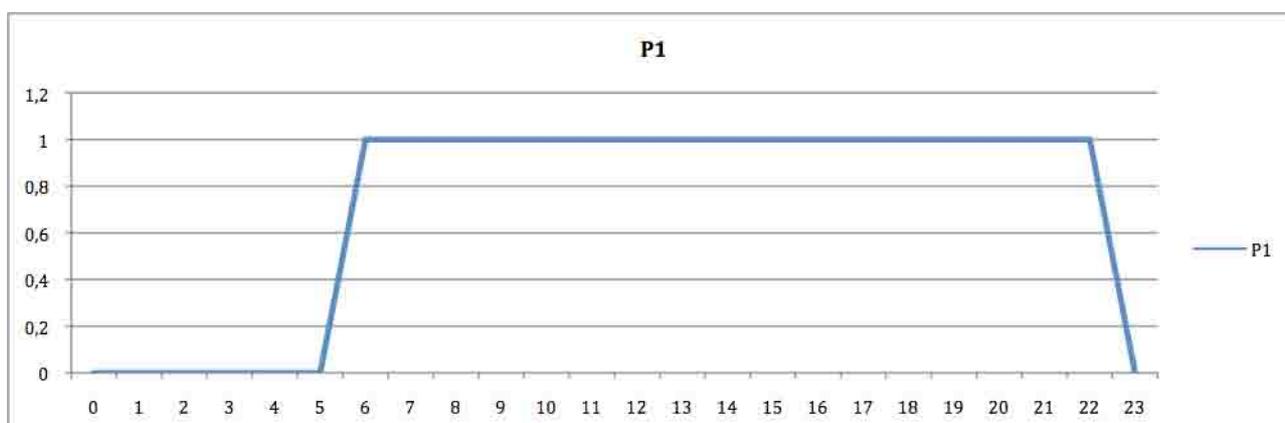
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
P1							x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
P2							x	x	x									x	x	x	x	x	x	
P3							x	x	x				x	x				x	x	x	x	x	x	

Di seguito una brevissima descrizione dei tre profili. E' importante sottolineare che il grafico indica:

- l'orario di accensione e non la reale presenza (in genere l'impianto si accende prima);
- l'accensione/spegnimento dell'impianto (ON/OFF) e non dà informazioni sui livelli di temperatura impostati;
- in genere il livello di temperatura impostato sul termostato è 20 °C

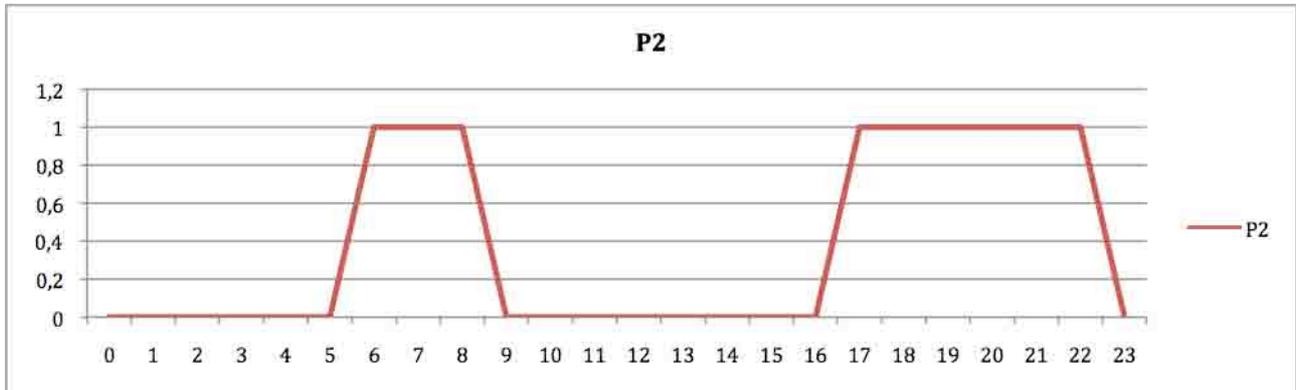
Profilo di presenza 1

E' il profilo caratteristico dell'abitazione sempre occupata durante il giorno (presenza di casalinga, persona anziana, baby-sitter con bambini...)



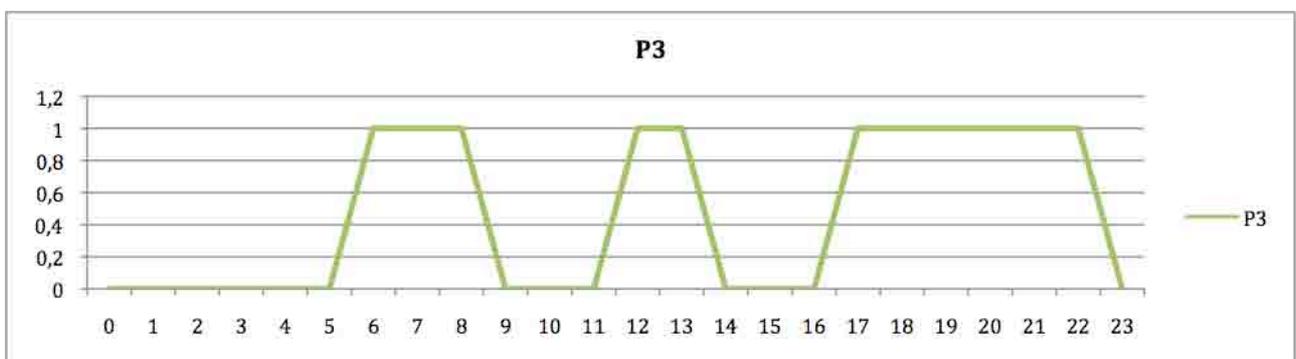
Profilo di presenza 2

E' il profilo caratteristico dell'abitazione occupata da persone che uscite la mattina, non rientrano in casa prima del tardo pomeriggio (pendolari, famiglia con adulti che lavorano e figli a scuola con tempo pieno).



Profilo di presenza 3

E' il profilo caratteristico dell'abitazione occupata da persone che uscite la mattina, rientrano per la pausa pranzo, escono di nuovo il primo pomeriggio per rientrare in casa prima del tardo pomeriggio (lavoratore con rientro pomeridiano, famiglia con figli studenti...)



3.4 L'utenza termica

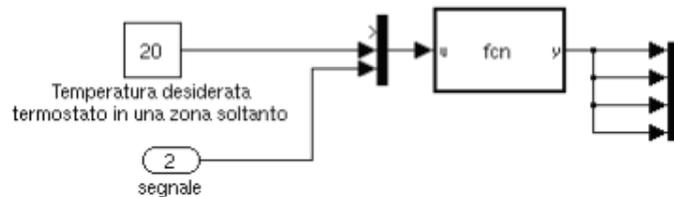
Nessun termostato o cronotermostato installato

In questo caso all'interno dell'edificio non viene installato alcun termostato, pertanto l'azione di controllo è demandata esclusivamente all'utente, il quale in base alle proprie sensazioni potrà agire solamente sull'accensione e lo spegnimento della caldaia che lavorerà al massimo carico e con accensione ON/OFF. Di conseguenza, lo spegnimento della caldaia avviene solamente quando

l'utente avverte una sensazione di caldo. La sensazione di caldo è stata simulata spegnendo la caldaia a 25°C.

Installazione di un solo termostato intelligente

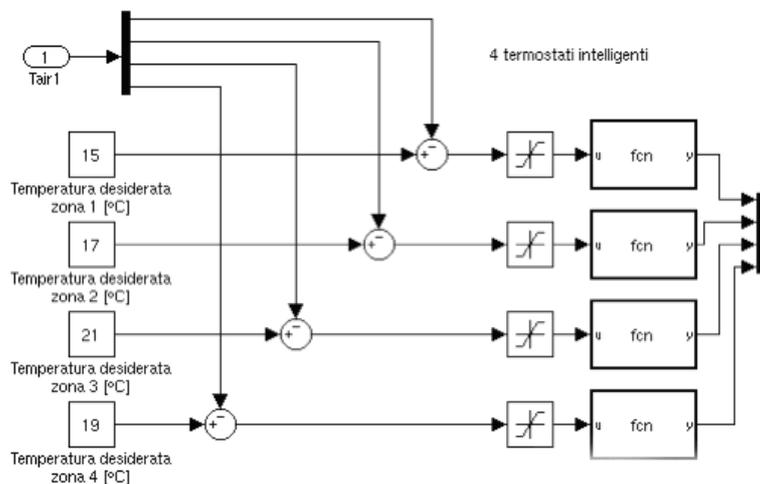
All'interno della unità abitativa è presente un solo termostato intelligente, questo è in grado di percepire la temperatura ambientale e conseguentemente regolare la temperatura interna al fine di mantenere il comfort termico nella stanza dove questo è installato.



Blocco Simulink rappresentate il termostato intelligente

Installazione di cronotermostati in ogni ambiente

In ogni zona è presente un termostato in grado di percepire la temperatura ambientale e di conseguenza effettuare un confronto con la temperatura di comfort sulla quale risulta essere configurato al fine di poter realizzare un'azione di controllo termico sull'attuatore installato.



Blocchi Simulink dei termostati

3.5 Profilo elettrico

Il profilo elettrico residenziale è imputabile a carichi noti e comuni alla maggior parte delle unità abitative: illuminazione, elettrodomestici, altre utenze elettriche. Le inefficienze legate ai consumi

elettrici sono legate principalmente all'efficienza degli utilizzatori elettrici e al decadimento delle prestazioni nel tempo degli stessi.

Il sistema domotico è stato quindi pensato inizialmente come un agente in grado di monitorare i consumi elettrici, di diagnosticare eventuali errori comportamentali e, in futuro, di prevedere il decadimento delle prestazioni degli utilizzatori elettrici entro certi valori di soglia oltre i quali occorrerebbe consigliare la sostituzione degli apparecchi con altri nuovi e, possibilmente, più efficienti.

In particolare, una prima ottimizzazione implementata nelle simulazioni è quella di spostare i carichi delle utenze programmabili dalle fasce orarie più costose (F1, F2) a quelle più economiche (F3). Si tratta di una ottimizzazione economica e non energetica in quanto, a parità di lavoro degli elettrodomestici, l'energia consumata è sempre la stessa ma "comprata" a prezzi inferiori.

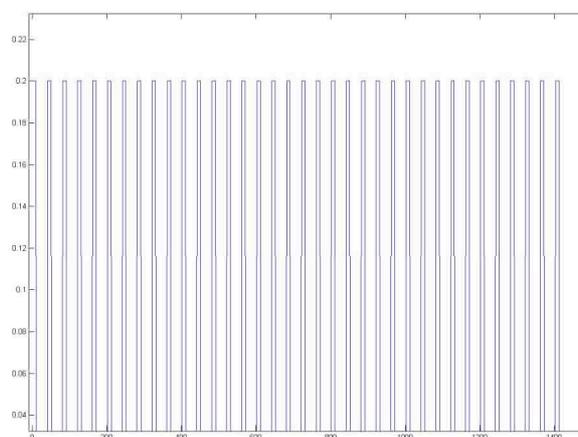
Il sistema implementato in HAMBASE prende in considerazione le curve di assorbimento dei principali elettrodomestici e crea delle curve di carico settimanali per i diversi appartamenti.

Gli elettrodomestici presi in considerazione sono:

- frigorifero;
- forno;
- lavastoviglie;
- lavatrice;
- lampade.

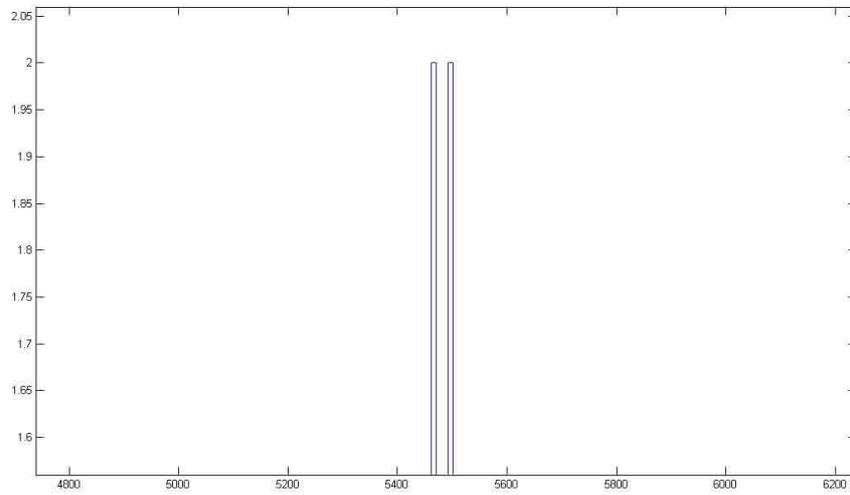
E' interessante notare l'anelasticità dei carichi di alcuni carichi. Il frigorifero ad esempio, non è programmabile; il forno o le lampade, al contrario, sarebbe teoricamente programmabili ma nella realtà devono essere utilizzati solamente in certe fasce orarie (il forno le ore antecedenti i pasti; le lampade la sera). Le uniche utenze realmente programmabili sono la lavastoviglie e la lavatrice.

Frigorifero



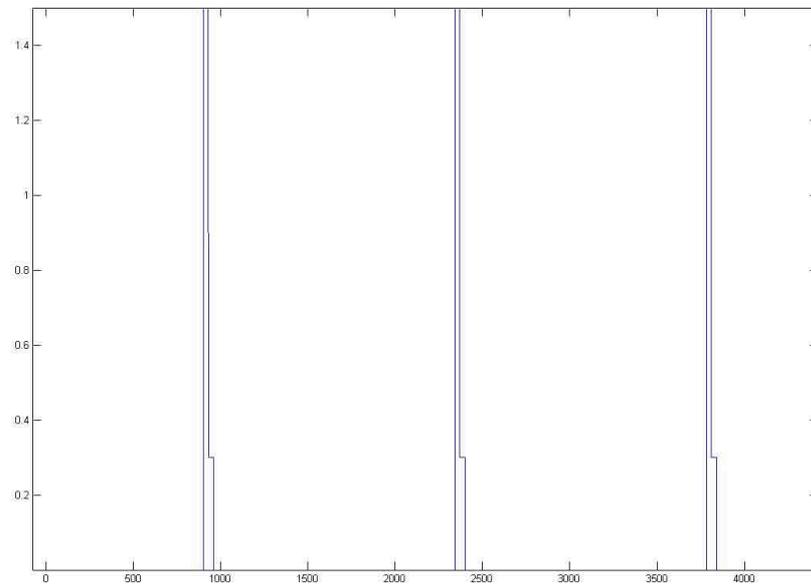
Curva di carico giornaliera

Forno



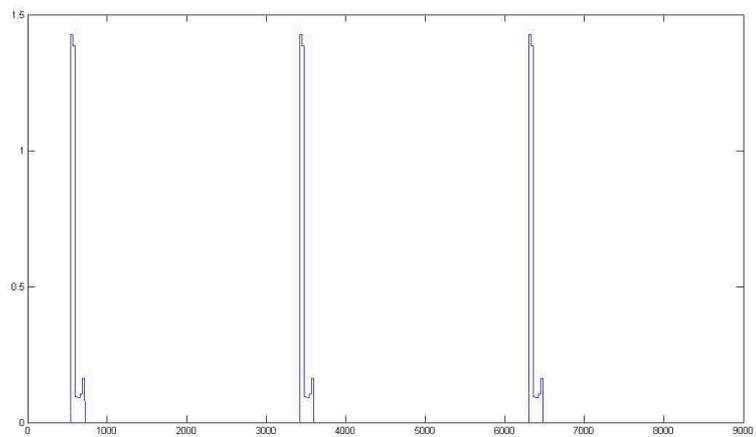
Curva di carico giornaliera

Lavastoviglie



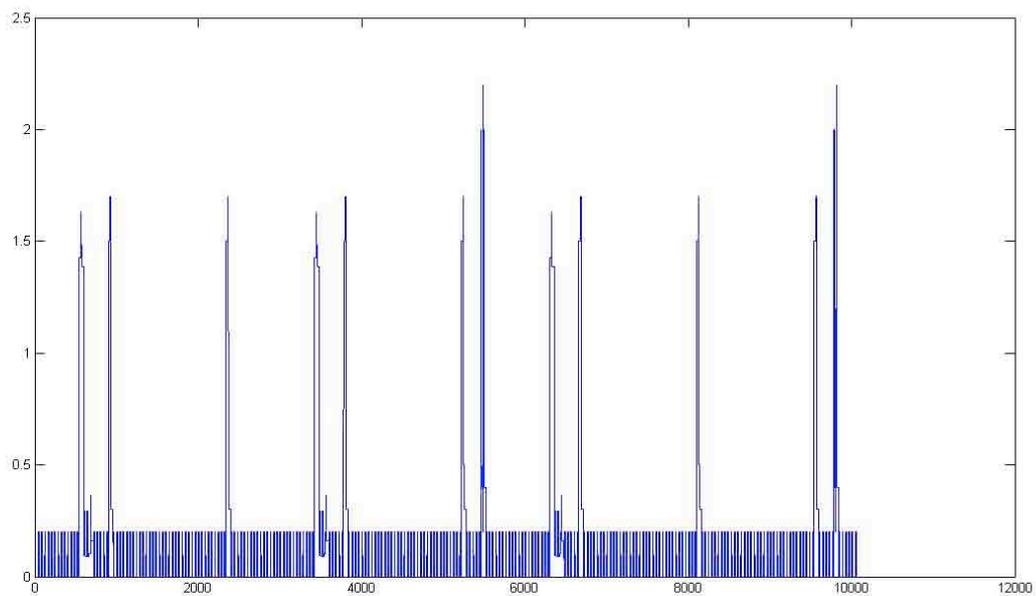
Curva di carico su tre giorni

Lavatrice



Curva di carico su tre giorni

Consumi elettrici settimanali aggregati



Curva di carico elettrico settimanale dell'unità abitativa

3.6 Profili di carico simulati

Periodo simulato:

- 1 anno, 365 giorni, 24h/24h, 8760h/anno

Caratteristiche appartamento:

- Appartamento suddiviso in 4 ambienti differenti: cucina, soggiorno, camera, bagno;
- Nel soggiorno viene inserito il termostato;
- Ciascun ambiente con temperatura controllabile;
- Ciascun ambiente con uno scambiatore di calore (dato di input: potenza termica)
- Appartamento servito da una caldaia

