

PR.I.M.E3 PRocedure Innovative per Moduli Edilizi Energeticamente efficienti ed Ecocompatibili

RICERCA/RESEARCH

Mario Grosso, Dipartimento di Architettura e Design, Politecnico di Torino
Giacomo Chiesa, Dipartimento di Architettura e Design, Politecnico di Torino

mario.grosso@polito.it
giacomo.chiesa@polito.it

Abstract. Il settore edilizio, nei paesi industrializzati, è responsabile per quasi il 40% dei consumi energetici finali e, di una quota di poco inferiore, delle emissioni di gas serra climalteranti. Il raggiungimento degli obiettivi posti dal Protocollo di Kyoto e, più recentemente, in Europa, dalla Direttiva 2010/31/CE sulle Prestazioni Energetiche degli Edifici, nell'ambito del Programma 20/20/20 (20% di riduzione dei consumi energetici, 20% di produzione energetica da fonti rinnovabili, 20% di riduzione delle emissioni di gas serra climalteranti), richiede un cambiamento radicale nella progettazione e costruzione degli edifici. Risulta, quindi, necessario e impellente lo sviluppo di soluzioni tecnologiche – edilizie e impiantistiche – capaci di superare i requisiti minimi, previsti dalla legislazione nazionale e regionale in fatto di rendimenti energetici, per giungere alla concezione e implementazione di sistemi innovativi, architettonicamente integrati, in grado di controllare le condizioni di benessere termico negli ambienti confinati nell'arco dell'intero anno e nelle diverse zone geo-climatiche, che caratterizzano un territorio come quello italiano. In tale ottica s'inserisce l'impegno programmatico del progetto PR.I.M.E3, volto principalmente a sviluppare e sperimentare un prototipo di unità edilizia modulare, singola e aggregata, caratterizzata da alta efficienza energetica, ridotte emissioni di gas serra in atmosfera e materiali ecocompatibili.

Parole chiave: Moduli edilizi, Prefabbricazione, Efficienza energetica, Climatizzazione passiva, Materiali riciclati

Introduzione

Gli impieghi finali di energia in Italia nel periodo 1997-2012

hanno registrato un andamento crescente del consumo finale d'energia fino al 2005 (raggiungendo i 146,6 Mtep), seguito da una progressiva diminuzione, con l'eccezione del 2010, anno in cui si è manifestato un effetto rimbalzo dopo la forte contrazione del 2009 (ENEA, 2013). Tuttavia, a fronte di una significativa contrazione del settore industriale sull'onda della crisi economica (da 37,2 a 30,2 Mtep, pari a un -18,9 %), si è registrato un considerevole aumento dei consumi nel settore civile (da 37,5 a 46,9 Mtep, + 24,9%), che rappresentava, nel 2012, più di un terzo (36,7%) del totale degli impieghi finali di energia. L'incremento maggiore si è registrato nei consumi elettrici, in gran parte a

causa della diffusione degli impianti di climatizzazione estiva, che si stima pari a circa 1 milione di nuove installazioni/anno, per un totale di condizionatori installati, nel 2011, di circa 14 milioni di unità (ENEA, 2013).

Tale incremento, in contrasto con la tendenza alla diminuzione dei consumi per il riscaldamento nel settore civile, risente dell'effetto di riscaldamento globale dell'atmosfera causato dalla crescente concentrazione di gas serra – connesso all'utilizzo di combustibili fossili – che ha raggiunto la soglia critica di 400 parti per milione. Inoltre, proprio l'energia elettrica presenta un fattore di conversione di CO₂ equivalenti elevato (0,617 kg/kWh considerando il mix energetico medio europeo), contribuendo ad alimentare il circolo vizioso: riscaldamento globale → condizionamento → consumi elettrici → emissioni gas serra → riscaldamento globale.

Risulta quindi fondamentale aumentare la ricerca e lo sviluppo di soluzioni volte all'integrazione degli edifici, esistenti o di nuova costruzione, con sistemi di riduzione del consumo di energia, soprattutto elettrica, capaci di garantire elevati livelli di comfort e proporre un approccio passivo o ibrido agli impianti di condizionamento e riscaldamento. In quest'ottica si è sviluppato il progetto di ricerca sperimentale PR.I.M.E3.

La ricerca sperimentale PR.I.M.E3

Il progetto PR.I.M.E3 (PRocedure Innovative per Moduli Edilizi Energeticamente efficienti ed Ecocompatibili), finanziato dal MATTM sul bando Efficienza Energetica in Aree Urbane, e concluso nel dicembre 2013, è stato condotto da un consorzio di partner professionali e industriali, con la partecipazione e il coordinamento scientifico del Politec-

PR.I.M.E3 PRocedure for Innovative building Modules Energy Efficient and Eco- compatible

Abstract. The building sector is responsible for almost 40% of the final energy use, and a little bit less of related green gases emissions, in industrialised countries. Fulfilment of the Kyoto Protocol commitments as well as, more recently, of the objectives set by the Energy Performance of Building Directive 2010/31/EC within the strategic European Programme 20/20/20 (20% reduction of energy consumption, 20% of energy produced using renewable sources, 20% less green gases emissions) implies a radical change in the design and construction of buildings, which will have to perform as quasi-zero energy systems by 2020. Hence, it is necessary and urgent to develop technological, architecture-integrated solutions able to perform better than what is strictly required by current standards while assuring indoor comfort conditions during the whole year in different climate zones as the ones characterising the Italian

land. Within this framework, the research project PR.I.M.E3, here presented, has intended to contribute to the above mentioned objectives through the development and testing of a prototype of building modular unit, single and combined, characterised by high energy efficiency, reduction of green gases emissions, and use of eco-compatible materials.
Keywords: Building modules, Prefabrication, Energy efficiency, Passive indoor climate control, Recycled materials