3.6.1 Profili“FAULTLESS” – Best Practices

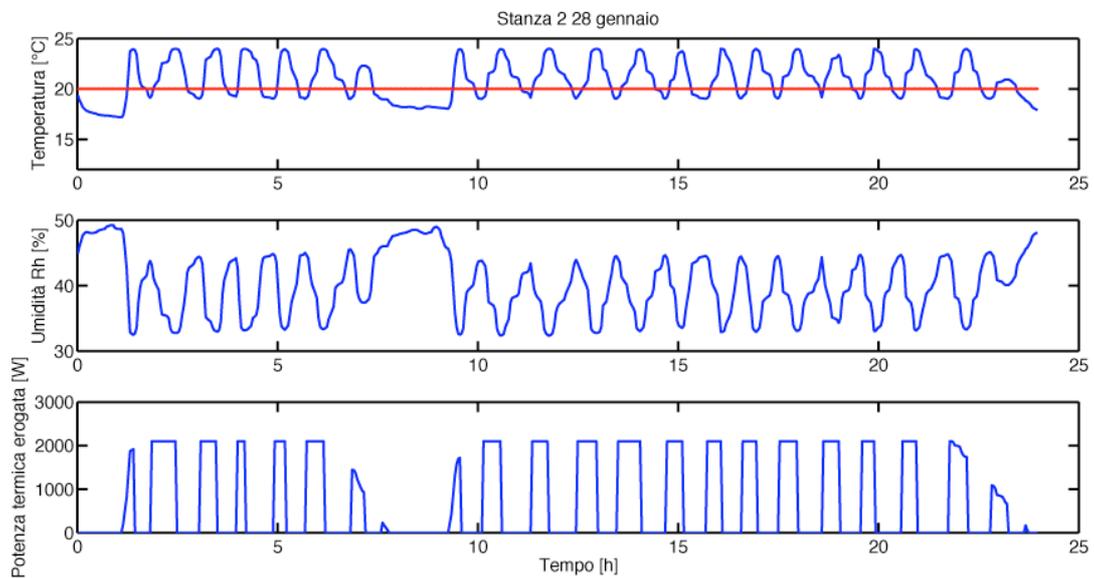
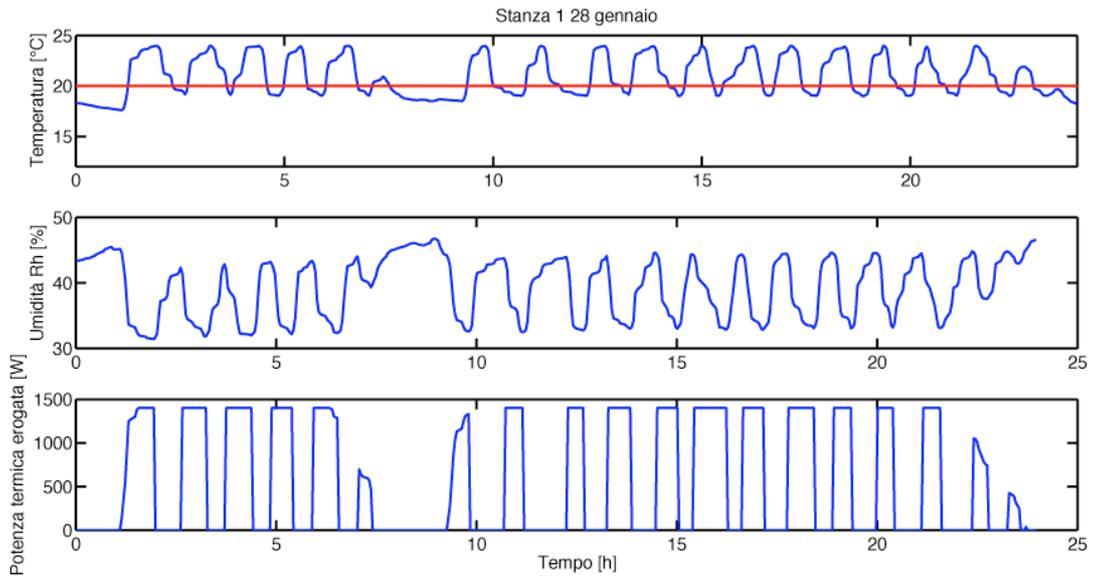
L'obiettivo dei seguenti profili è quello di suggerire, prima ancora di entrare nella fase della diagnostica, comportamenti virtuosi che vadano nella direzione del risparmio energetico. Passando dal profilo 0 al profilo 3, si dovrebbero quantificare i possibili risparmi, sia energetici che economici, ottenibili semplicemente attraverso best practices. A fronte del maggiore risparmio ottenuto per ciascun profilo ci sarà un maggior esborso iniziale in termini di un sempre maggiore utilizzo di sensori ed attuatori. Per questo una prima analisi costi benefici verterà su questo aspetto. Inoltre, prendere questi profili come riferimento, sarà utile per valutare il beneficio energetico/economico marginale degli interventi di diagnostica. Quanto più sarà efficiente il sistema, tanto inferiore sarà il beneficio ottenuto da eventuali interventi di diagnostica.

Inoltre, prendere questi profili come riferimento, sarà utile per valutare il beneficio energetico/economico marginale degli interventi di diagnostica. Quanto più sarà efficiente il sistema, tanto inferiore sarà il beneficio ottenuto da eventuali interventi di diagnostica.

Per ognuna delle utenze termiche individuate:

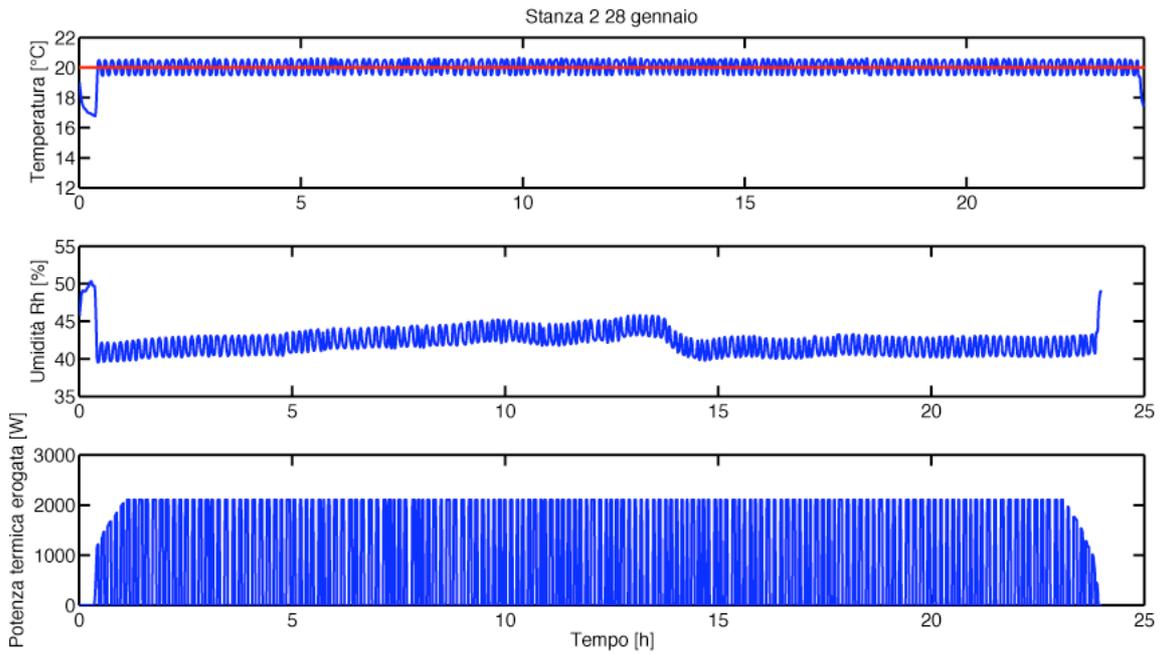
Profilo 0:

- La simulazione prevede l'accensione della caldaia per ciascun profilo termico; il funzionamento è solo ON/OFF, ma limitato ad una temperatura massima, in ambiente, pari a 25°C.

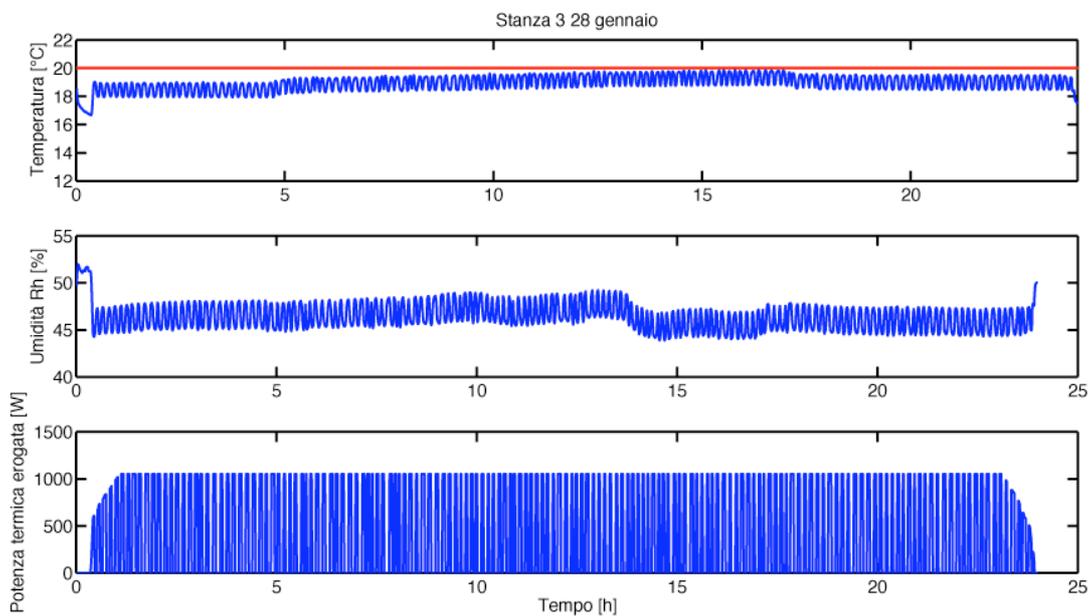


Profilo 1:

- mantenere nella stanza termostata (soggiorno) 20 °C in inverno e vedere a che temperatura si portano le altre stanze;

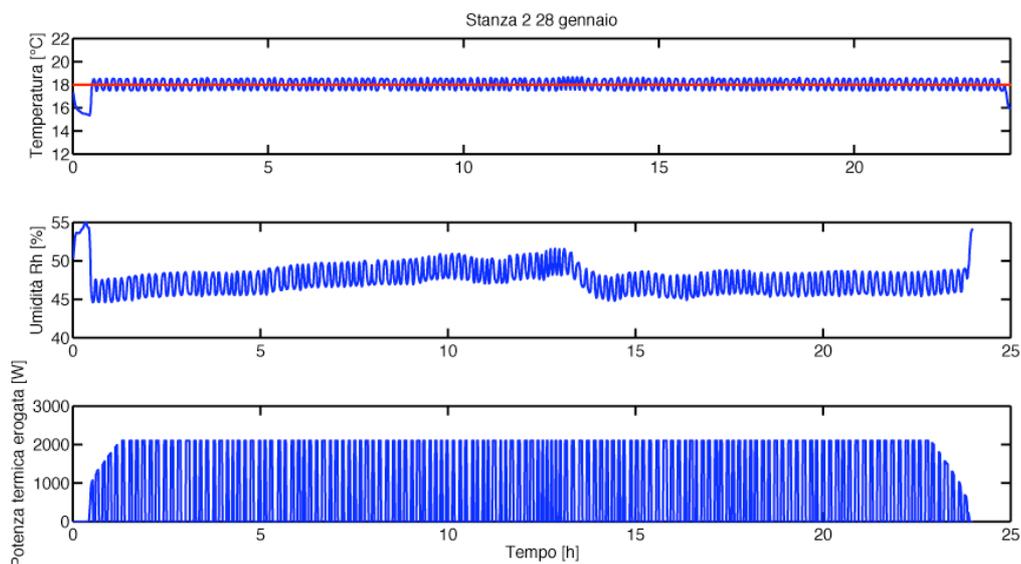


Parametri della stanza dotata di termostato (soggiorno)

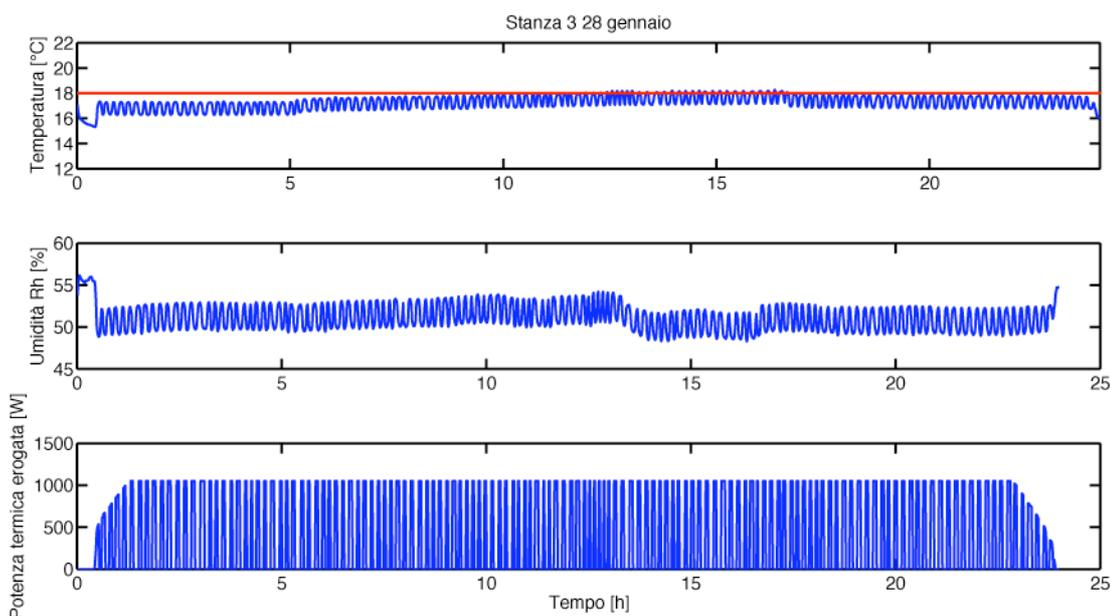


Parametri di una delle stanze non dotate di termostato

- mantenere nella stanza termostata (soggiorno) 18 °C in inverno e vedere a che temperatura si portano le altre stanze;

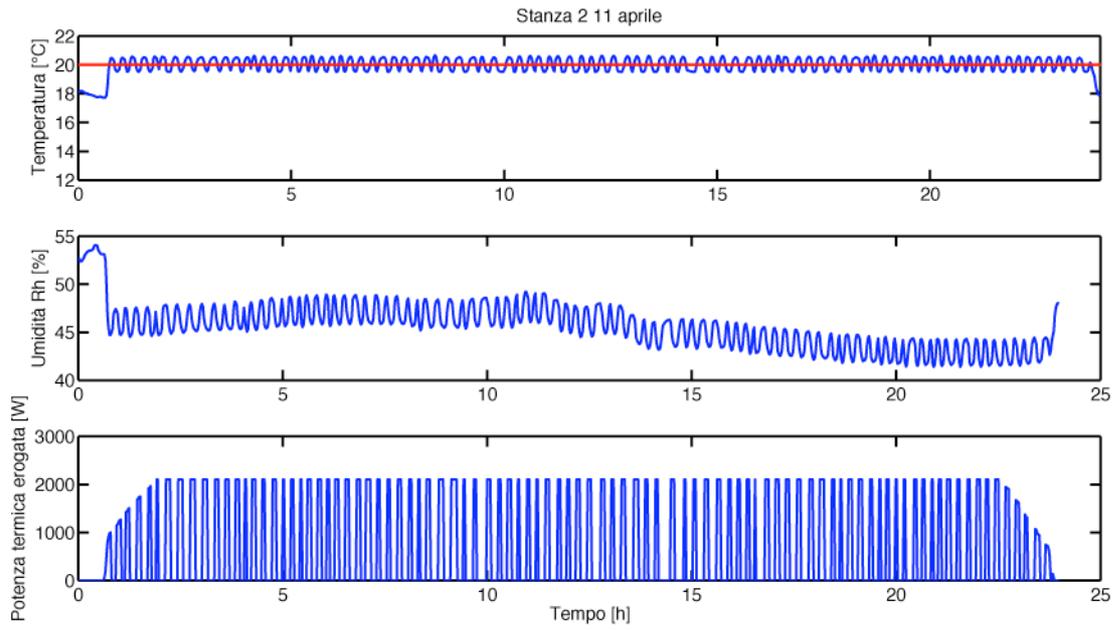


Parametri della stanza dotata di termostato (soggiorno)

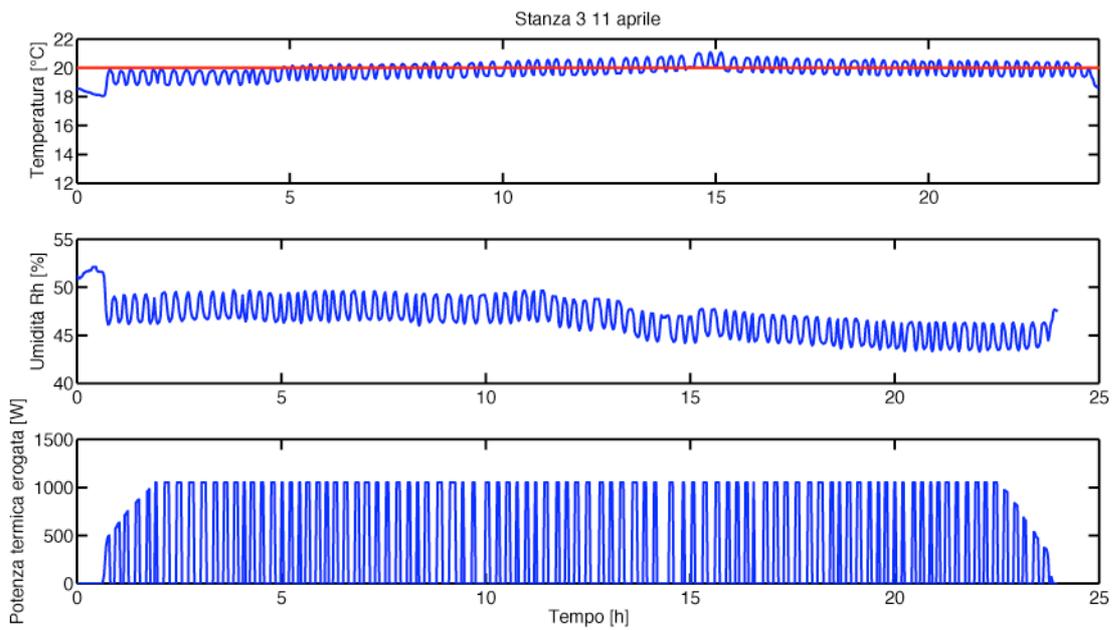


Parametri di una delle stanze non dotate di termostato

La differenza tra l'andamento delle temperature nelle stanze non termostatate è minore se si abbassa la temperatura di set-point. Inoltre questa differenza si attenua ancora di più nella stagione primaverile (o autunnale), come si nota dai grafici della pagina seguente:



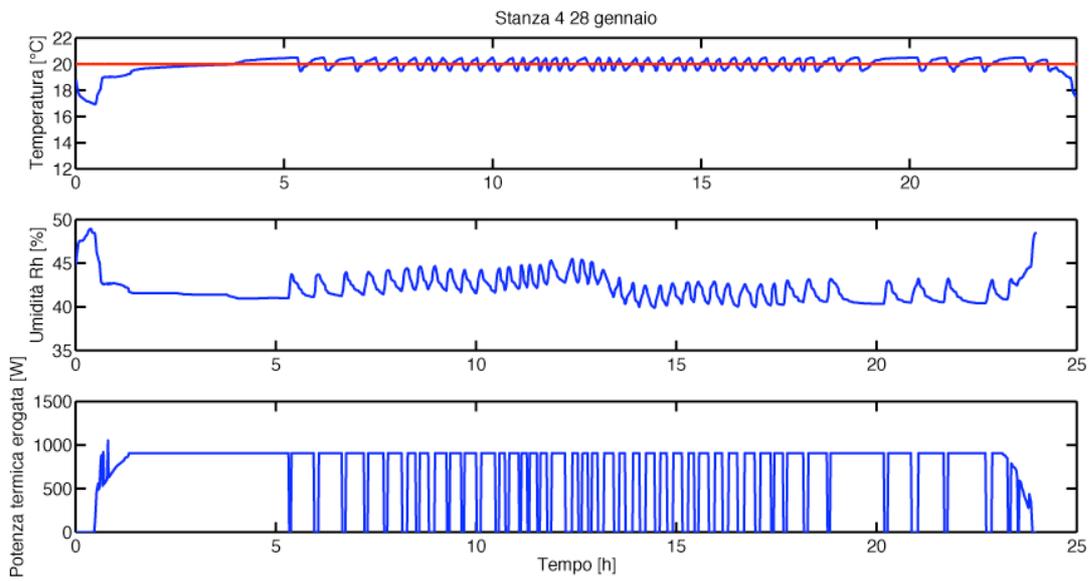
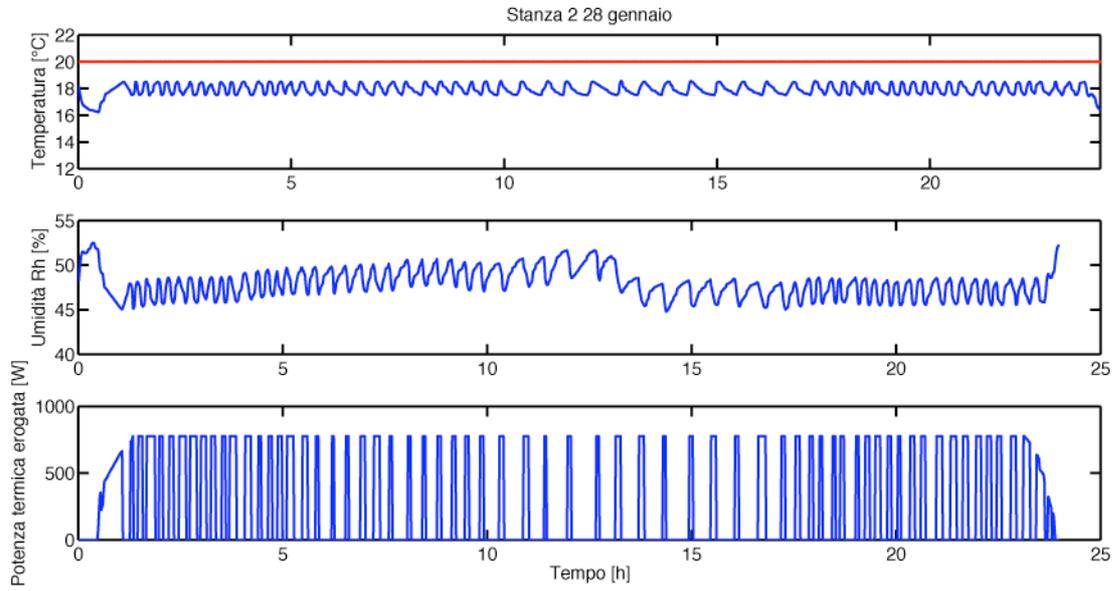
Parametri della stanza dotata di termostato (soggiorno)



Parametri di una delle stanze non dotate di termostato

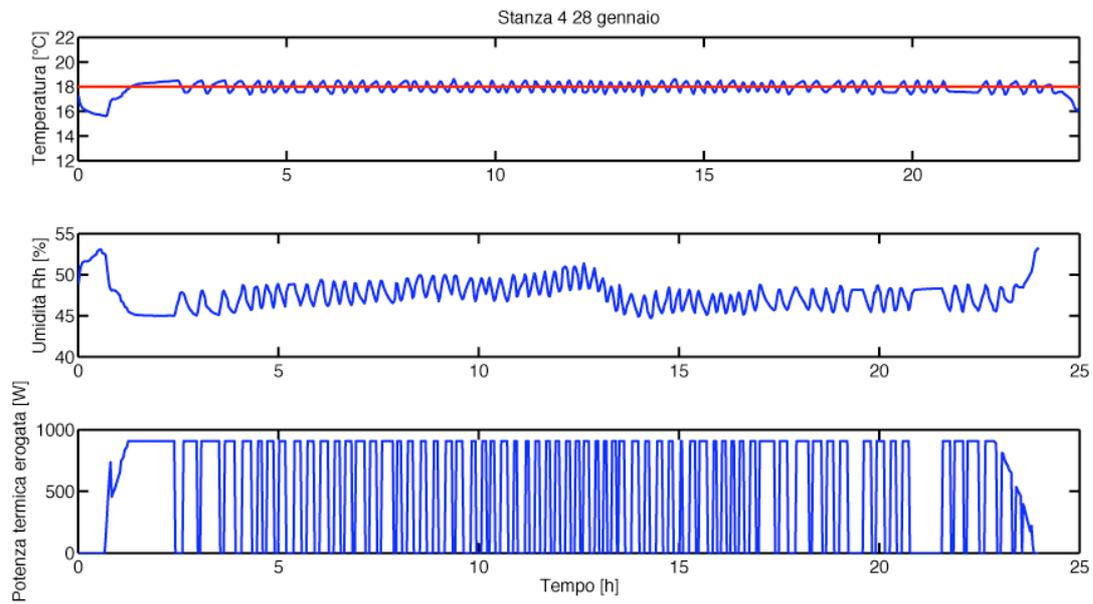
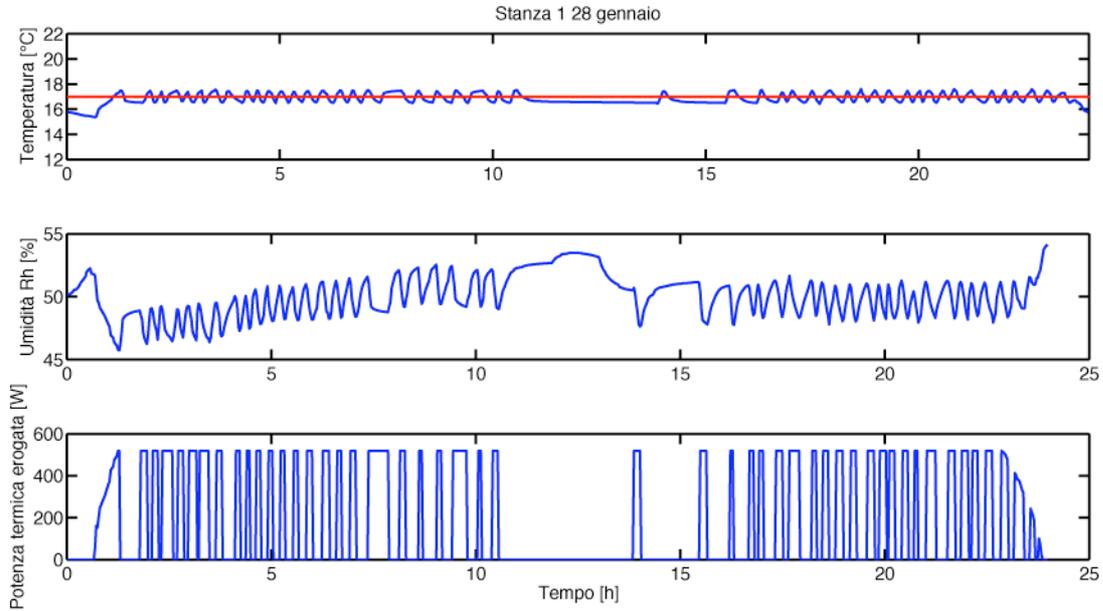
Profilo 2:

- temperatura regolata in ogni stanza in inverno: soggiorno e cucina 20 °C, le altre 18 °C



Profilo 3:

- temperatura regolata in ogni stanza in inverno: soggiorno e cucina 18°C, le altre 17°C

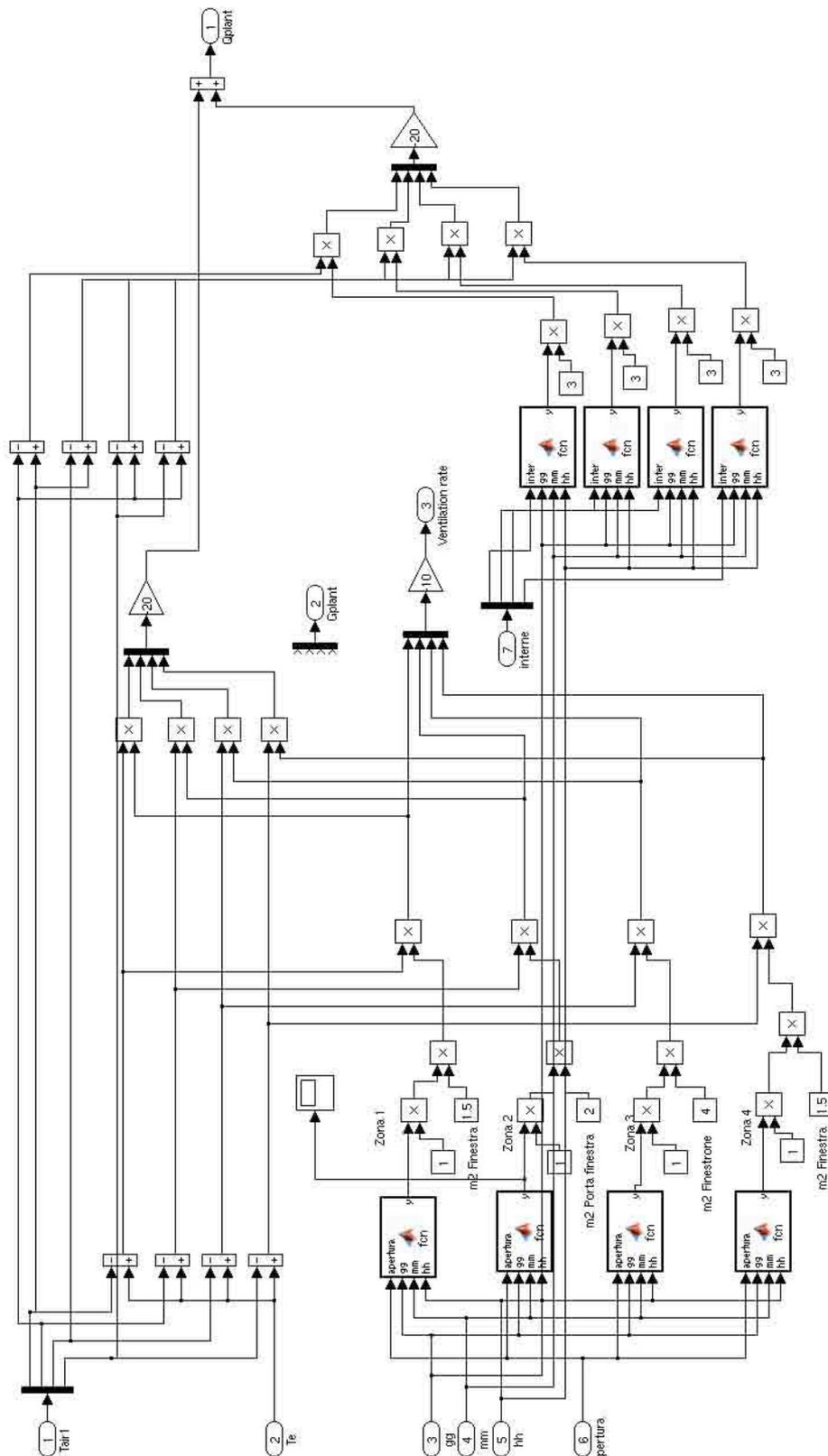


3.6.2 Profili “FAULT”

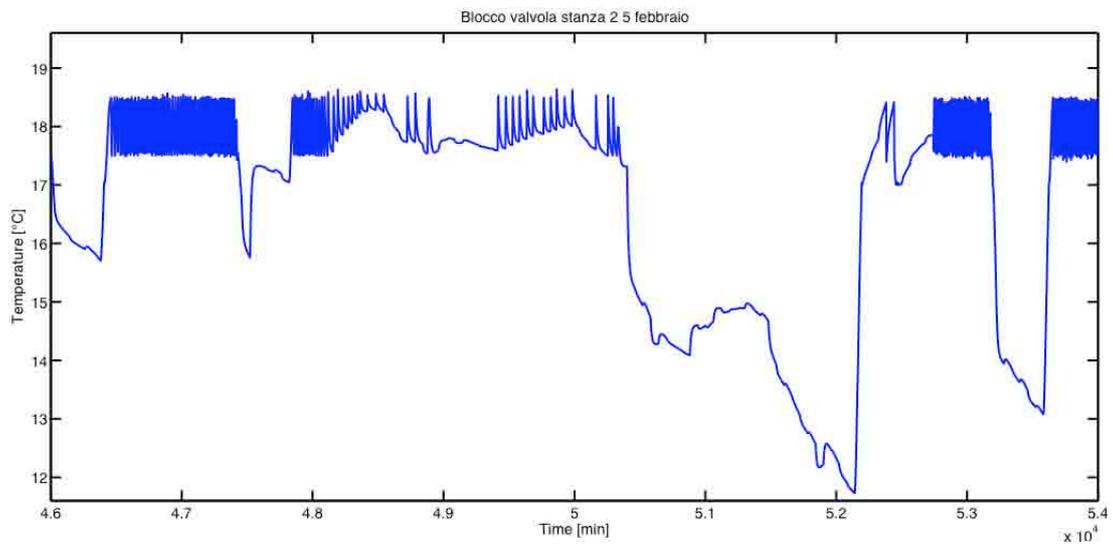
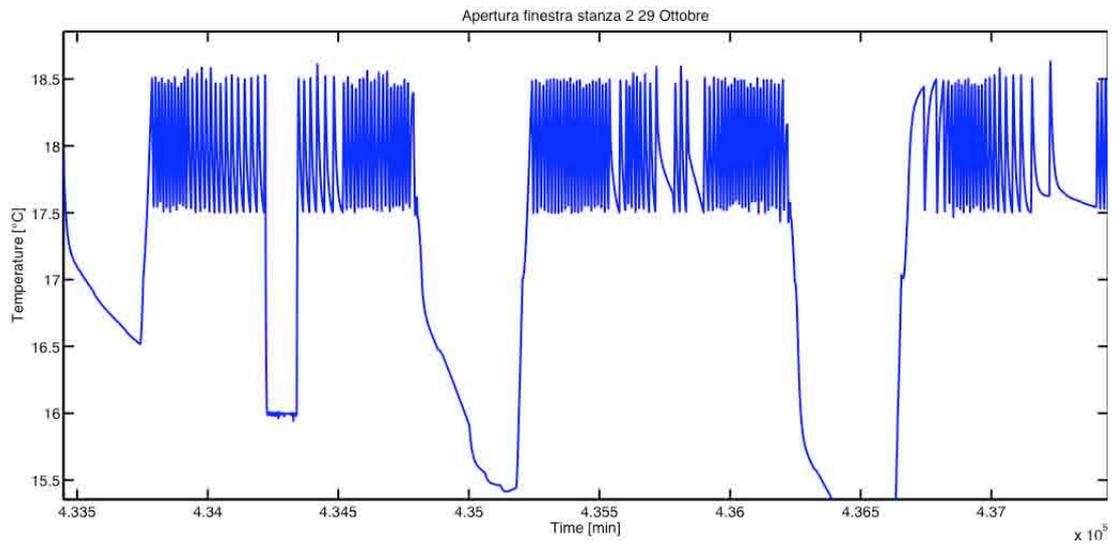
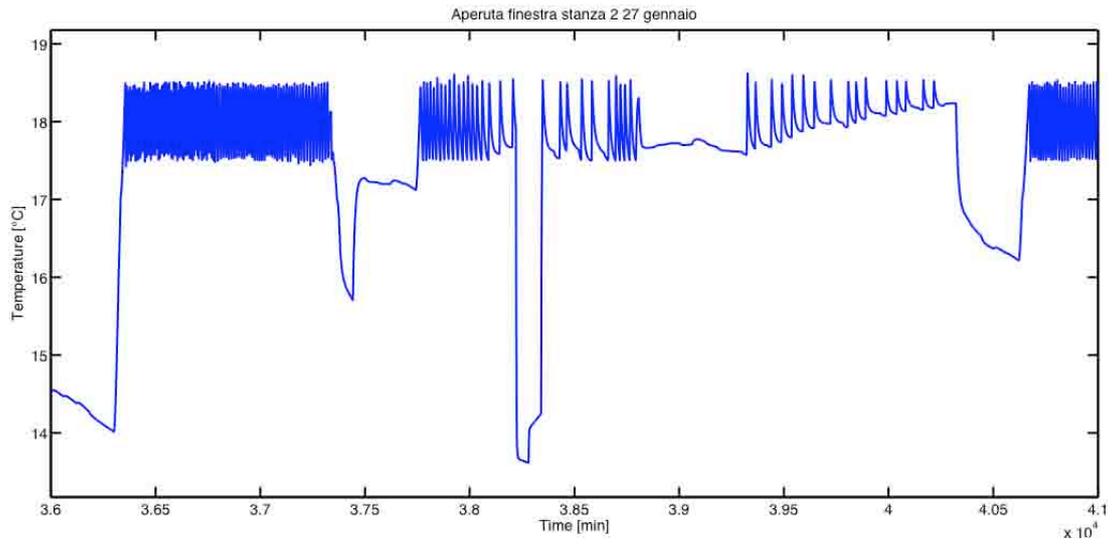
Errori comportamentali – Bad Practices

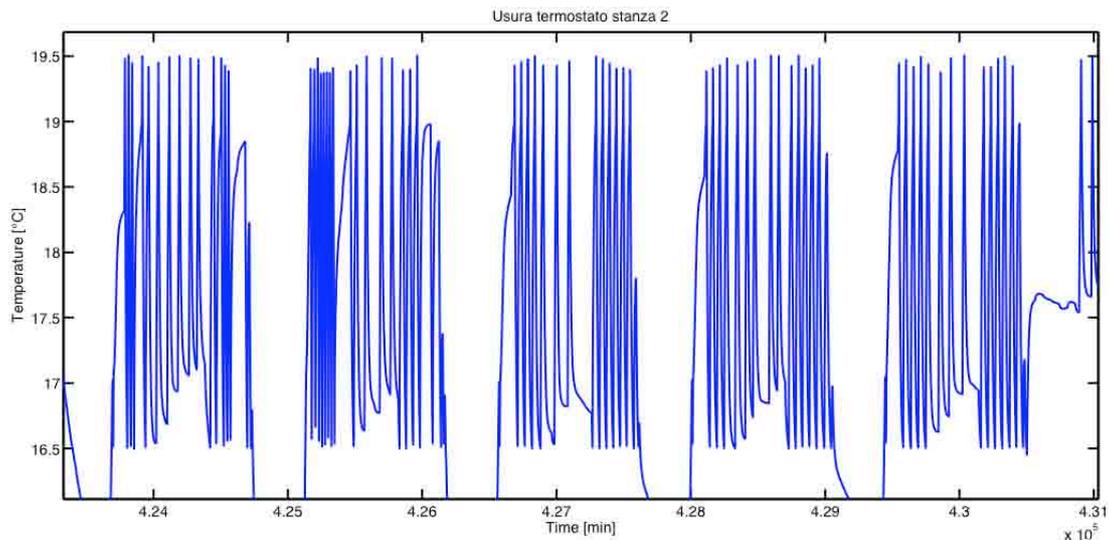
Su ciascuno dei profili di utenza visti, verranno simulati degli errori “comportamentali” (Tabella 1) per testare i sistemi di diagnostica individuati nella tabella di diagnostica (Tabella 3).