Introduction

Energy use in Italy from 1997 to 2012 was increasing until 2005 (reaching 146.6 Mtep) and decreasing since, with the exception of 2010, when a rebound occurred after a strong fall in 2009 [ENEA, 2013]. However, the strong decrease in the industrial sector related to the economic depression (-18.9%, from 37.2 to 30.2 Mtep) con-

trasted to a significant growth of energy consumption in the building sector (+24%, from 37.5 to 46.9 Mtep), which amounted for 36.7% of the total energy use in 2012. Electricity consumption had the higher increase due primarily to the diffusion of air conditioning appliances, estimated as 1 million of new installation per year, leading to a stock of 14 million of units in 2011 (ENEA, 2013). This increase, in opposition to a decreasing trend in the energy use for space heating in buildings, is affected by the global warming induced by greenhouse gases which have reached the critical concentration threshold of 400 part per million of CO₂ equivalent, to which electricity consumption is the major contributor with a conversion factor of 0,617 Kg/kWh (considering the average European fuels mix for electrical energy production). As a matter of fact, a vicious circle is acting: global

nico di Torino (Dipartimento Architettura e Design, Unità di Tecnologia dell'Architettura).

Obiettivo principale della ricerca è stato il progetto e la sperimentazione – a livello di prototipo – di unità edilizie modulari aggregabili, sia verticalmente sia orizzontalmente, caratterizzate da elevata innovazione tecnologica, riguardante aspetti strutturali, funzionali, gestionali ed energetico-ambientali. Il modulo P.R.I.M.E3 è stato progettato per l'edilizia residenziale e terziaria, e pensato per poter rispondere anche a situazioni di emergenza, in cui risulta fondamentale la riduzione dei tempi di realizzazione-montaggio.

Il modulo singolo è composto da 3 sottomoduli, ciascuno di dimensioni adattabili al trasporto su gomma, per una superficie complessiva di 50 m²; la modalità di combinazione di tali sottomoduli è tale da consentire la realizzazione di soluzioni architettoniche differenti per tipologia e dimensioni. Il modulo aggregato consente la composizione di tipi edilizi in linea, a torre e a corte.

Oltre all'analisi e progettazione architettonica e strutturale, l'attività di ricerca, progettazione e sperimentazione del progetto P.R.I.M.E3 ha avuto per oggetto i seguenti sottosistemi (i primi tre affrontati dall'unità operativa del Politecnico):

- a) Ventilazione Naturale Controllata e Raffrescamento Passivo, in cui si è ideato e testato un sistema-parete a climatizzazione "naturale", tale da superare le barriere esistenti alla diffusione di sistemi passivi alternativi al condizionamento dell'aria;
- b) Coibentazione, in cui si sono utilizzati materiali isolanti di recupero da scarti industriali del ciclo tessile e dei pneumatici, con verifica di laboratorio e simulazione delle prestazioni termiche;
- c) Controllo Microclimatico e Monitoraggio, in cui si è analizza-

warming→air conditioning→electricity consumption→global warming. It is therefore important to search and develop solutions aimed at applying energy saving systems to new or existing buildings, with particular regards to electricity consumption, able to guarantee high level of comfort all year, and in different geo-climate contexts, by the use of passive and hybrid indoor climate control systems. Within this scope the experimental research project P.R.I.M.E3 was developed (2009-2013).

The experimental research P.R.I.M.E3
The P.R.I.M.E3 project (P.R.Ocedure for Innovative building Modules Energy Efficient and Eco-compatible) was co-funded by the Italian Ministry of Environment and Protection of Land and Sea within a call on Energy Efficiency in Urban Areas. It ended in December

2013 and was carried out by a consortium of professional and industrial partners with the scientific coordination of the Polytechnic University of Turin, Department of Architecture and Design, Unit of Architectural Technology, in collaboration with the Department of Energy.

Main objective was the design and testing – at prototype level – of building modular units, which can be combined vertically and horizontally and are characterised by high technological innovation on several aspects: structure, functions, management, energy, environment. P.R.I.M.E3 modules were designed for residential and office buildings as well as for emergency needs where reduction of construction & assembling time is a must.

The single module, with a gross floor area of 50 m², is composed of 3 sub-modules, each of dimensions fitting

to the state of the art and developed guidelines for the application of domestic environmental control systems;

d) Ciclo Acque, in cui si sono analizzati e verificati sistemi di raccolta e riutilizzo per usi compatibili dell'acqua piovana e di recupero termico delle acque grigie.

Il modulo edilizio è stato progettato per essere adattato alla variabilità delle condizioni climatiche del territorio italiano, assumendo, nelle simulazioni energetiche, tre località di riferimento: Torino, per l'Italia settentrionale; Roma, per le zone centrali; Messina, per il mezzogiorno. Le soluzioni adottate sono state studiate seguendo una progettazione volta alla prefabbricazione e alla serialità, portando allo sviluppo di prototipi, al fine di poter validare le scelte progettuali e procedere ad una successiva industrializzazione. La ricerca è stata condotta in un'ottica di progettazione integrata, capace cioè di integrare i diversi sottosistemi da cui è composto il modulo.