L’obiettivo è quindi duplice. Da un lato cercare di quantificare lo “spreco” energetico ed economico dovuto ad errori comportamentali; dall’altro, quantificare il peso percentuale di questo dispendio energetico ed economico in relazione al “profilo” tenuto dall’utente.



interno del blocco di guasti, le funzioni calcolano i tempi e i tipi di guasti da introdurre





3.7 CRITICITA': Diagnostica ed importanza del feed-back utente

Un aspetto importante da valutare è l'influenza del tempo di risposta dell'utente ed il suo grado di "ripetibilità". Infatti, la diagnostica individua il problema del comportamento scorretto ma non ci dice nulla sul suo protrarsi nel tempo.

Ad esempio: la diagnostica fornisce un "warning" sul fatto che sia in atto un comportamento sbagliato (finestra aperta in inverno) ma non dà nessuna informazione sul numero di volte che lo stesso evento possa ripetersi (è un fenomeno occasionale?, viene tenuta aperta sempre per un'ora a settimana?, una volta ricevuto lo warning, quale è il tempo di risposta/reazione dell'utente, il comportamento è acquisito o si protrae nel tempo?). Questo è un aspetto fondamentale per capire l'importanza relativa di un evento sul totale dei consumi.

3.8 Le logiche di diagnostica testate

Le principali logiche di diagnostica testate sono:

1. Principal component analysis
2. T2 , Q statistic
3. Wavelet Analysis
4. Multi-Scale Principal Component Analysis

3.8.1 Principal component analysis

L'idea che sta alla base di questa tecnica è di ridurre la dimensione di un insieme di dati costituito di un gran numero di variabili interconnesse tra loro, conservando la variazione presente nei dati. I nuovi dati ottenuti, i *principal components*, dopo la trasformazione lineare risultano incorrelati tra loro. I *principal components* sono ordinati così che i primi contengono la parte maggiore della variazione presente nelle variabili originali.

Definiamo una matrice di dati $\mathbf{X}=[x_1, \dots, x_m] \in R^{n \times m}$ dove n è il numero di campioni e m il numero di variabili ($n \gg m$) e la trasformazione:

$$\mathbf{T}=\mathbf{X}*\mathbf{P} \quad \mathbf{T}=[t_1, \dots, t_r] \in R^{n \times r}, \quad \mathbf{P}=[p_1, \dots, p_r] \in R^{m \times r}$$

dove $r < m$ è il numero di *principal components* considerate. \mathbf{P} è la matrice di trasformazione lineare, detta *loading matrix*, e risulta essere una matrice ortonormale:

$$\mathbf{P}^T*\mathbf{P}=\mathbf{I}$$

La matrice \mathbf{T} è detta *score matrix*. Quindi:

$$\widehat{\mathbf{X}}=\mathbf{T}*\mathbf{P}^T \quad \text{segue } \mathbf{X}^* = t_1*p_1^T + t_2*p_2^T + \dots + t_r*p_r^T = \sum_{j=1}^r t_j * p_j^T$$

Per trovare il vettore p_j che massimizza la varianza di t_j :

$$t_j = \mathbf{X}*p_j$$

$$\max t_j^T*t_j = \max (\mathbf{X}*p_j)^T*(\mathbf{X}*p_j) = \max p_j^T*\mathbf{X}^T*\mathbf{X}*p_j \quad \text{con il vincolo } p_j^T*p_j=1$$

Il problema di ottimizzazione è risolto attraverso il metodo dei moltiplicatori di Lagrange:

$$f(p_j) = p_j^T X^T X p_j, \quad g(p_j) = p_j^T p_j - 1$$

$V = f(p_j) - \lambda_j g(p_j)$ dove λ_j è il moltiplicatore di Lagrange. Segue:

$$V = p_j^T X^T X p_j - \lambda_j (p_j^T p_j - 1)$$

$$\frac{dV}{dp_j} = 2 X^T X p_j - 2 \lambda_j p_j = 0$$

$$[X^T X - \lambda_j I] p_j = 0$$

$$A = X^T X$$

$$[A - \lambda_j I] p_j = 0$$

A è la matrice proporzionale alla matrice di covarianza considerando le variabili con valor medio nullo e λ_j, p_j sono rispettivamente l'autovalore e l'autovettore associati alla matrice A.

Poiché $p_j^T A p_j = p_j^T \lambda_j p_j$ allora $\max p_j^T t_j = \max p_j^T \lambda_j p_j$. Con il massimo autovalore λ_j otteniamo il vettore t_j con la massima varianza.

Alle stesse considerazioni si arriva considerando la *singular value decomposition* SVD, il problema di ottimizzazione è risolto calcolando:

$$\frac{X}{\sqrt{n-1}} = U \Sigma V^T$$

$U \in R^{n \times n}$, $\Sigma \in R^{n \times m}$, $V \in R^{m \times m}$ dove Σ contiene i non negativi e reali *singular value* lungo la sua diagonale ($\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \dots \geq \sigma_m$). I *loading vector* sono le colonne della matrice V e la varianza della colonna j^{th} di V è σ_j^2 . Risolvere la *singular value decomposition* è equivalente risolvere $A = X^T X / (n-1) = V S V^T$ dove la matrice diagonale $S = \Sigma^T \Sigma \in R^{m \times m}$ contiene i non negativi e reali autovalori ($\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_m$) dove $\lambda_j = \sigma_j^2$.

Riassumendo:

- 1) Si acquisiscono un set di dati $\mathbf{X} = [x_1, \dots, x_m] \in R^{n \times m}$ dove $n \gg m$
- 2) Si normalizzano i dati in modo che le variabili hanno valor medio nullo e varianza unitaria.

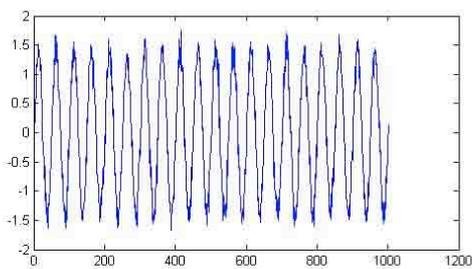
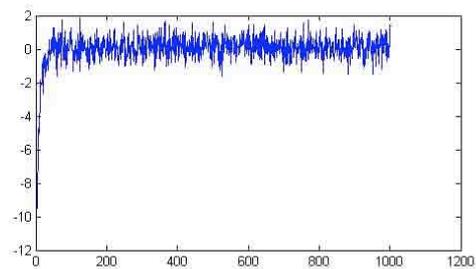
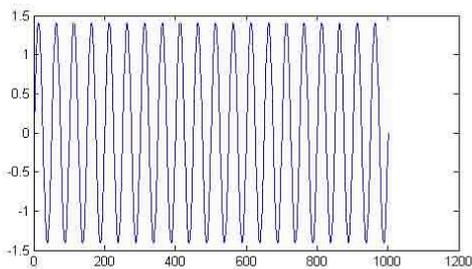
- 3) Si calcolano gli autovalori λ_j della matrice di covarianza $\mathbf{A}=\mathbf{X}^T*\mathbf{X}/(\mathbf{n}-1)$ e gli autovettori associati \mathbf{p}_j .
- 4) Si determina il numero \mathbf{r} di *principal components*.
- 5) Si determina la matrice di trasformazione lineare $\mathbf{P}=[\mathbf{p}_1,\dots,\mathbf{p}_r] \in R^{m \times r}$.
- 6) Si calcola la trasformazione lineare $\mathbf{T}=\mathbf{X}*\mathbf{P}$.
- 7) La trasformazione inversa nelle coordinate dei dati originali è $\widehat{\mathbf{X}}=\mathbf{T}*\mathbf{P}^T$.

Proprietà:

- 1) $\text{Var}(t_1) \geq \text{Var}(t_2) \geq \dots \text{Var}(t_r)$
- 2) $\text{Mean}(t_j)=0$ per ogni j
- 3) $t_i^T * t_j = 0$ per ogni $i \neq j$

Simulazioni:

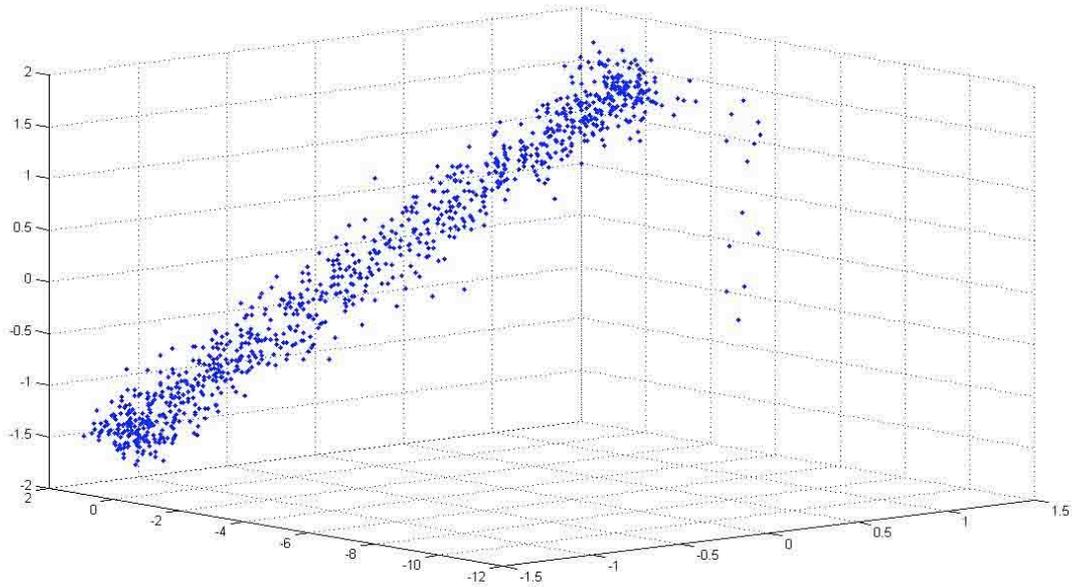
Consideriamo i seguenti segnali $x(1)$, $x(2)$, $x(3)$:



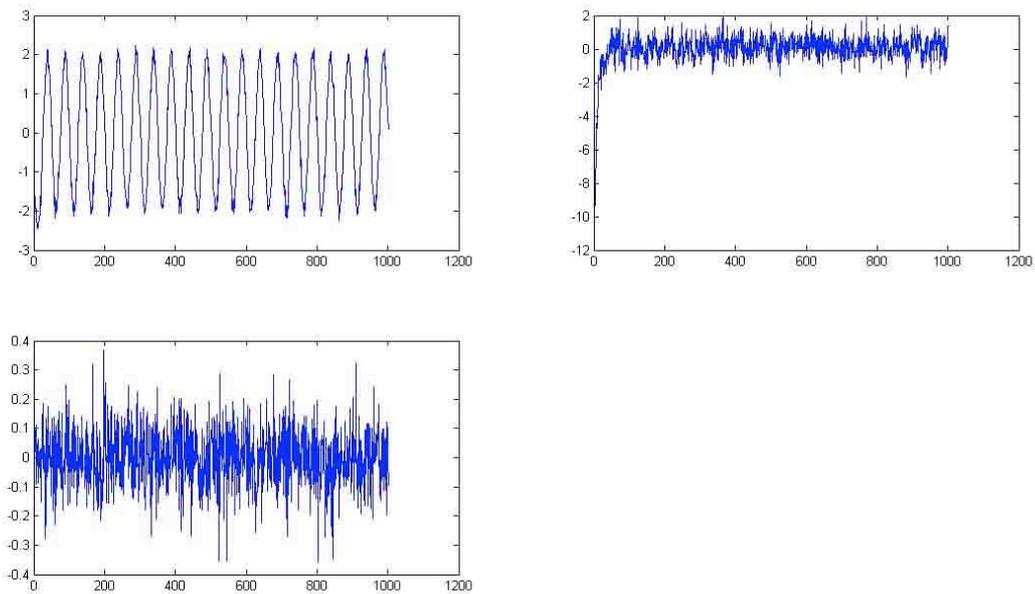
La matrice di correlazione è:

$$\begin{vmatrix} 1 & -0.1013084 & 0.9896977 \\ -0.1013084 & 1 & -0.0956357 \\ 0.9896977 & -0.0956357 & 1 \end{vmatrix}$$

Di seguito è il grafico in \mathbb{R}^3 dei segnali $x(1)$, $x(2)$, $x(3)$:



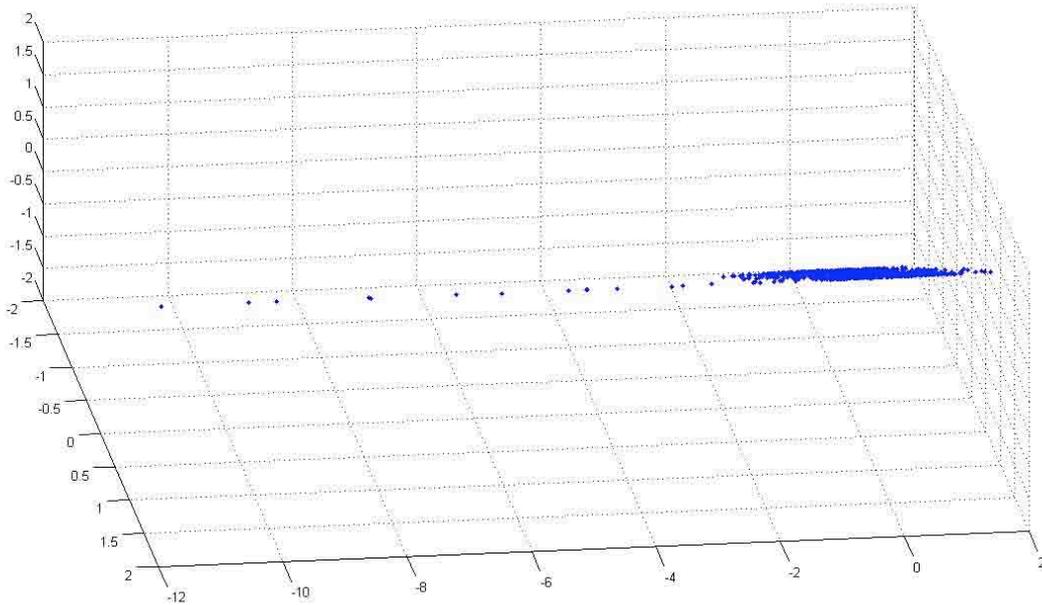
Ora riportiamo i segnali $T(1)$, $T(2)$, $T(3)$ dopo la trasformazione PCA:



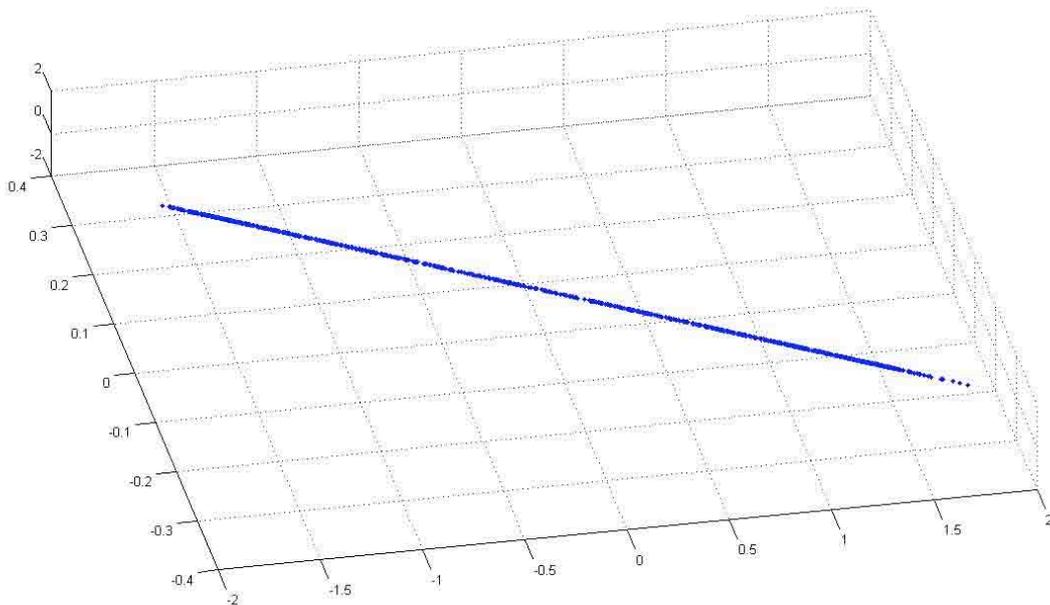
La matrice di correlazione è:

$$\begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

Come ci aspettavamo, i segnali ricostruiti sono incorrelati tra loro. Di seguito il grafico in \mathbb{R}^3 dei segnali ricostruiti $\hat{\mathbf{X}}(1)$, $\hat{\mathbf{X}}(2)$, $\hat{\mathbf{X}}(3)$ considerando $r=2$ principal components:



Vediamo come i punti giacciono sullo stesso piano. Invece se consideriamo $r=1$ principal components, otteniamo che i punti giacciono su una retta:



3.8.2 T2 , Q statistic

Lo spazio delle variabili originali può essere diviso nello spazio dei r più grandi *singular value* e nello spazio degli m-r più piccoli *singular value*:

$$X = \hat{X} + \tilde{X}$$

dove \hat{X} rappresenta la variazione considerata dalla trasformazione PCA di X e \tilde{X} (residui) rappresenta invece la variazione di X non considerata dalla PCA.

$$\hat{X} = T * P^T = X * P * P^T = X * C$$

$$R = \tilde{X} = X - \hat{X} = X - X * P * P^T = X * (I - P * P^T) = X * (I - C) = X * \tilde{C}$$

Consideriamo un vettore di misure $x \in R^m$

$$z = S^{-1/2} * P^T * x$$

$$T^2 = z^T * z$$

$$T^2 = x^T * P * (\sum^T * \sum)^{-1} * P^T * x = x^T * P * S^{-1} * P^T * x$$

Il test statistico T^2 di Hotelling misura la variazione dei score vector nello spazio dei principal components (PC subspace) considerati e può essere usato per verificare la presenza di un fault.