Obiettivi, fasi e metodologia I principali benefici ambientali attesi dallo sviluppo del progetto sono:

- diretti – abbattimento del 70% del fabbisogno energetico netto, a parità di uso e comfort, rispetto a strutture tradizionali analoghe e dell'80% delle emissioni di CO₂, riduzione nell'uso di materia prima per la produzione di materiali isolanti di sintesi;
- indiretti – ricadute sulle filiere del processo produttivo e del mercato edilizio/impiantistico, con particolare riferimento alla diffusione dei sistemi alternativi sperimentati di condizionamento dell'aria e all'impiego di materiali isolanti ricavati dal recupero e riciclaggio degli scarti industriali dei settori tessile e del pneumatico.

to truck transportation; their combination rule is such that allows for realising various functional types of building. In turn, single modules can be aggregated to get various types of multi-units structures such as terrace, tower, and courtyard buildings.

In addition to architectural and structural analyses and design, P.R.I.M.E3 research and testing activities dealt with the following technical systems (the first three of which studied by the Polytechnic University Unit): a) Controlled Natural Ventilation and Passive Cooling (CNV-PC), within which a "hybrid-natural" air conditioning wall system was conceived and tested as an alternative to HVAC conventional systems; b) Envelop Thermal Insulation, for which panels made of recycled materials from textile and tire industry scraps were used after lab testing of their thermal performance; c) Mi-

croclimate and Monitoring Control, for which state-of-the-art of domestic systems for environmental control in buildings and guidelines for their application to the P.R.I.M.E3 prototype were developed; d) Water Cycle, within which systems for collection, storage, and compatible reuse of storm water as well as systems for thermal recovery of waste water from showers and sinks were analysed and assessed.

The building module was designed to be fit to the variety of climate conditions of Italian land, assuming three reference locations for energy simulation: Turin, for Northern Italy; Rome, for the central zones; Messina, for the Southern zones. The selected solutions were studied on the basis of a design approach aimed at prefabrication and serial production processes, leading to the development of prototypes in order to assess the feasibility of their post-

Gli obiettivi della ricerca sono i seguenti:

- risultati della ricerca direttamente trasferibili all'edilizia residenziale, industriale e del terziario, sia nelle nuove costruzioni, sia nelle ristrutturazioni, utilizzando i sottosistemi sviluppati e le procedure di progettazione e realizzazione, anche combinati con tecnologie ambientali già presenti sul mercato.
- sviluppo e applicazione, in modo sistemico, standardizzato e controllato di: tecniche e tecnologie che sfruttano le caratteristiche microclimatiche (vento, gradiente termico) del luogo in cui l'edificio è localizzato, con la soluzione di problematiche aperte, quali il conflitto tra ventilazione naturale e dispersioni termiche nella stagione di riscaldamento e il trattamento dell'umidità; tecnologie di recupero del calore delle acque di scarico (con riutilizzo delle stesse); tecnologie di trasformazione di scarti industriali, altrimenti destinati allo smaltimento, in prodotti termo-fonoassorbenti per la coibentazione degli edifici; modelli di aggregazione di moduli edilizi, ad alta efficienza energetica e basse emissioni, per la realizzazione sostenibile di interventi di rinnovo delle aree urbane.

La ricerca si è sviluppata in tre anni e si è articolata in 12 fasi. Dal punto di vista dell'approccio metodologico, si è posto un particolare accento sugli aspetti di modellazione dei vari sottosistemi, mentre la parte di sviluppo a livello di prototipo ha caratterizzato principalmente i sottosistemi per i quali il tipo di sperimentazione, le conoscenze acquisite, l'efficacia dei risultati e l'innovazione tecnologica hanno consentito e stimolato una maggiore definizione di dettaglio e costruttiva. Di seguito si riporta una sintesi dei risultati per i sottosistemi di climatizzazione naturale e coibentazione.

Sottosistema di climatizzazione naturale

L'obiettivo della ricerca, per quanto concerne il sottosistema Ventilazione Naturale e Raffrescamento Passivo (VNRP), è stato quello di sviluppare soluzioni tecniche e progettuali adeguate a rispondere alle esigenze di comfort degli ambienti confinati nell'arco dell'intero anno, utilizzando le risorse climatiche e, quindi, il minimo di energia esogena da fonti non-rinnovabili (in particolare, energia elettrica) con conseguente riduzione delle emissioni di gas serra. La soluzione individuata è stata un sistema-parete denominato H-NAC (Hybrid-Natural Air Conditioning), in alternativa ai sistemi convenzionali HVAC (Heating Ventilation Air Conditioning), in grado di climatizzare l'aria esterna, fatta circolare attraverso la parete e portata nell'ambiente confinata con sistemi naturali (effetto camino), sia nei periodi di surriscaldamento ed elevata umidità relativa dell'aria, sia in quelli di sottoriscaldamento, quando la ventilazione naturale diretta non è applicabile poiché aumenta le dispersioni termiche e quindi il carico energetico. Il Sistema-parete H-NAC è composto dai seguenti sottosistemi, progettati e testati separatamente in laboratorio:

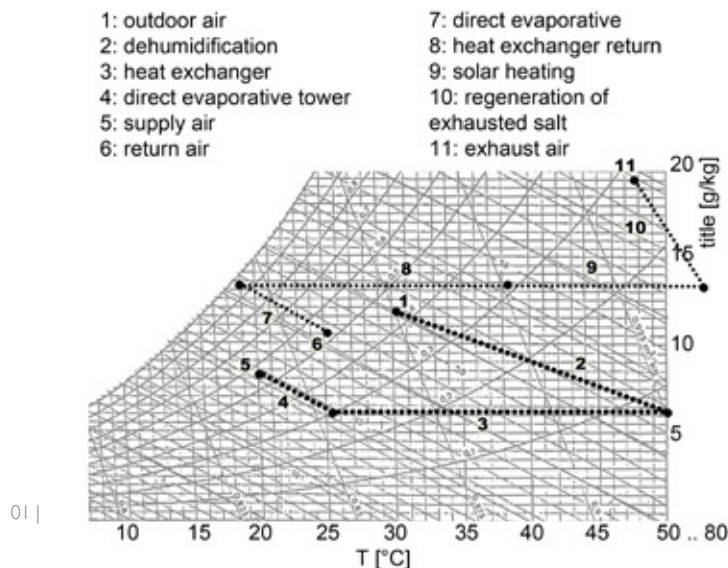
- elemento composto da celle ad adsorbimento per il controllo dell'umidità e il trasferimento del calore latente, denominato con l'acronimo *LHADT* (Latent Heat Adsorption Transfer);
- scambiatore di calore a bassissima pressione, denominato con l'acronimo *LoPHEX* (Low Pressure Heat Exchanger);
- sistema di raffrescamento evaporativo a deflusso naturale, denominato *Rain Shaft*.

Dal punto di vista termodinamico, il sistema-parete H-NAC è caratterizzato dai cicli rappresentati nel diagramma di Mollier (Fig. 1).

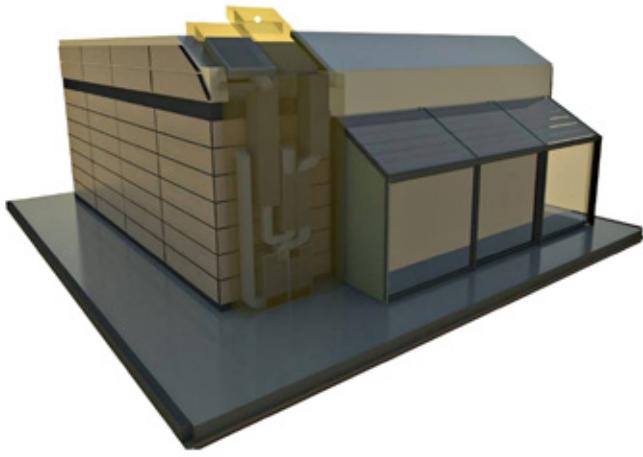
research industrialisation. Research activities were carried out within a framework of integrated design of the various subsystems composing the P.R.I.M.E3 module.

Objectives, phases, and methodology
The main expected environmental benefits from the P.R.I.M.E3 project are the following.

- direct benefits: 70% reduction of the yearly need of primary energy for indoor climate control of the tested building modules with respect to a benchmark using conventional HVAC systems for the same size, function, and comfort level; 80% reduction of relevant green gas emissions (CO₂-equivalent); reduction in the use of raw materials for production of chemical insulation panels through the use of alternative recycled products;
- indirect benefits: technological trans-



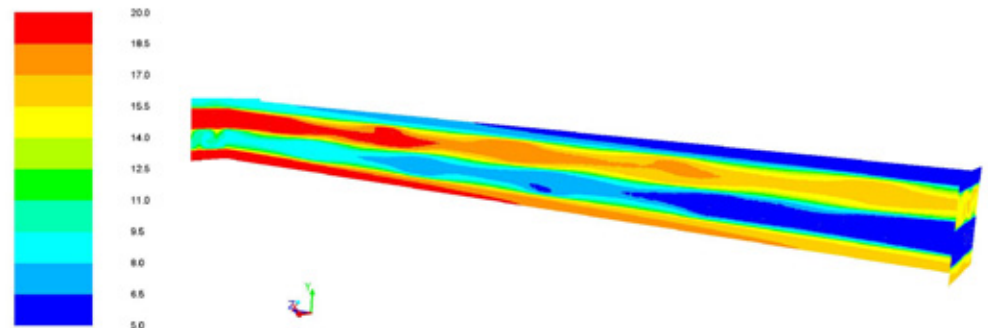
01 | Esempio di ciclo termodinamico-tipo nel sistema-parete H-NAC, rappresentato su un diagramma psicrometrico
Representation of a typical thermo-dynamic cycle inside an H-NAC wall on a psychrometric chart