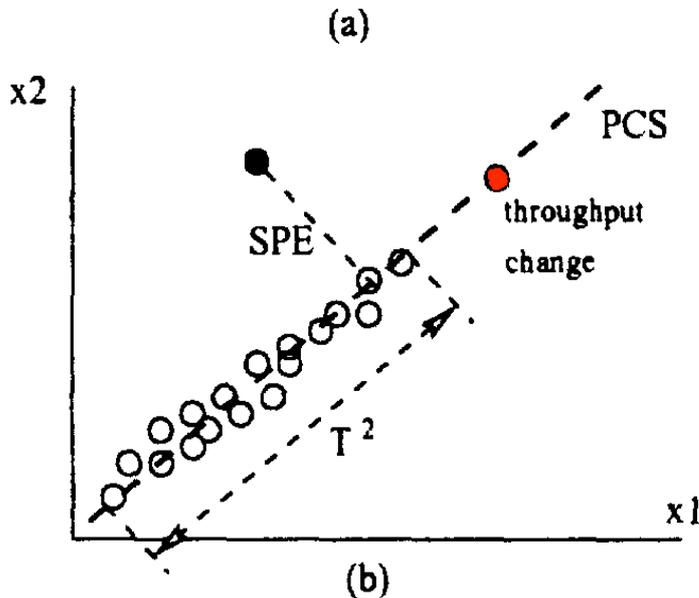
Il test rileva solo variazioni entro il PC subspace che sono superiori a ciò che può essere spiegato dal modello PCA.

Consideriamo il test statistico Q (o SPE, square prediction error):

$$Q = R^T * R = (X - \hat{X})^T * (X - \hat{X}) = \|\tilde{X}\|^2 = \|X * \tilde{C}\|^2$$

Il test statistico Q misura la variazione nello spazio dei residui e quindi nello spazio dei principal components non considerati, rappresenta il quadrato della distanza di ogni osservazione perpendicolare al PC subspace.

La differenza tra i due test sta nel fatto che mentre un fault aumenta entrambi i test, un aumento in T^2 da solo indica che il cambiamento non è coerente con il modello; può essere solo uno spostamento della regione di funzionamento, per esempio un cambiamento del throughput del processo.



Nell'immagine si vede come un cambiamento nel throughput del processo generi un incremento per il test T^2 e non per il test SPE, invece il campione di fault (cerchio nero) aumenta entrambi i test statistici. Il test T^2 segue la distribuzione Chi quadro (χ^2) con m gradi di libertà (Chiang, Russell, & Braatz):

$$T^2_{\alpha} = \chi^2_{\alpha}(m)$$

Quando la matrice di covarianza non è conosciuta a priori ma stimata attraverso la matrice di covarianza dei campioni, $S = \frac{1}{n-1} * X^T * X$, il fault può essere rilevato attraverso la soglia:

$$T^2_{\alpha} = \frac{m * (n^2 - 1)}{n * (n - m)} * F_{\alpha}(m, n - m)$$

dove $F_{\alpha}(m, n - m)$ rappresenta la F-distribuzione con m e $n - m$ gradi di libertà e livello di significatività α .

Per il test Q viene considerata la soglia:

$$Q_{\alpha} = \theta_1 * \left[\frac{h_0 * c_{\alpha} * \sqrt{2 * \theta_2}}{\theta_1} + 1 + \frac{\theta_2 * h_0 * (h_0 - 1)}{\theta_1^2} \right]^{1/h_0}$$

$$\text{dove } \theta_i = \sum_{j=r+1}^n \lambda_j^i \quad h_0 = 1 - \frac{2 \cdot \theta_1 \cdot \theta_3}{3 \cdot \theta_2^2}$$

e c_α corrisponde alla normal cumulative distribution con α livello di significatività.

3.8.3 Wavelet Analysis

Le wavelets sono una famiglia di funzioni di base che sono localizzate nel tempo e nella frequenza, e possono essere rappresentate come:

$$\psi_{su}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} * \psi\left(\frac{t-u}{s}\right)$$

dove $s \in \mathbb{R}^+$ è il parametro di dilatazione, $u \in \mathbb{R}$ il parametro di traslazione e ψ rappresenta la wavelet madre. Le wavelet madri devono soddisfare le seguenti proprietà:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |\psi(t)| dt < \infty, \quad \int_{-\infty}^{+\infty} |\psi(t)|^2 dt = 1, \quad \int_{-\infty}^{+\infty} \psi(t) dt = 0$$

La trasformata wavelet continua (CWT) di un segnale $f(t)$ è:

$$CWT(s, u) = \frac{1}{\sqrt{s}} * \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) * \psi^*\left(\frac{t-u}{s}\right) dt$$

dove ψ^* è il complesso coniugato di ψ

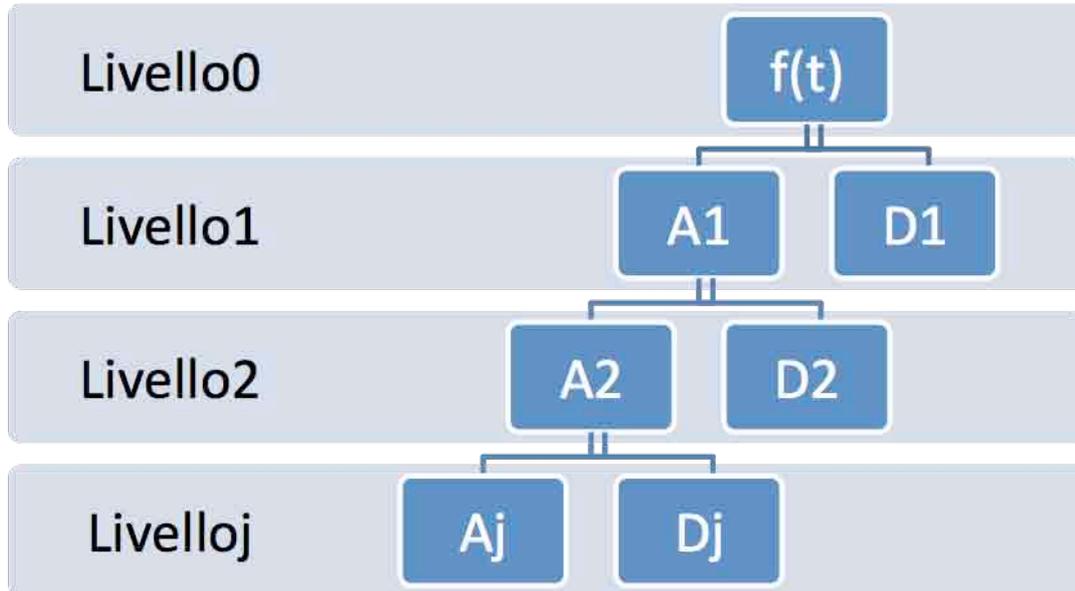
La trasformata wavelet discreta (DWT) di un segnale $f(t)$ è:

$$DWT(s, u) = \frac{1}{\sqrt{2^j}} * \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) * \psi^*\left(\frac{t - 2^j * k}{2^j}\right) dt$$

dove $s=2^j$ e $u=2^j*k$ con $(j,k) \in \mathbb{Z}^2$, quindi le wavelets assumono la forma:

$$\psi_{su}(t) = \frac{1}{\sqrt{2^j}} * \psi\left(\frac{t - 2^j * k}{2^j}\right)$$

L'analisi DWT di un segnale è calcolata attraverso il passaggio del segnale attraverso una serie di filtri passa alto e passa basso come mostrato in figura:



Dove A_j (Approssimazione) è il segnale dopo il passaggio in un filtro passa basso e D_j (Dettaglio) è il segnale dopo il passaggio attraverso un filtro passa alto; il segnale originale è dato da:

$$f(t) = A_j + \sum_{i=1}^j D_i$$

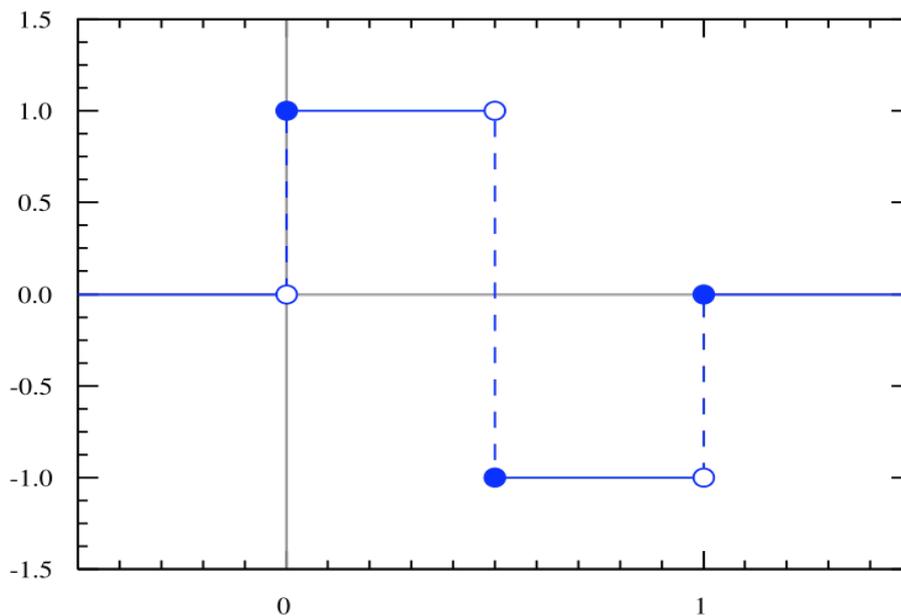
Supponiamo una frequenza di campionamento di 10240Hz, i campioni e le frequenze delle matrici di dettaglio e approssimazione sono:

Filtri passa basso (Approssimazione A_j)		
Livello	Frequenza	Campioni ($f_n=10240\text{Hz}$)
1	0-5120 Hz	$0-f_n/2^1$
2	0-2560 Hz	$0-f_n/2^2$
3	0-1280 Hz	$0-f_n/2^3$
4	0-640 Hz	$0-f_n/2^4$
5	0-320 Hz	$0-f_n/2^5$
6	0-160 Hz	$0-f_n/2^6$
7	0-80 Hz	$0-f_n/2^7$
8	0-40 Hz	$0-f_n/2^8$
9	0-20 Hz	$0-f_n/2^9$

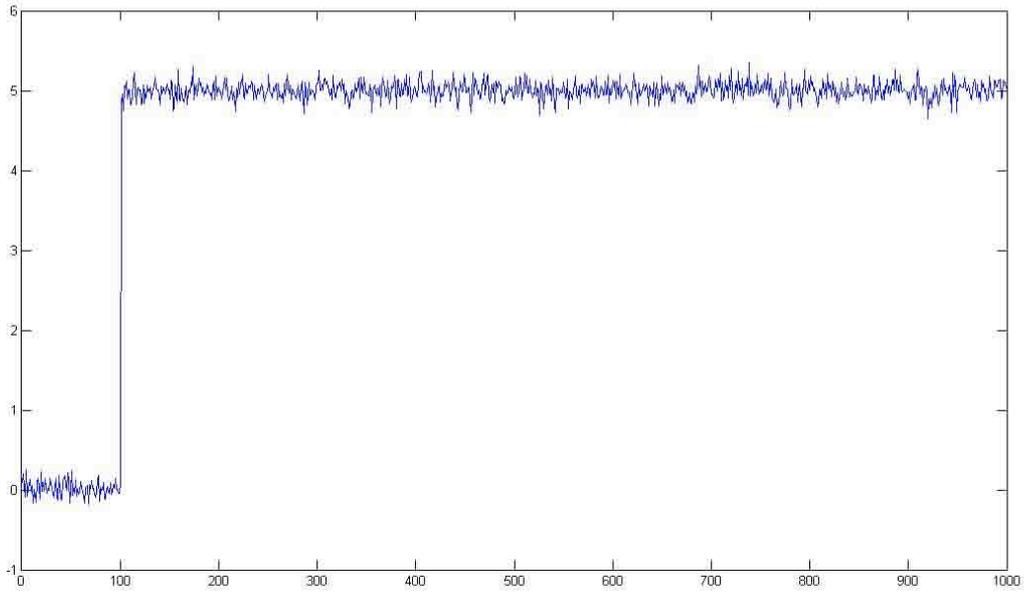
Filtri passa alto (Dettaglio D _j)		
Livello	Frequenza	Campioni (f _n =10240Hz)
1	5120-10240 Hz	f _n /2 ¹ -f _n /2 ⁰
2	2560-5120 Hz	f _n /2 ² -f _n /2 ¹
3	1280-2180 Hz	f _n /2 ³ -f _n /2 ²
4	640-1280 Hz	f _n /2 ⁴ -f _n /2 ³
5	320-640 Hz	f _n /2 ⁵ -f _n /2 ⁴
6	160-320 Hz	f _n /2 ⁶ -f _n /2 ⁵
7	80-160 Hz	f _n /2 ⁷ -f _n /2 ⁶
8	40-80 Hz	f _n /2 ⁸ -f _n /2 ⁷
9	20-40 Hz	f _n /2 ⁹ -f _n /2 ⁸

Aumentando i livelli si ha un aumento della risoluzione nel dominio della frequenza. Un esempio di wavelet madre è la wavelet Haar che non è una funzione continua e quindi non è derivabile:

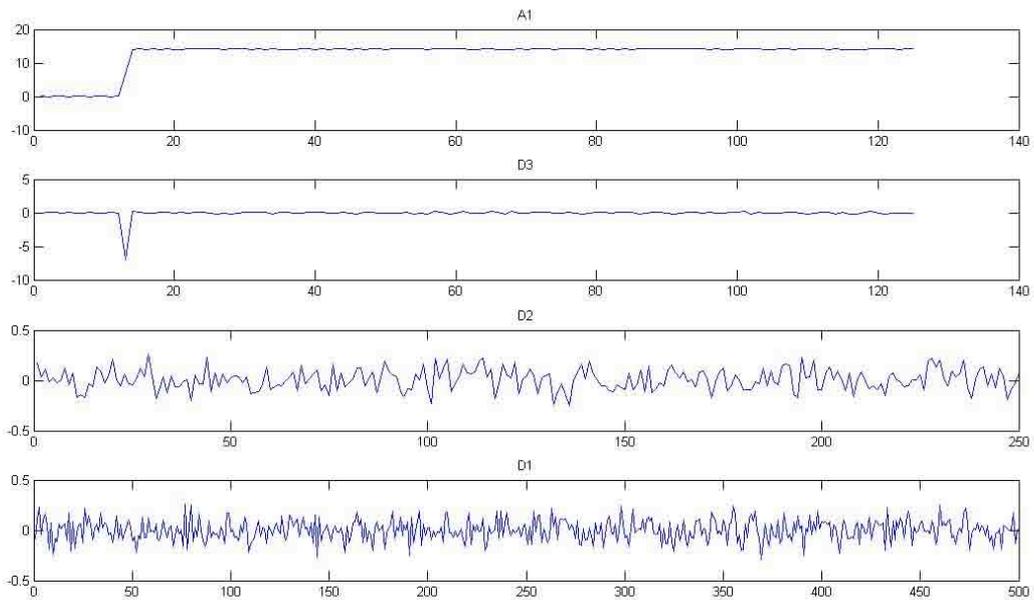
$$\psi(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t < 0.5 \\ -1 & 0.5 \leq t < 1 \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$



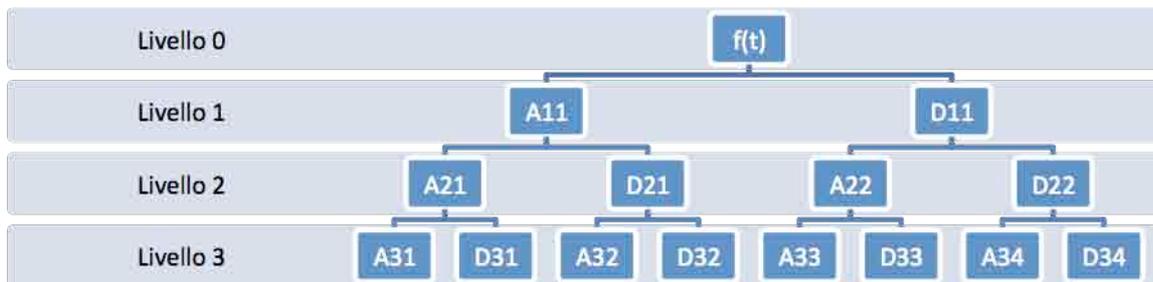
Di seguito portiamo un esempio della decomposizione wavelet a 3 livelli di un segnale, utilizzando la wavelet madre Haar:



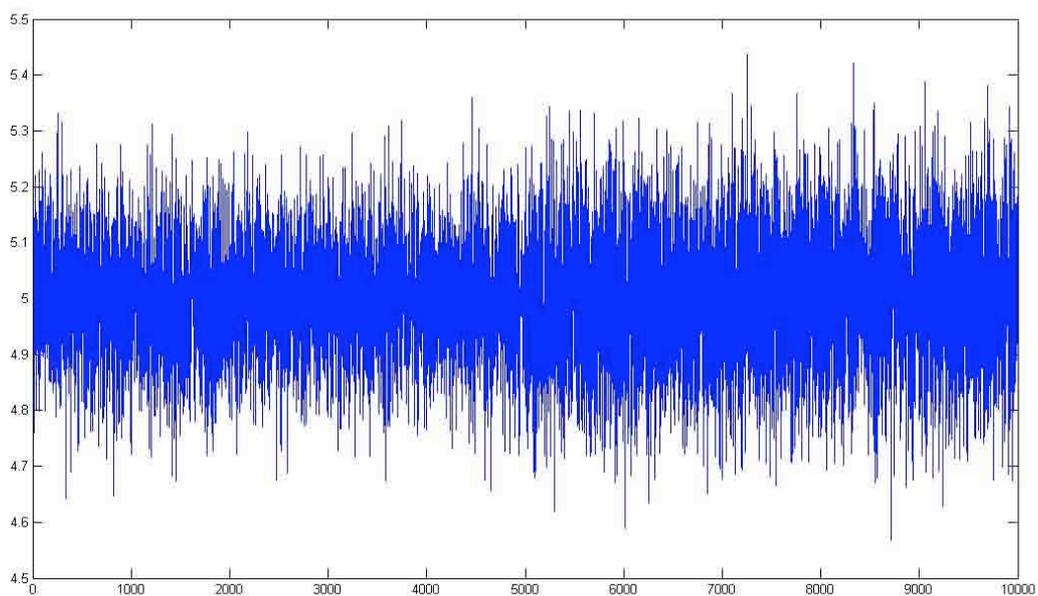
Sopra il segnale considerato e sotto i coefficienti di A3, D3, D2, D1:



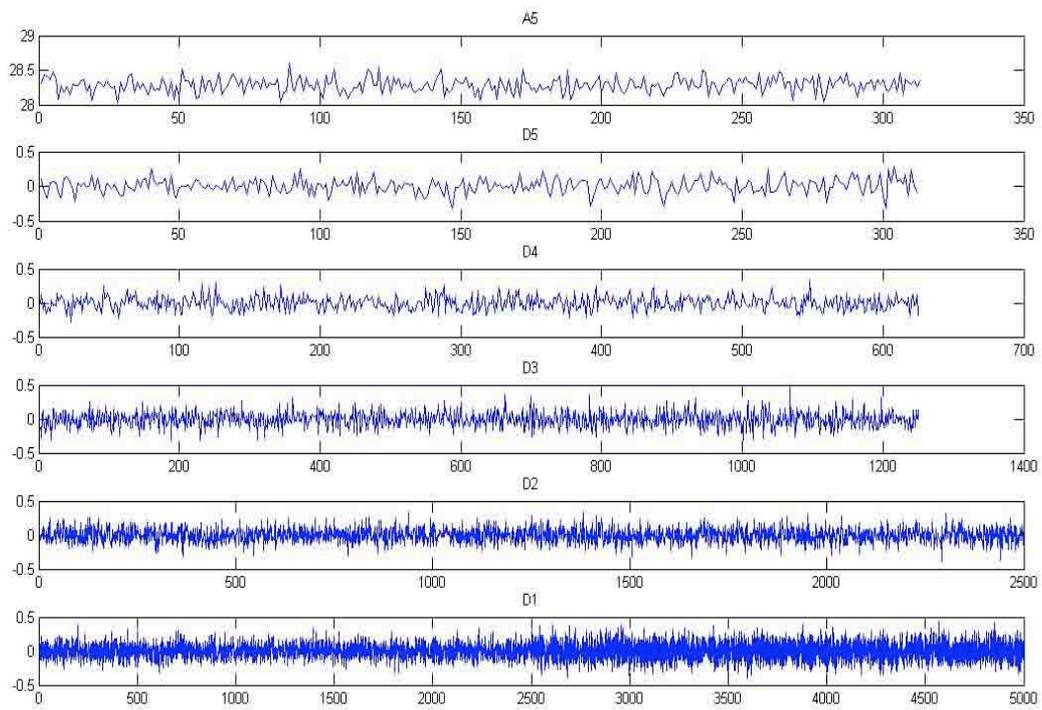
Un'altra tecnica utilizzata è la wavelet package che scompone il segnale anche alle altre frequenze:



Questa tecnica permette di avere una maggiore risoluzione alle alte frequenze rispetto la wavelet analysis descritta precedentemente. Consideriamo un segnale di valor medio 5 con sovrapposto un rumore gaussiano di valor medio 0 e varianza 0.01. Dal campione 5000 in poi aggiungiamo un segnale sinusoidale di ampiezza 0.1 e frequenza 6kHz.