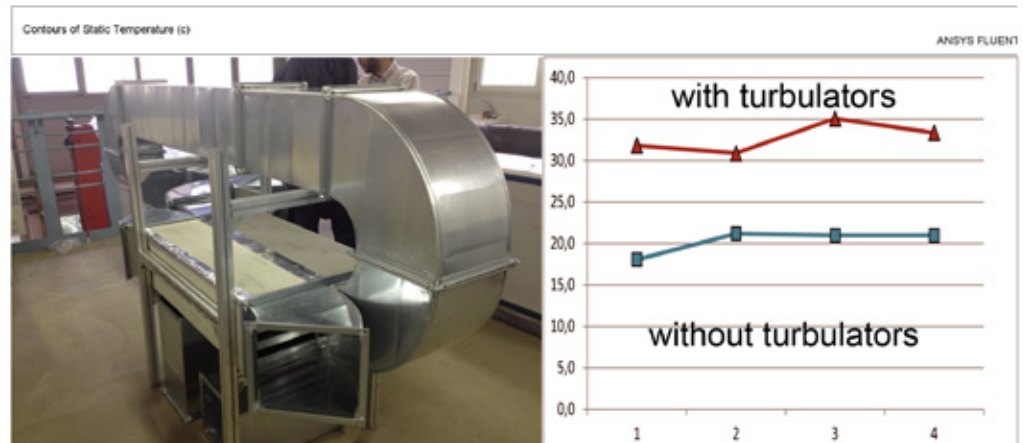
Il sistema-parete H-NAC è stato studiato spazialmente al fine di posizionare i sottocomponenti secondo una coerenza volta, sia a favorire il moto naturale dell'aria – in base alle forzanti naturali (principalmente gradiente termico e forze di galleggiamento) – sia a permettere l'integrazione architettonica del modulo, come mostrato in Fig. 2.

Per eseguire le prove e le misure sul prototipo di parete H-NAC, è stato progettato e realizzato un circuito ad-hoc, con attrezzatu-

re installate presso il Laboratorio Prove Materiali e Componenti "R. Mattone" del Dipartimento Architettura e Design del Politecnico di Torino. Parallelamente alle misure sul prototipo, si è operato con simulazioni delle prestazioni termiche dei componenti del sistema-parete H-NAC. Ad esempio, le simulazioni CFD effettuate sullo scambiatore *LoPHex* hanno consentito di valutare i valori dei diversi parametri termofisici e fluidodinamici in gioco – temperatura, velocità dell'aria, turbolenza, differenza di pressione – in rapporto alla variazione della distanza tra le piastre ricavandone, altresì, l'efficienza di scambio. Constatata la scarsa efficienza dello scambiatore, alle basse pressioni considerate, si è ipotizzata una configurazione con sistemi di incremento dello scambio (passivi) tramite "turbolatori" elicoidali. Tale configurazione ha dimostrato di essere efficace rispetto agli scambiatori convenzionali (Fig. 3).



03 | Il prototipo dello scambiatore *LoPHex* sviluppato per il sistema-parete H-NAC; simulazione CFD del flusso d'aria lungo un condotto con l'effetto dei turbolatori; grafico che mostra le differenze nell'efficienza della soluzione con e senza i turbolatori
The prototype of the LoPHex heat exchanger developed for the H-NAC wall; CFD simulation of the airflow along a duct with the effect of turbulators; a graph showing the difference in efficiency between the configuration with and without turbulators



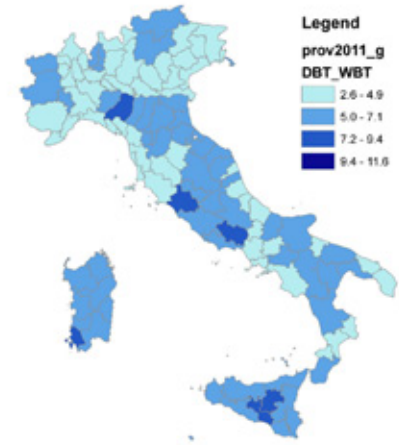
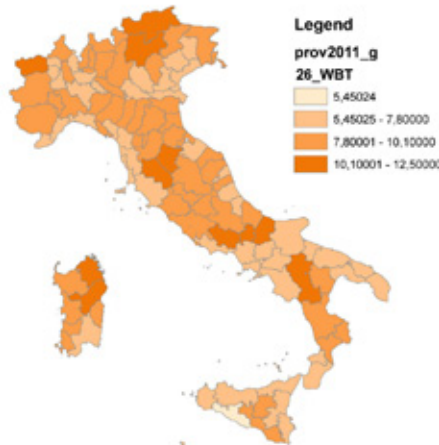
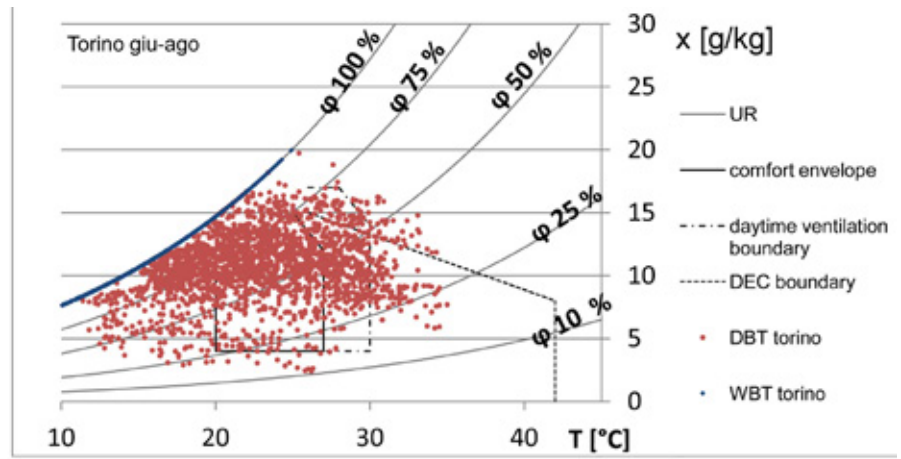
fer of research results to the production processes of building constructions and services, both for new and refurbishment projects, with particular attention to diffusion of HVAC alternative systems as well as to the application of recycled materials from textile and tire industries for thermal insulation. Specific objectives of PR.I.M.E3 project were the systemic, standardised, and verified development and applica-

tion of technologies aimed at controlling and managing, in energy efficient and eco-compatible way, the functions and processes of the building module related to the technical systems listed above, overcoming problems and barriers which hinder today their application and diffusion. In particular, some of the problems and evaluation actions which were dealt with are the following.