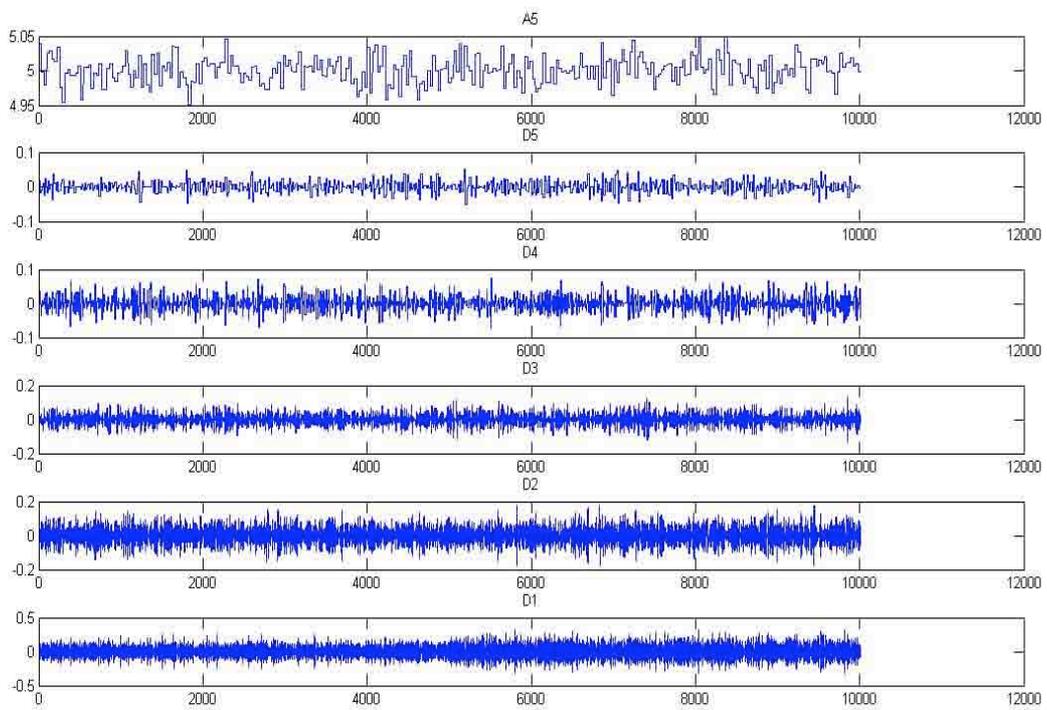


Attraverso la wavelet analysis, con un livello 5 e funzione madre Haar, otteniamo i seguenti coefficienti:

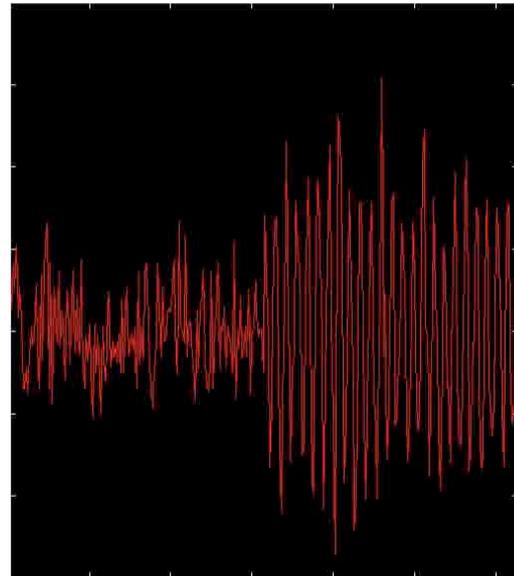
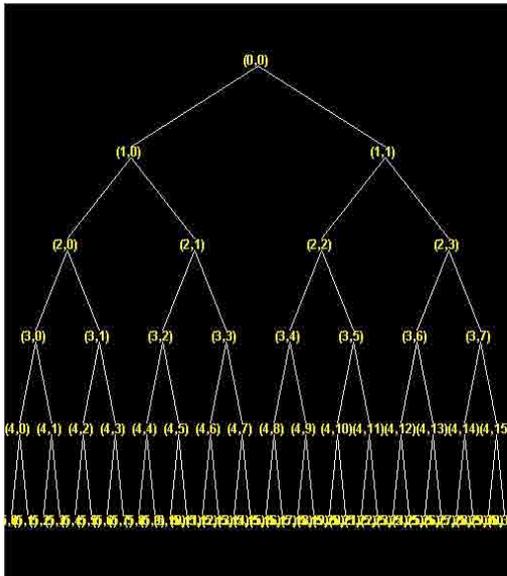


E

d i seguenti segnali ricostruiti:



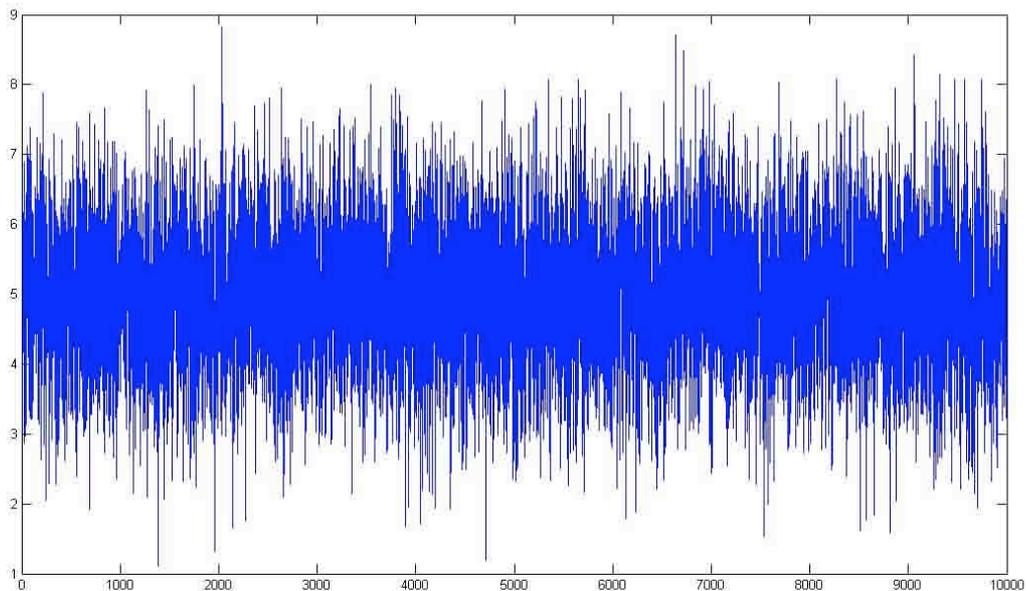
Utilizzando la wavelet package otteniamo il seguente albero:



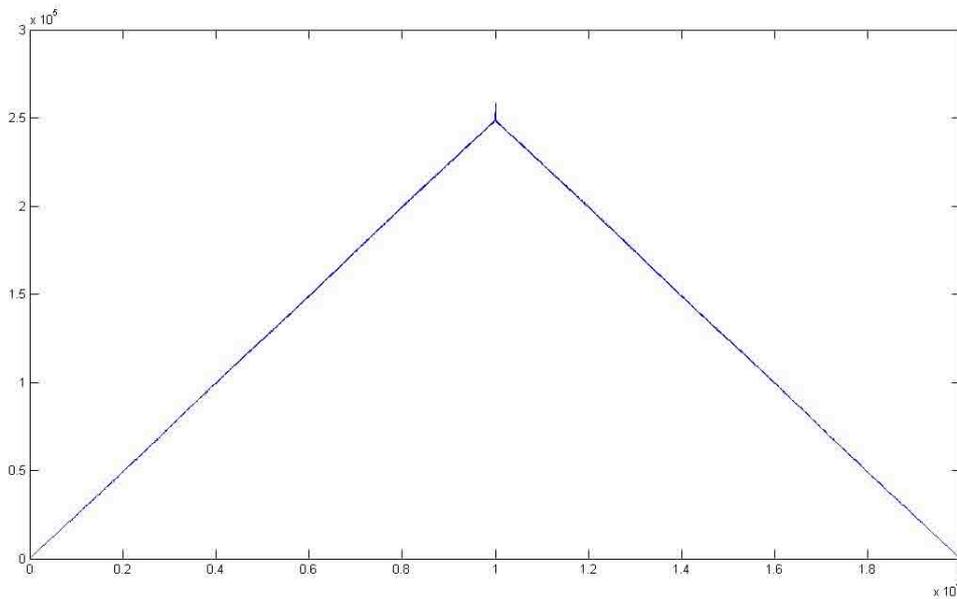
Il

grafico a sinistra è il segnale al nodo (5,21) e si nota come ora il segnale sinusoidale è molto evidente rispetto alla wavelet analysis. La wavelet package permette di avere una alta risoluzione alle alte frequenze ciò che non avviene con la semplice wavelet analysis.

Di seguito viene mostrato come la wavelet analysis diminuisca l'autocorrelazione di un segnale. Consideriamo il seguente segnale:

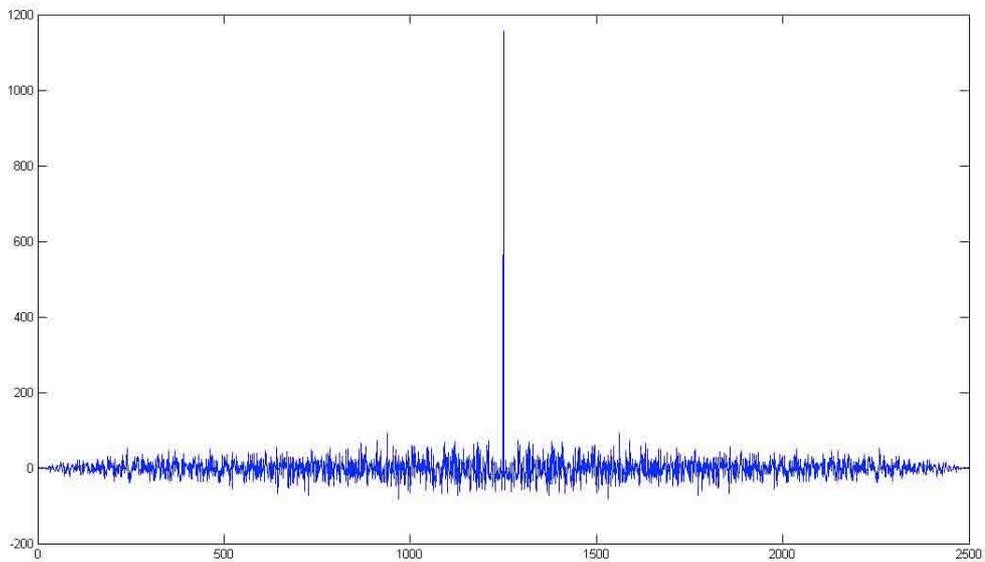


e la relativa autocorrelazione:



Notia

mo come il segnale risulti fortemente auto correlato. Ora mostriamo l'autocorrelazione del segnale per la matrice di dettaglio al livello 1 e notiamo come l'autocorrelazione sia minore:



3.8.4 Multi-Scale Principal Component Analysis

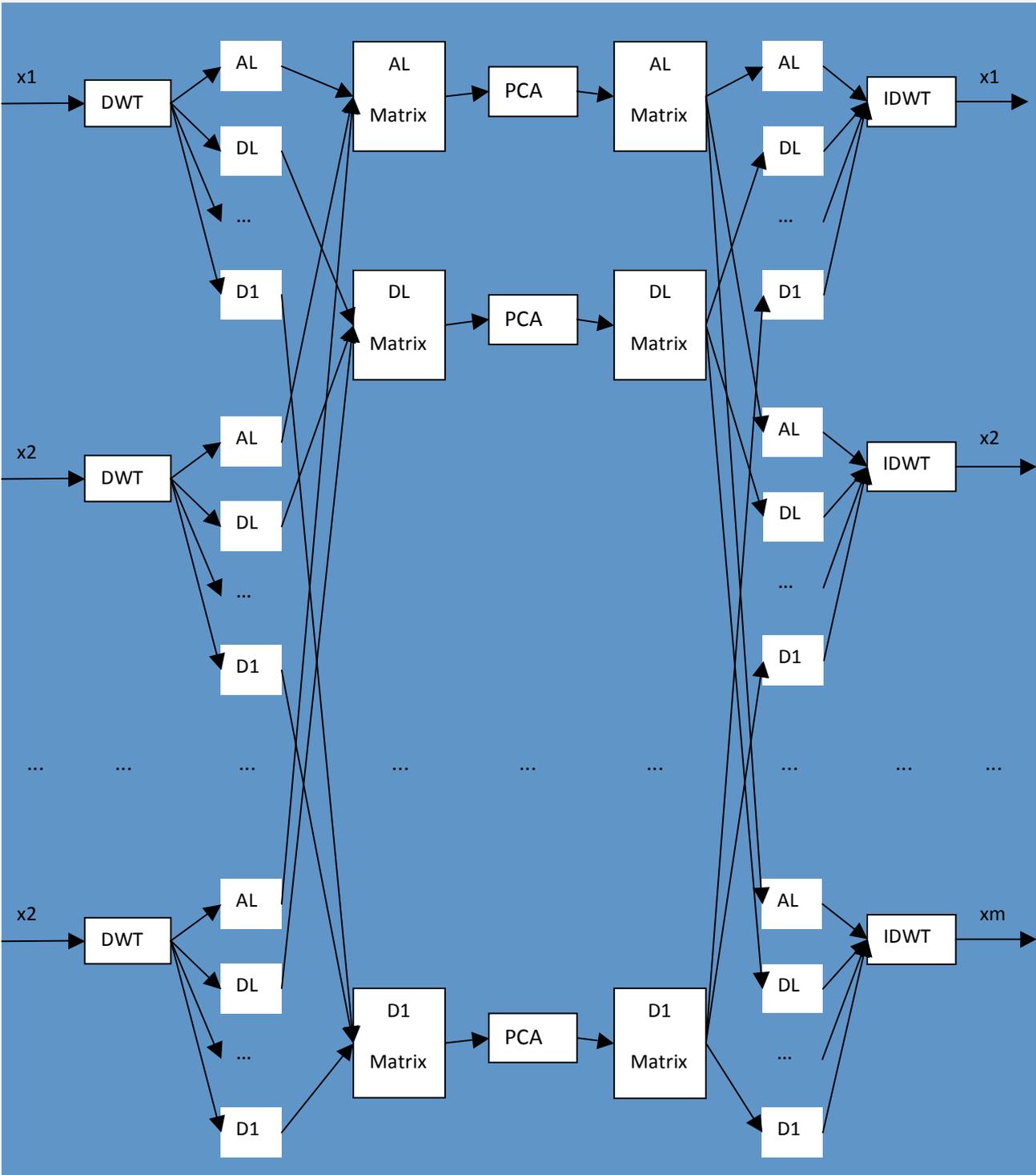
La tecnica Multi-Scale principal component analysis (MSPCA) utilizza sia la PCA che la wavelet analysis, quindi attraverso la PCA ha la capacità di estrarre le relazioni tra le variabili e ridurre la

cross-correlazione, invece con l'utilizzo delle wavelets ha l'abilità di estrarre le caratteristiche nelle variabili e in particolare ridurre l'auto-correlazione.