- conflict between natural ventilation and thermal losses in winter; increase in relative air humidity in summer.
- Management and cost of systems for collection, storage, and reuse of storm and grey waters in relation to varying geo-climate contexts.
- Assessment of potential thermal recovery of waste water from showers and sinks in relation of building use and climate zone.

- Assessment of thermal performance of insulation panels made of recycled materials from textile and tire industrial scraps.
- Assessment of aggregation potential of PR.I.M.E3 module for urban renewal sustainable projects.

Research activities were carried out in 12 phases during a period of three years. The methodology approach was



L'analisi e la sperimentazione riguardanti il componente di raffrescamento evaporativo (*Rain Shaft*) si sono sviluppate, oltre all'acquisizione di un *know-how* specifico, nelle fasi seguenti: studio delle prestazioni dei sistemi di raffrescamento evaporativo diretto, secondo un approccio parametrico, basato su campagne di monitoraggio e simulazioni (programma PHDC Air-Flow – Ford et al., 2010); integrazione del componente nel sistema H-NAC; analisi sull'applicabilità del sistema al territorio italiano.

Dalle analisi condotte si è evidenziato come il sistema permetta di raggiungere una temperatura di uscita vicina alla temperatura a bulbo umido (Fig. 4).

04 | La torretta evaporativa "rainshaft" costruita per il progetto; un'analisi psicrometrica delle temperature a bulbo umido e a bulbo secco di Torino; mappe di applicabilità del raffrescamento evaporativo diretto in Italia su base dei Capoluoghi di Provincia
The "rainshaft" evaporative tower developed for the project; a psychrometric analysis of WBT and DBT temperatures in Turin; Italian direct evaporative cooling suitability maps

based on modelling the above mentioned technical systems while the development of prototypes regarded primarily the systems for which testing type, acquired knowledge, and effectiveness of results and technological innovation induced the highest definition in terms of construction process and details. A synthesis of results for the technical systems which reached the prototype level follows.

"Natural-hybrid" air conditioning system

To respond to the objectives and expected results mentioned above, the prototype of a wall-system called H-NAC (Hybrid-Natural Air Conditioning) – as an alternative to HVAC systems – was conceived, developed and, partially, tested. It works by circulating air through natural driving forces (buoyancy effect) and having

it conditioned by means of "passive-induced" thermodynamic cycle rather than compression-expansion of gas. The H-NAC wall is composed of the following sub-systems, designed and tested separately in laboratory:

- latent Heat Adsorption Transfer (*LHAdT*) cells for controlling the specific air humidity content;
- low Pressure Heat Exchanger (*LoPHEX*), with crossing flows through ducts of rectangular section, to recover sensible heat of return air moved by stack-driven ventilation;
- passive Downdraught Evaporative Cooling (*PDEC*), called also *Rain Shaft*.

From a thermodynamic point of view, H-NAC wall functioning is represented by Mollier's diagram in Fig. 1. All sub-components of the H-NAC were analysed and designed consist-

ently to the need of favour natural circulation of air as well as to allow for architectural integration to the P.R.I.M.E.3 module, as shown in Fig. 2.

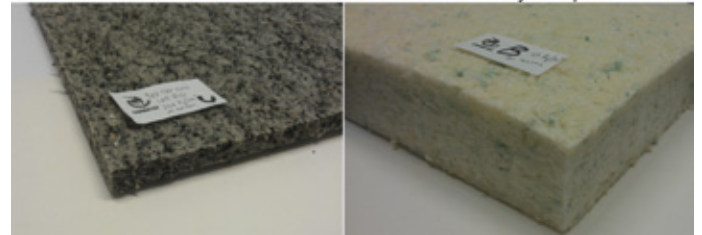
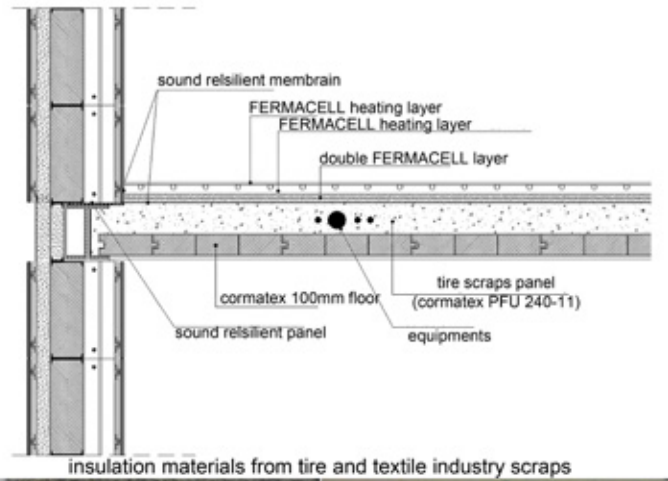
In order to test the H-NAC wall prototype an *ad-hoc* equipment was installed in the Laboratory for Testing Materials and Components "R. Mattone" of the Department of Architecture and Design, Polytechnic University of Turin. In parallel to the testing campaign, simulations of flows and thermal performance of the elements composing the H-NAC wall were carried out in order to obtain feedback checking of design parameters. As an example, results from CFD simulations on the *LoPHEX* component allowed for assessing the various involved parameters – temperature, air velocity, turbulence, pressure difference – as a function of the distance