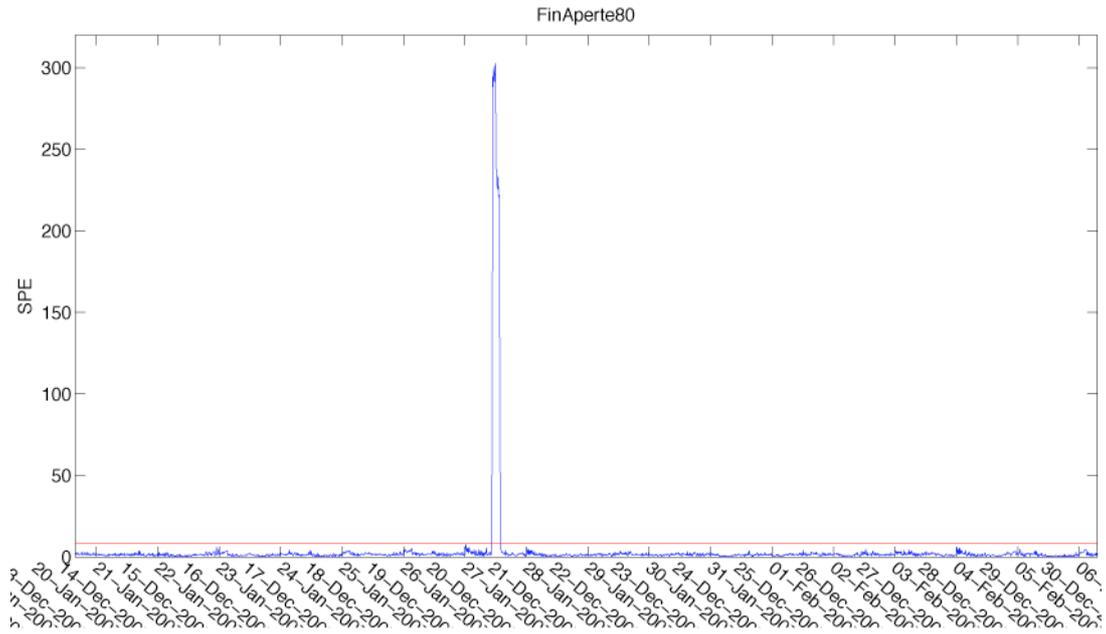
Di seguito è spiegato l'algoritmo per implementare la tecnica MSPCA:

- 1) Viene acquisito un set di variabili senza fault $\mathbf{X}^0 \in R^{n \times m}$ dove n è il numero di campioni e m il numero di variabili.
- 2) Viene scelto un livello L per la wavelet analysis.
- 3) Viene applicata la wavelet transform ad ogni variabile m di \mathbf{X}^0 e vengono memorizzati i coefficienti di ogni livello.
- 4) I coefficienti del livello di approssimazione A_L di ogni variabile vengono collocati in una matrice di dimensioni $[m \times n/2^L]^T$.
- 5) I coefficienti dei livelli di dettaglio D_1, \dots, D_L di ogni variabile vengono collocati in L matrici di dimensioni $[m \times n/2^i]^T$ $i=1, \dots, L$
- 6) Vengono normalizzate le L+1 matrici e viene applicata la PCA ad ogni matrice.
Vengono memorizzati valor medio, deviazione standard, numero di principal components considerati, matrice P e matrice S (dalla PCA) per ogni matrice.
- 7) Viene calcolato la soglia di SPE e T^2 per ogni matrice.
- 8) Viene applicata la wavelet inversa alle L+1 matrici e si ricostruiscono le m variabili.
- 9) Si applica la PCA alle m variabili ricostruite e normalizzate.
- 10) Viene calcolato la soglia di SPE e T^2 delle m variabili ricostruite.
- 11) Viene acquisito un nuovo set di variabili $\mathbf{X}^1 \in R^{n^1 \times m}$
- 12) Viene applicata la wavelet transform, con il livello scelto al punto 2), ad ogni variabile m di \mathbf{X}^1 e vengono memorizzati i coefficienti di ogni livello.
- 13) Vengono costruite le L+1 matrici come nei punti 4), 5)
- 14) Vengono normalizzate le L+1 matrici con valor medio e deviazione standard del punto 6) e vengono calcolati i test statistici SPE, T^2 utilizzando le matrici P, S e il numero di principal components del punto 6)
- 15) Viene applicata la PCA ad ogni matrice utilizzando le matrici P del punto 6)
- 16) Viene applicata la wavelet inversa alle L+1 matrici e si ricostruiscono le m variabili.
- 17) Vengono normalizzate le m variabili ricostruite con valor medio e deviazione standard del punto 9)
- 18) Si calcolano i test statistici SPE, T^2 utilizzando le matrici P, S e il numero di principal components del punto 9)
- 19) Si valuta se ci sono campioni che escono fuori dalle soglie calcolate in 7)

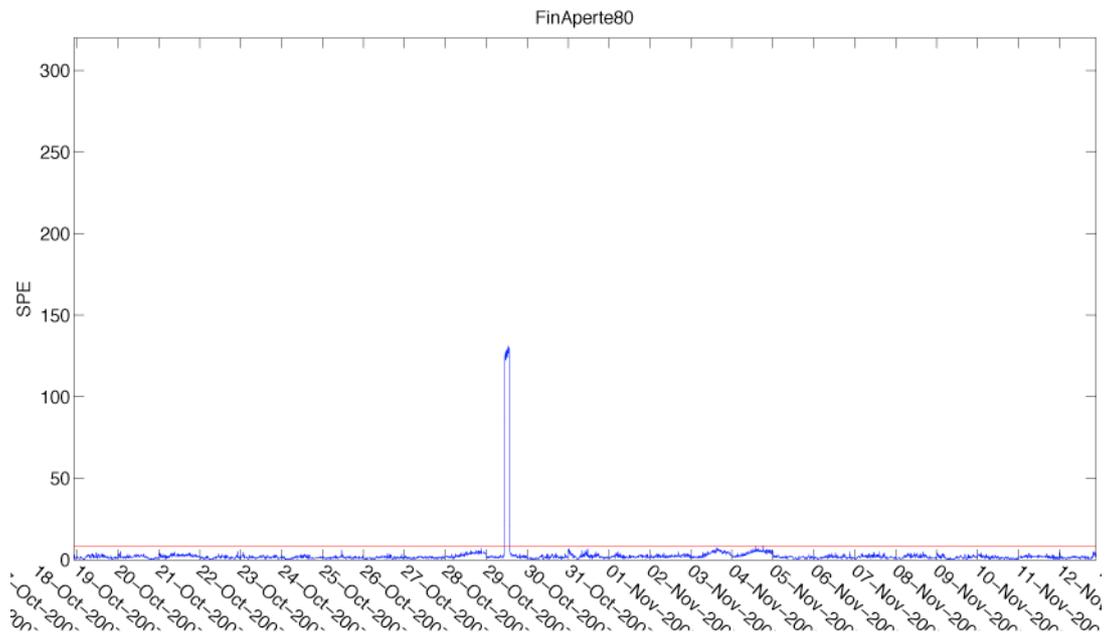
20) Se non ci sono fault si ritorna al punto 12)



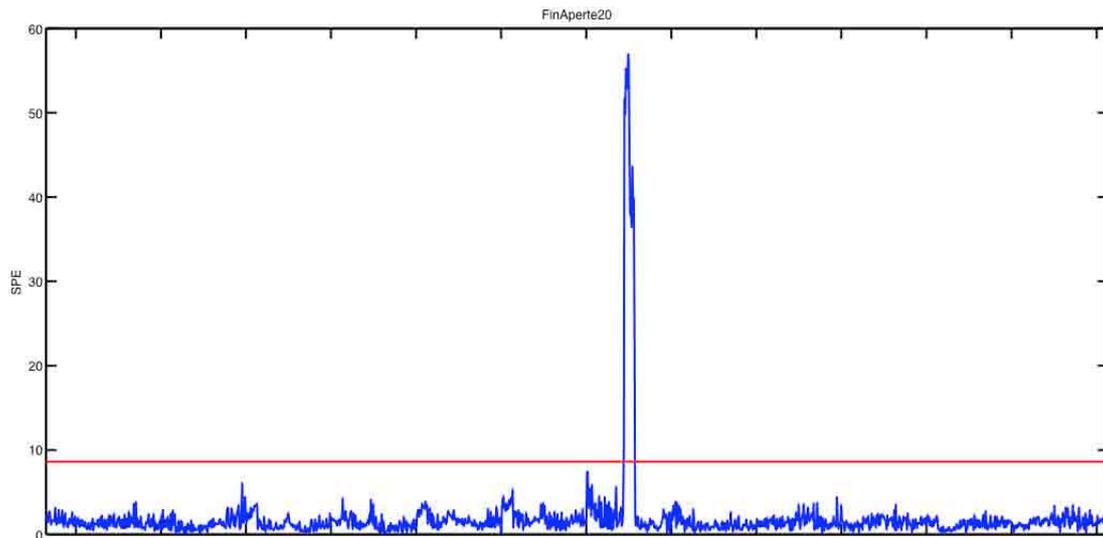
3.9 Individuazione e identificazione dei guasti e malfunzionamenti



Apertura della finestra nella stanza 2 per 2 ore il 27 gennaio



Apertura della finestra nella stanza 2 per 2 ore il 29 ottobre

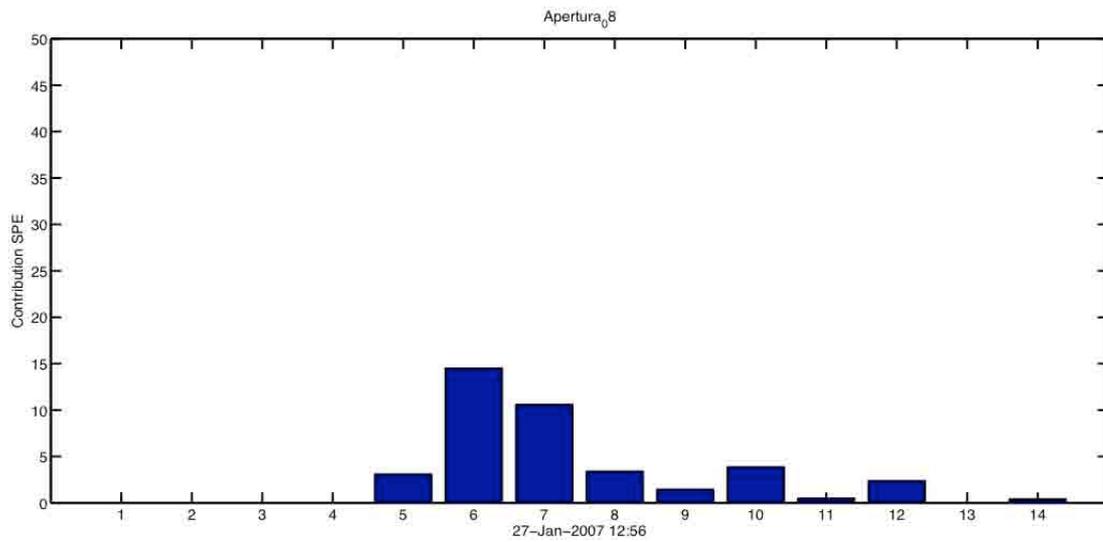


Apertura della finestra 2 del 20%.

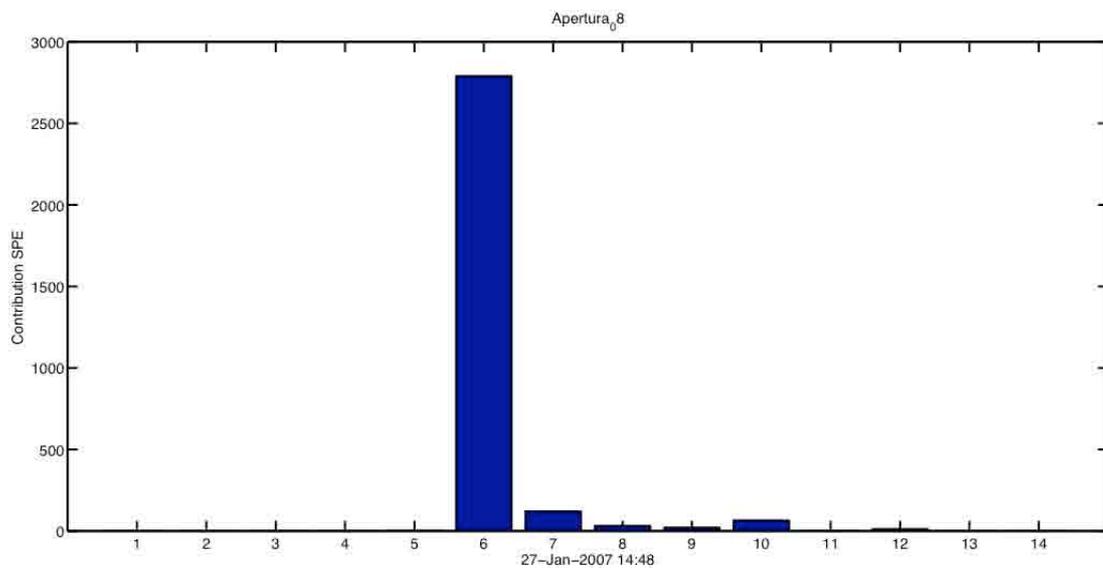
Le contribuzioni, che sono la firma del guasto che si è simulato, corrispondono alle quote dell'indice statistico associate ad ogni sensore.

I valori in ascissa corrispondono ai seguenti sensori:

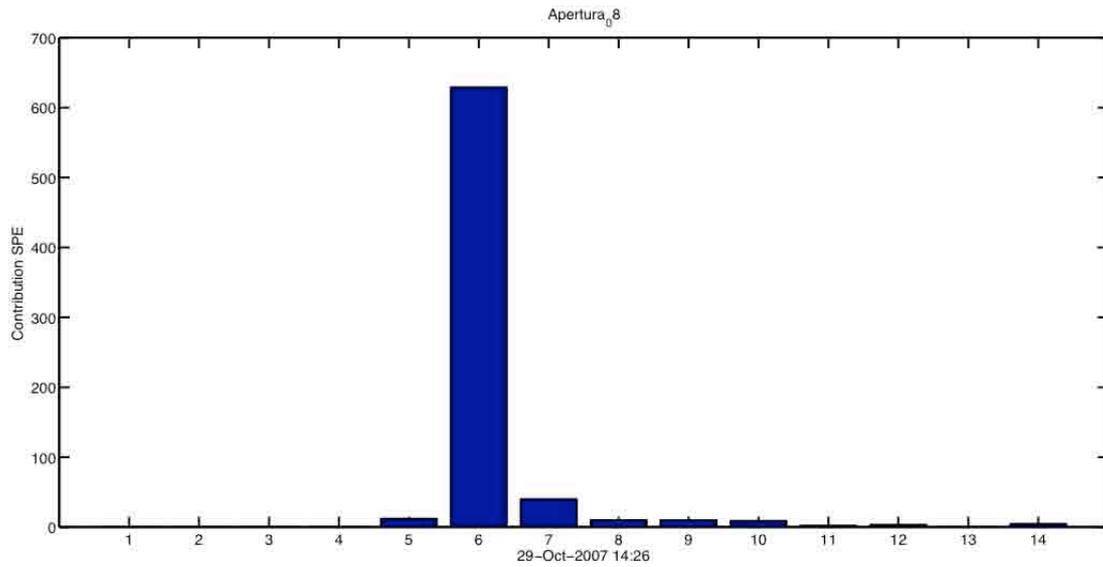
1. posizione valvola stanza 1
2. posizione valvola stanza 2
3. posizione valvola stanza 3
4. posizione valvola stanza 4
5. temperatura stanza 1
6. temperatura stanza 2
7. temperatura stanza 3
8. temperatura stanza 4
9. umidità stanza 1
10. umidità stanza 2
11. umidità stanza 3
12. umidità stanza 4
13. temperatura esterna
14. umidità esterna



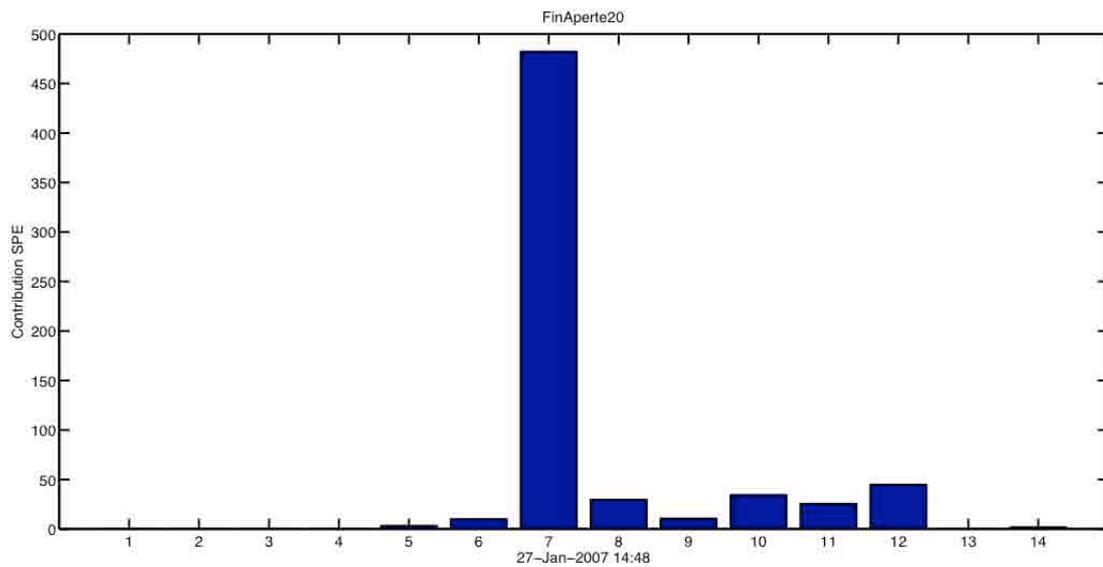
livello delle contribuzioni indicativo di un periodo di funzionamento dell'impianto in condizioni nominali



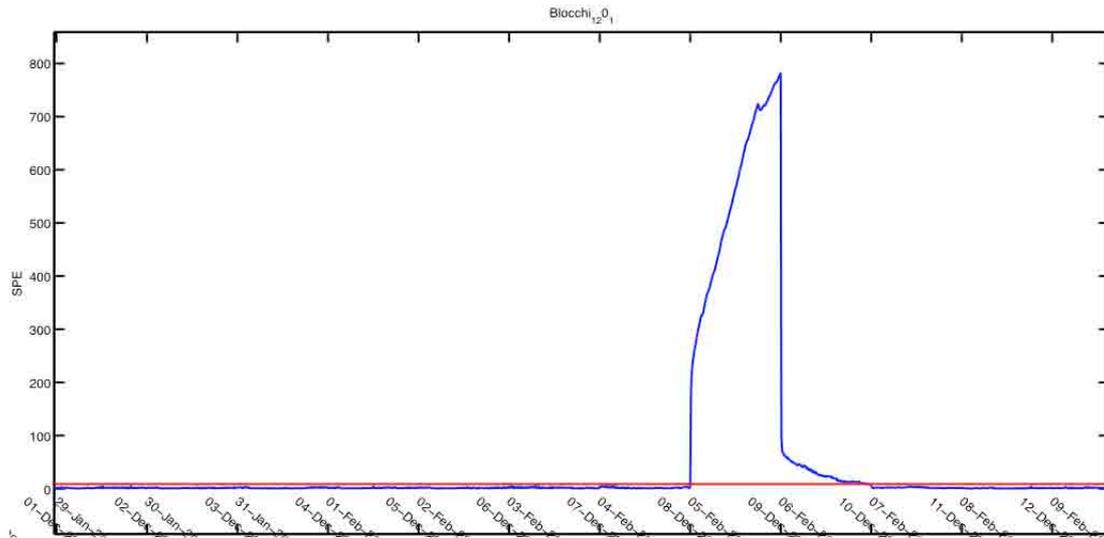
contribuzione della finestra aperta all'80% nel mese di gennaio



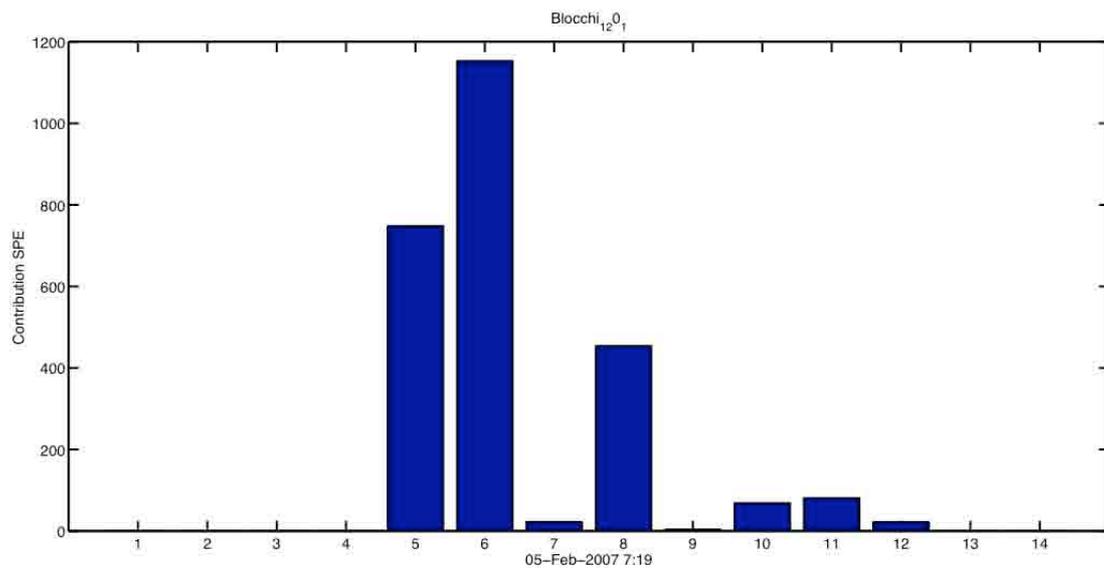
lo stesso evento nel mese di ottobre



l'apertura della finestra al 20% è diagnosticata con un livello di contribuzione del sensore di temperatura più basso ma comunque molto evidente rispetto il caso nominale.