between heat-exchange plates, hence, deriving the exchange efficiency. This was found to be very low at the considered low pressure differences; to increase the efficiency, helicoidally-shaped elements were inserted in the ducts to induce turbulence flow and, hence, enhance performance as shown in Fig. 3.

Analyses and tests on the *Rain Shaft* component were developed, in addition to specific knowledge from literature review, through the following phases: study of the performance of PDEC systems according to a parametric approach based on simulation and monitoring (using the tool PHDC Air-Flow – Ford et al., 2010); integration of the component to the H-NAC wall; assessment of the system applicability in the Italian territory. From the analyses carried out it emerged that

La ricerca sui sistemi di deumidificazione, basati su sali adsorbenti (silica gel e zeoliti), è ancora in corso. Le principali variabili in esame sono: il contenimento delle dimensioni del sottoelemento pur garantendo un'elevata superficie di scambio, al fine di mantenere tempi di ciclo superiori ai 2 minuti; l'ottimizzazione del sistema di rigenerazione solare dei sali; la riduzione delle perdite di carico interne al sottosistema; lo studio della migliore soluzione per la deposizione dei sali.

Coibentazione degli edifici Nel corso del progetto si sono studiati e testati pannelli per l'isolamento termo-acustico in edilizia, composti da materiali di scarto appositamente selezionati. Per la realizzazione di questi prodotti è stata impiegata una nuova tecnologia produttiva sviluppata da Cormatex, basata su un sistema aerodinamico appositamente progettato per l'utilizzo di miscele composte da materiale fibroso convenzionale (fibre vergini e/o rigenerate comunemente impiegate nella produzione di tessuto non tessuto) e materiali di scarto provenienti da vari processi industriali. Nel corso del progetto PR.I.M.E3, ci si è concentrati su due tipi di materiali: uno più massivo, ricavato da scarti di riciclo dei pneumatici; l'altro più leggero, da scarti di origine tessile. Si è quindi proceduto a testare in laboratorio campioni di entrambi i materiali, per ricavare misure di conduttanza termica e di permeabilità al vapore. In fase di progettazione esecutiva dei moduli PR.I.M.E3 si è proceduto ad utilizzare tali materiali secondo configurazioni stratigrafiche ottimizzate in base all'elemento tecnico di riferimento e alle prestazioni energetiche dell'intero modulo (Fig. 5).



05 | I materiali riciclati, prodotti da scarti industriali dei settori tessile e pneumatici, usati per la costruzione dei pannelli isolanti dei moduli PR.I.M.E3; esempio di stratigrafia di parete e solaio intermedio con l'inserimento dei materiali isolanti

The recycled insulation materials (from tire and textile industry scraps) used for the PR.I.M.E3 modules; an example of layers in wall and floor slab with the insulation materials

Si è quindi potuto ottenere un indice di energia primaria per la climatizzazione invernale in classe A+ per ognuna delle località in esame. I risparmi energetici potenziali ottenuti, rispetto ai limiti di legge, e la relativa riduzione di gas serra in termini di CO₂ equivalente, sono riportati nella tabella che segue.

Modulo	Località	Sup. Utile Pav. [m ²]	Δ Ep inv		Δ Ep estivo		Δ Ep tot			CO _{2-eq} evitata (*) [Kg/anno]
			[kWh/m ² anno]	%	[kWh/m ² anno]	%	[kWh/m ² anno]	[kWh/anno]	%	
singolo	Torino	49,3	133,45	88	4,29	14	137,74	6790,58	76	4189,79
	Roma		96,27	90	2,94	10	99,21	4891,05	73	3017,78
	Messina		67,80	95	6,10	15	73,90	3643,27	66	1154,92
aggregato	Torino	1154,40	105,47	94	21,66	72	127,13	146758,87	89	90550,22
	Roma		73,30	94	21,65	72	94,95	109610,28	88	67629,54
	Messina		51,47	98	28,28	71	79,75	92063,40	86	56803,12

(*) 0,617 Kg/kWh – Fonte: UNI EN 15603:2008 – Consumo energetico globale e definizione dei metodi di valutazione energetica, Annex E.

TAB. I | Risparmi energetici potenziali ottenuti, rispetto ai limiti di legge, e relativa riduzione di gas serra in termini di CO₂ equivalente, per il modulo singolo e quello aggregato
Primary yearly energy savings for heating and cooling of the PR.I.M.E3 modules and relevant reduction of green gasses emissions (calculated as avoided emission of CO₂-equivalent)

Conclusioni

Parallelemente ai risultati dei sottocomponenti qui riportati, è stata condotta una valutazione sulle prestazioni energetiche dinamiche di diverse configurazioni tecnico-progettuali del sistema a serra solare, identificando la migliore ipotesi per ogni località in esame e definendo un quadro di soluzioni da cui attingere per l'installazione in altre località. Inoltre, si è sviluppata un'attenta analisi del ciclo delle acque introducendo elementi per il risparmio, il recupero delle acque grigie e il recupero termico dalle acque di scarto di docce e lavabi.

I risultati ottenuti mostrano come il modulo dimostrativo PR.I.M.E3 risponda pienamente agli obiettivi preposti. La successiva fase di trasferimento tecnologico dei risultati prevede l'implementazione dei prototipi sperimentati, sia del modulo edilizio, sia dei sottosistemi tecnologici, a livello di processo d'industrializzazione.

the *Rain Shaft* system allow for reaching an outlet air temperature close to the wet-bulb temperature (Fig. 4).

A search of dehumidification techniques based on adsorbing salts, e.g., silica gel and zeolites, is being carried out. The main variables to be considered are: minimising the ratio of the dimension of a single sub-element to the exchange surface area in order to maintain charge-discharge cycles lower than 2 minutes; optimisation of the salts regeneration system by solar energy; reduction of internal pressure losses; study of the best solution for salts cladding.

Building Envelop Insulation

During the project, panels for thermal-acoustic insulation of the PR.I.M.E3 module were analysed and tested; they were selected amid sev-

eral products made using a process technology developed by the partner Cormatex. This is based on an aerodynamic system designed on purpose to treat fibre conventional material (virgin and/or regenerated fibres commonly used in the production of fabric non fabric) together with scrap materials from various industrial processes. The materials tested are of two types: a more massive one, made of recycled tire scraps; a lighter one from textile scraps. Samples of both materials were tested in laboratory to obtain thermal conductance and water vapour permeability. In the design development of PR.I.M.E3 modules, these materials were applied to the envelop and internal floor slabs according to their best fit in relation to both thermal and acoustic performance, depending not only on the parameters tested but also on their density (Fig.

REFERENCES

- ENEA (2013), *Rapporto sull'Efficienza Energetica 2011*, available at: <http://www.enea.it/it/produzione-scientifica/pdf-volumi/RAEE20132.pdf> (accessed 20 December 2013).
- Ford, B., Schiano-Phan, R. and Francis, E. (Eds.) (2010), *The architecture & engineering of Draught cooling. A design sourcebook*, PHDC press, UK.
- Chiesa, G., Grosso, M. and Simonetti, M. (2014), "A 3-field Earth-Heat-Exchange System for a School Building in Imola, Italy: monitoring results", *Renewable Energy*, Vol. 62, pp. 563–570, Elsevier, London.
- Grosso, M. (2011), *Il raffrescamento passivo degli edifici in zone a clima temperato*, Maggioli, Sant'Arcangelo di Romagna (RN).
- Grosso, M. (2013), "A ventilative cooling system in a School Building, Imola, Italy", in *International Workshop: Ventilative cooling – Need, Challenges and Solution Examples*, INIVE, AIVC, Bruxelles, 19-20 marzo.
- Grosso, M. (2013), "Advanced passive technology for water saving, sustainable food supply, and comfortable urban space", QF-ARC-D-13-01049, *Annual Research Conference 2013: "Qatar's Cross-cutting Research Grand Challenges"*, 23-25 novembre, Doha, Qatar.
- Grosso, M. and Chiesa, G. (2014), "NHAC-Wall System. Natural/Hybrid Air Conditioning modular system for nearly zero-energy buildings and retrofitting", Abstract submission for the 2014 AIVC-TIGHVENT Conference, September 24-25 2014 Poznan – Poland.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia tutto il partenariato del progetto PR.I.M.E3, So.Ri.Ser Srl, A.E.C.I. Srl, CORMATEX Srl, INGE.CO Srl e gli altri componenti dell'unità di ricerca del Politecnico di Torino, Ing. Marco Simonetti, Arch. Cristina Azzolino, Arch. Gabriele Piccablotto, Arch. Rossella Taraglio, nonché l'ing. Stefano Sola.

5). The primary energy consumption indexes for the modules, single and aggregated, were: classified in class A+ for heating; lower than standard limits for cooling. Results of primary energy savings and relevant reduction of green gases emissions, in terms of CO₂-equivalent, are shown in Table 1.

Conclusions

Parallel to the results on the technical systems above described, an assessment of the dynamic performance of a sunspace applied to the PR.I.M.E3 single module was carried out, leading to the development of design support guidelines based on a parametric approach to select the best glass components for the various envelop elements and locations. In addition, an analysis of the water cycle was performed to set a framework of performance index and design guidelines for water

saving technologies and thermal recovery of waste waters. Results from the research project show that the PR.I.M.E3 modules fulfil fully the indicated objectives. The succeeding phase of technological transfer foresees an implementation of the tested prototypes for both module and technical systems in order to proceed to their industrialisation process.

ACKNOWLEDGMENTS

Information and data included in the present paper come from the activities of all partners of PR.I.M.E3 project. In particular, the non-university partners – So.Ri.Ser Srl, A.E.C.I. Srl, CORMATEX Srl, INGE.CO Srl – and the collaborators of the Polytechnic University – DAD Unit: Ing. Marco Simonetti, Arch. Cristina Azzolino, Arch. Gabriele Piccablotto, Arch. Rossella Taraglio, Ing. Stefano Sola.