L'andamento dello SPE (l'indice di rilevazione del guasto) nel caso di blocco della valvola nella stanza 2



La firma del blocco valvola nella stanza 2.

CAPITOLO 4 - Analisi tecnico-economica su un caso di riferimento

Una volta definita la configurazione della “interactive building network”, occorre valutare, attraverso una analisi tecnico-economica, la sua possibile implementazione su larga scala:

Il costo della piattaforma domotica è funzione del numero di sensori ed attuatori che si desidera implementare; l’analisi tecnico economica ha avuto come principali obiettivi:

1. valutare il beneficio economico (oltreché energetico) marginale ottenibile dall’inserimento di ciascun sensore/attuatore e quindi una stima del possibile PBP;
2. valutare, in via parametrica, il beneficio economico (oltreché energetico) marginale ottenibile dalla diagnostica di malfunzionamenti o comportamenti.

Per fare questo, le simulazioni svolte, corrispondenti a diversi livelli di ottimizzazione e diagnostica, forniscono come output il risparmio in termini di kWh elettrici e m³ di metano e di conseguenza il risparmio in termini monetari.

La maggior parte del risparmio si ottiene dalla diagnostica ed ottimizzazione della gestione dell’energia termica per riscaldamento d’ambiente.

4.1 Risultati delle simulazioni

4.1.1 Profili “FAULTLESS”

Edificio 1 (circa 105 kWh/m²/anno per solo riscaldamento)

1. senza termostato, con limite sulla Tmax raggiunta in ambiente pari a 25°C;

Profilo termico 1

Energia primaria fornita annualmente [kWh/anno]	10699
Consumo annuo di metano [m ³ /anno]	1126

Spesa annua di acquisto gas naturale [€/anno]	597
---	-----

Profilo termico 2

Energia primaria fornita annualmente [kWh/anno]	9682
Consumo annuo di metano [m ³ /anno]	1019
Spesa annua di acquisto gas naturale [€/anno]	540

Profilo termico 3

Energia primaria fornita annualmente [kWh/anno]	10250
Consumo annuo di metano [m ³ /anno]	1079
Spesa annua di acquisto gas naturale [€/anno]	572

2. con un solo termostato fissato montato nella zona 2 con temperatura di riferimento di 20°, per i tre differenti profili;

Profilo termico 1

Energia primaria fornita annualmente [kWh/anno]	8957
Consumo annuo di metano [m ³ /anno]	943
Spesa annua di acquisto gas naturale [€/anno]	500

Profilo termico 2

Energia primaria fornita annualmente [kWh/anno]	7645
Consumo annuo di metano [m ³ /anno]	805
Spesa annua di acquisto gas naturale [€/anno]	426

Profilo termico 3

Energia primaria fornita annualmente [kWh/anno]	8138
Consumo annuo di metano [m ³ /anno]	857
Spesa annua di acquisto gas naturale [€/anno]	454

3. con un solo termostato fissato montato nella zona 2 con temperatura di riferimento di 18°, per i tre differenti profili;

Profilo termico 1

Energia primaria fornita annualmente [kWh/anno]	6225
Consumo annuo di metano [m ³ /anno]	655
Spesa annua di acquisto gas naturale [€/anno]	347

Profilo termico 2

Energia primaria fornita annualmente [kWh/anno]	5506
Consumo annuo di metano [m ³ /anno]	580
Spesa annua di acquisto gas naturale [€/anno]	307

Profilo termico 3

Energia primaria fornita annualmente [kWh/anno]	5850
Consumo annuo di metano [m ³ /anno]	616
Spesa annua di acquisto gas naturale [€/anno]	326

4. 4 termostati, uno per ogni zona, fissati rispettivamente a 18°,20°,18°,20°, per i tre differenti profili;

Profilo termico 1

Energia primaria fornita annualmente [kWh/anno]	7819
Consumo annuo di metano [m ³ /anno]	823
Spesa annua di acquisto gas naturale [€/anno]	436

Profilo termico 2

Energia primaria fornita annualmente [kWh/anno]	6833
Consumo annuo di metano [m ³ /anno]	719
Spesa annua di acquisto gas naturale [€/anno]	381

Profilo termico 3

Energia primaria fornita annualmente [kWh/anno]	7320
Consumo annuo di metano [m ³ /anno]	771

Spesa annua di acquisto gas naturale [€/anno]	408
---	-----

5. 4 termostati, uno per ogni zona, fissati rispettivamente a 17°,18°,17°,18°, per i tre differenti profili;

Profilo termico 1

Energia primaria fornita annualmente [kWh/anno]	6124
Consumo annuo di metano [m ³ /anno]	645
Spesa annua di acquisto gas naturale [€/anno]	342

Profilo termico 2

Energia primaria fornita annualmente [kWh/anno]	5271
Consumo annuo di metano [m ³ /anno]	455
Spesa annua di acquisto gas naturale [€/anno]	294

Profilo termico 3

Energia primaria fornita annualmente [kWh/anno]	5632
Consumo annuo di metano [m ³ /anno]	593
Spesa annua di acquisto gas naturale [€/anno]	314

Edificio 2 (circa 75 kWh/m²/anno per solo riscaldamento)

1. senza termostato, per i tre profili differenti; con limite sulla Tmax raggiunta in ambiente pari a 25°C;

Profilo termico 1

Energia primaria fornita annualmente [kWh/anno]	7925
Consumo annuo di metano [m ³ /anno]	834
Spesa annua di acquisto gas naturale [€/anno]	442

Profilo termico 2

Energia primaria fornita annualmente [kWh/anno]	7172
Consumo annuo di metano [m ³ /anno]	755
Spesa annua di acquisto gas naturale [€/anno]	400

Profilo termico 3

Energia primaria fornita annualmente [kWh/anno]	7593
Consumo annuo di metano [m ³ /anno]	799
Spesa annua di acquisto gas naturale [€/anno]	424

2. con un solo termostato fissato montato nella zona 2 con temperatura di riferimento di 20°, per i tre differenti profili;

Profilo termico 1

Energia primaria fornita annualmente [kWh/anno]	6635
Consumo annuo di metano [m ³ /anno]	698
Spesa annua di acquisto gas naturale [€/anno]	370

Profilo termico 2

Energia primaria fornita annualmente [kWh/anno]	5663
Consumo annuo di metano [m ³ /anno]	596
Spesa annua di acquisto gas naturale [€/anno]	316

Profilo termico 3

Energia primaria fornita annualmente [kWh/anno]	6028
Consumo annuo di metano [m ³ /anno]	635
Spesa annua di acquisto gas naturale [€/anno]	336

3. con un solo termostato fissato montato nella zona 2 con temperatura di riferimento di 18°, per i tre differenti profili;

Profilo termico 1

Energia primaria fornita annualmente [kWh/anno]	4611
Consumo annuo di metano [m ³ /anno]	485
Spesa annua di acquisto gas naturale [€/anno]	257

Profilo termico 2

Energia primaria fornita annualmente [kWh/anno]	4079
Consumo annuo di metano [m ³ /anno]	429
Spesa annua di acquisto gas naturale [€/anno]	228

Profilo termico 3

Energia primaria fornita annualmente [kWh/anno]	4333
Consumo annuo di metano [m ³ /anno]	456
Spesa annua di acquisto gas naturale [€/anno]	242

4. 4 termostati, uno per ogni zona, fissati rispettivamente a 18°,20°,18°,20°, per i tre differenti profili;

Profilo termico 1

Energia primaria fornita annualmente [kWh/anno]	5792
Consumo annuo di metano [m ³ /anno]	610
Spesa annua di acquisto gas naturale [€/anno]	323

Profilo termico 2

Energia primaria fornita annualmente [kWh/anno]	5062
Consumo annuo di metano [m ³ /anno]	533
Spesa annua di acquisto gas naturale [€/anno]	282

Profilo termico 3

Energia primaria fornita annualmente [kWh/anno]	5422
Consumo annuo di metano [m ³ /anno]	571
Spesa annua di acquisto gas naturale [€/anno]	303

5. 4 termostati, uno per ogni zona, fissati rispettivamente a 17°,18°,17°,18°, per i tre differenti profili;

Profilo termico 1

Energia primaria fornita annualmente [kWh/anno]	4537
Consumo annuo di metano [m ³ /anno]	478
Spesa annua di acquisto gas naturale [€/anno]	253

Profilo termico 2

Energia primaria fornita annualmente [kWh/anno]	3905
Consumo annuo di metano [m ³ /anno]	411
Spesa annua di acquisto gas naturale [€/anno]	218

Profilo termico 3

Energia primaria fornita annualmente [kWh/anno]	4172
Consumo annuo di metano [m ³ /anno]	439
Spesa annua di acquisto gas naturale [€/anno]	233

In particolare, sono stati simulati 3 profili di utenza applicati a due tipologie di abitazioni con classe di efficienza differenti.

Consumi medi edificio per riscaldamento	Risparmio in bolletta (solo costo variabile del metano)	Risparmio percentuale in bolletta (comprensiva dei costi fissi)	Risparmio percentuale sui costi variabili
105 kWh/m ² /anno	~ 250 €	67 %	55 %
75 kWh/m ² /anno	~ 190 €	66 %	55 %

La tabella precedente mette in luce chiaramente cosa si intende per beneficio “marginale”; a parità di piattaforma domotica, infatti il risparmio economico ottenibile è differente e chiaramente inferiore per chi parte da una situazione più efficiente. Tuttavia, l’indicazione del costo potenziale di una piattaforma domotica è chiaro. Supponendo un tempo di ritorno economico di circa 3 anni il suo costo dovrebbe restare all’interno di un range compreso tra i **600** ed i **750 €**. A questo costo andrebbe poi aggiunto il costo della rete di trasmissione dati verso il server remoto. Tuttavia questo

costo sarebbe già incluso nell'eventuale canone ADSL, qualora fosse presente. Qualora invece non fosse presente alcun contratto di connessione ad Internet, il costo del sistema sarebbe solamente quello del trasmettitore del dato dall'unità abitativa al primo palo di illuminazione intelligente.

Attualmente, il costo di una rete del tipo di quella ipotizzata vale a dire dotata di:

- CPU;
- Cronotermostato e sensore di temperatura in ogni stanza;
- Analizzatore di rete;

si attesta intorno ai **700-800 € IVA INCLUSA**. Aggiungendo altri sensori ed attuatori (come ad esempio controllo luci, presenza, temporizzatore uscite) si può arrivare anche a **1300-1500 €, IVA INCLUSA**.

Nel costo della interactive building network, va conteggiato anche il costo di gestione della rete stessa. Occorre quindi capire chi potrebbe essere il potenziale gestore della rete locale. A questo livello di studio si può tracciare solo un identikit delle caratteristiche che dovrebbe avere il gestore di questa IBN, tra le quali sicuramente spicca l'assenza di conflitto di interessi. Un possibile soggetto gestore potrebbe essere gli "sportelli energia" che stanno nascendo in varie città.

CAPITOLO 5 - CONCLUSIONI

Il lavoro svolto presenta una metodologia per la supervisione remota di una rete di edifici residenziali equipaggiati con una piattaforma di domotica energetica avente lo scopo di ridurre i consumi finali di energia (elettrica e termica) dei consumatori finali domestici attraverso un percorso di crescita di consapevolezza energetica. In particolare, l'obiettivo è la progettazione di una "interactive building network", ossia dello sviluppo di una capacità "urbana" di orientare i cittadini in modo attivo verso il conseguimento di elevati risparmi energetici ed economici nella gestione delle reti energetiche delle proprie abitazioni. La metodologia proposta si basa su due livelli. Il primo livello, realizzabile a livello di ogni singola unità abitativa, ha funzioni di diagnostica ed individuazione sia di "comportamenti energeticamente errati" da parte degli utenti, sia di "guasti" di apparecchiature, sensori ed attuatori. Il secondo livello, è pensato come un server centralizzato in cui risiede tutta la potenza di calcolo ed ottimizzazione delle informazioni ricevute dalla supervisione di primo livello. Le informazioni elaborate daranno origine a dei feed-back verso l'utente finale di carattere tecnico, economico, informativo. L'infrastruttura di appoggio per la raccolta dati e l'invio di informazioni da e verso una vasta rete di edifici residenziali è il sistema della illuminazione pubblica. La piattaforma domotica di interactive building network è caratterizzata da pochi sensori in grado di garantire economicità, robustezza e bassa intrusività, in particolare per quello che riguarda il retrofit sul parco edilizio esistente. Le logiche di diagnostica sono state testate su dati simulati del comportamento di differenti utenze su un edificio e non su dati reali. Le logiche di diagnostica hanno fornito ottime risposte all'individuazione di malfunzionamenti e di comportamenti errati.

La piattaforma base ipotizzata, realizzata con sensori ed attuatori commerciali può realizzarsi a partire da un costo di circa **700-800 € IVA INCLUSA**. Aggiungendo altri sensori ed attuatori (come ad esempio controllo luci, presenza, temporizzatore uscite) si può arrivare anche a **1300-1500 €, IVA INCLUSA**. Dalle simulazioni effettuate risulta che, supponendo un tempo di ritorno economico di circa 3 anni il suo costo dovrebbe restare all'interno di un range compreso tra i **600** ed i **750 €**.

Interessante, nel prossimo futuro, sarà la possibilità di procedere alla realizzazione di una piccola piattaforma domotica di interactive building network , a livello di condominio o di "smart street", per poter testare la metodologia proposta su una applicazione reale e valutarne efficacia e problematiche realizzative.

Bibliografia

ASSOTERMICA – IMPIANTI TERMICI – Concetti innovativi dalla normativa vigent. Linee guida per il rinnovo degli impianti esistenti, la realizzazione di nuovi impianti e la scelta dei componenti

Harald Throne-Holst, Pål Strandbakken and Eivind Stø - Domestic Energy Use between Opportunity and Constraints. Barriers, Bottlenecks and Potentials for Change in Consumer Behaviour. Paper presented at the conference Advances in Energy Studies Perspectives into Energy Future Porto Venere, September 12 –16, 2006

International Energy Agency Demand-Side Management Programme Task XVII: Integration of Demand Side Management, Distributed Generation, Renewable Energy Sources and Energy Storages - Integration of Demand Side Management, Distributed Generation, Renewable Energy Sources and Energy Storages. State of the art report Vol 1: Main report

Adam Faiers, Matt Cook, Charles Neame. Towards a contemporary approach for understanding consumer behaviour in the context of domestic energy use. Energy Policy 35 (2007) 4381–4390

Cathy Mullaly. Home energy use behaviour: a necessary component of successful local government home energy conservation (LGHEC) programs. Energy Policy. Vol. 26, No. 14, pp. 1041–1052, 1998

Anna-Lisa Lindén, Annika Carlsson-Kanyamab, Bjorn Eriksson. Efficient and inefficient aspects of residential energy behaviour: What are the policy instruments for change? Energy Policy 34 (2006) 1918–1927

K. R. Tremblay. Energy Conservation in the Home no. 10.610. Consumer Series. Colorado State University.

ENEA - RISPARMIO ENERGETICO NELLA CASA. Collana Sviluppo Sostenibile. Settembre 2003

Yigzaw G. Yohanis , Jayanta D. Mondol, Alan Wright , Brian Norton - Real-life energy use in the UK: How occupancy and dwelling characteristics affect domestic electricity use. Energy and Buildings, 40 (2008) 1053–1059

Steve Doty, Wayne C. Turner. Energy Management Handbook (Seventh Edition)

Emma Jones, Matthew Leach, Joanne Wade. Local policies for DSM: the UK's home energy conservation act. Energy Policy 28 (2000) 201-211

Elias, E. W. A., Dekoninck, E. A. and Culley, S. J., 2007. The Potential for Domestic Energy Savings through Assessing User Behaviour and Changes in Design. In: EcoDesign 2007: 5th

International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, 10-13 December 2007, Tokyo, Japan.

Alan Meier, Cecilia Aragon, Becky Hurwitz, Dhawal Mujumdar, and Daniel Perry, Therese Peffer, Marco Pritoni. How People Actually Use Thermostats. 2010 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings.

Gianluca Ruggieri. Alcune note sui consumi elettrici nel settore domestico in Italia. Ottobre 2008.

Jacky Pett, Pedro Guertler. User behaviour in energy efficient homes. Phase 2 report. Association for the Conservation of Energy. March 2004.

Danny Parker, David Hoak, Alan Meier, Richard Brown. How much energy are we using? Potential of residential energy demand feedback devices. Proceeding of the 2006 Summer Study Energy Efficiency in Buildings. American Council for Energy Efficient Economy, Asilomar, California, August 2006

Danny Parker, David Hoak and Jamie Cummings. Pilot Evaluation of Energy Savings from Residential Energy Demand Feedback Devices. January 2008.

Caroline M. Clevenger¹, John Haymaker. The impact of the building occupant on energy modeling simulations. Joint International Conference on Computing and Decision Making in Civil and Building Engineering, Montreal, Canada (2006).

A. Sempey, C. Inard, C. Ghiaus, and C. Allery. Fast simulation of temperature distribution in air conditioned rooms by using proper or- thogonal decomposition. Building and Environment, 4(2):280 – 289, 2009.

Martin De Wit. Heat air and moisture model for building ans system evolution. 2008.

Chiang, L., Russell, E., & Braatz, R. Fault Detection and Diagnosis in industrial systems. Ed. Springer, 2001.

Dunia, R., e Qin, S. (1997). Joint diagnosis of process and sensor faults using principal component analysis. Control Engineering Practice. Vol. 6 (1998) 457-469

Jolliffe, I. Principal Component Analysis. Springer.

Qingsong, Y. Model-based and data driven fault diagnosis methods with applications to process monitoring.

APPENDICE - Divulgazione dati

I risultati del presente lavoro, verranno inviati alle principali riviste e congressi internazionali in ambito energetico e diagnostico. Alcune riviste individuate sono:

- Applied Energy;
- Sustainable Cities and Society;
- Energy;
- Energy Policy;
- Renewable Energy.

Un primo lavoro dal titolo “Proposal of a system for diagnosing with inefficient occupant behavior and systems malfunctioning in household sector.” È già stato sottoposto a congresso internazionale, 7th International Conference on Urban Regeneration and Sustainability “Sustainable City 2012”, che si terrà ad Ancona dal 7 al 12 Maggio 2012.