

Infrastrutture digitali nei componenti di involucro per la gestione degli edifici

*Original*

Infrastrutture digitali nei componenti di involucro per la gestione degli edifici / Giovanardi, M., Giusto, E., Pollo, R.. - ELETTRONICO. - Design in the Digital Age. Technology, Nature, Culture:(2020), pp. 243-248. (Design in the Digital Age. Technology, Nature, Culture Napoli (IT) 1-2.07.2021).

*Availability:*

This version is available at: 11583/2855034 since: 2020-12-07T16:10:36Z

*Publisher:*

Maggioli Editore

*Published*

DOI:

*Terms of use:*

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

*Publisher copyright*

(Article begins on next page)

Matteo Giovanardi<sup>1</sup>, Edoardo Giusto<sup>2</sup>, Riccardo Pollo<sup>3</sup>

## **Abstract**

*La rivoluzione digitale portata dall'IoT sta rapidamente mutando il modo in cui progettiamo, viviamo e gestiamo gli ambienti urbani. In questo contesto la componente immateriale legata al progetto architettonico assume una valenza nuova nell'uso consapevole delle risorse, nella tracciabilità dei processi e nella gestione sostenibile degli edifici. L'articolo presenta i primi risultati di una ricerca mirata allo sviluppo di tecnologie low-cost integrabili nei componenti edilizi di involucro. Si riporta l'esperienza condotta sull'utilizzo di sensori per il monitoraggio della qualità dell'aria.*

*Keywords: IoT, materia particolata (PM), sensori, serramenti*

---

<sup>1</sup> Matteo Giovanardi è dottorando presso il Dipartimento di Architettura e Design del Politecnico di Torino.

<sup>2</sup> Edoardo Giusto è dottorando presso il Dipartimento di Automatica e Informatica del Politecnico di Torino.

<sup>3</sup> Riccardo Pollo è professore associato presso il Dipartimento di Architettura e Design del Politecnico di Torino.

## Inquadramento

L'introduzione di tecnologie digitali nei processi di progettazione e gestione degli ambienti urbani sta progressivamente ridefinendo i confini di indagine del progetto architettonico. Fino ad oggi le innovazioni tecnologiche, di prodotto o di processo, che, hanno scandito le trasformazioni nella storia dell'architettura sono state associate principalmente alla sfera materiale dei componenti edilizi.

Oggi la trasformazione digitale, privilegiando i processi computazionali rispetto a quelli meccanicistici, pone un elemento nuovo e dirimpante nel dibattito architettonico in quanto porta i progettisti a confrontarsi con una realtà immateriale e non tettonica (Ratti, 2017). Secondo Mayer-Schönberger e Cukier, inoltre, l'innovazione digitale oggi non risiede nell'evoluzione delle macchine che elaborano dati ma nei dati stessi e nel modo in cui riusciamo ad estrapolarne informazioni, intese quali entità utilizzabili (Chiesa, 2015). In questo contesto l'integrazione di componenti digitali in elementi fisici e la capacità di elaborare successivamente i dati rilevabili in tempo reale possono consentire un controllo maggiore nell'uso consapevole delle risorse, nella tracciabilità dei processi e nella gestione sostenibile degli edifici.

Nel panorama tecnologico attuale l'*Internet of Things* (IoT), inteso come l'insieme delle tecnologie che permettono ad un apparato fisico di essere connesso e condividere informazioni in rete, si configura in ambito architettonico come un mezzo nuovo per incrementare la conoscenza e il controllo dell'ambiente costruito.

Tali dispositivi se applicati ai manufatti edilizi urbani possono aumentare le proprietà degli oggetti, sino ad ora "muti", fornendogli capacità di rilevazione, calcolo e archiviazione delle informazioni (Talamo, 2016).

La necessità di una conoscenza maggiore sui fenomeni di interazione tra uomo, edificio e ambiente può essere ricondotta ad un approccio al progetto connaturato alla tecnologia dell'architettura, quello esigenziale prestazionale (Paris, 2010). Tale visione porta, infatti, a concepire l'edificio come un sistema mirato a fornire un servizio i cui parametri di qualità devono essere controllati, misurati e gestiti in continuo, nel corso della vita utile del manufatto.

In un'ampia prospettiva, la mole di informazioni fornite quotidianamente dai nostri edifici può perfezionare il funzionamento di una macchina urbana in cui ogni componente, la singola costruzione o parte di essa, diviene un nodo modale in una rete urbana interrelata e connessa. Si articola in questo modo il ruolo dell'edificio all'interno della città in cui i dati da esso ricavabili divengono utili a mappare un sistema esistente, a rilevare dinamiche mai emerse o a vedere la realtà urbana e ambientale sotto una nuova prospettiva (Ratti, 2017).

### Il ruolo dei dati nella gestione degli edifici

Le stime delle maggiori società di consulenza tecnologica e finanziaria ipotizzavano già 5 anni fa un incremento sostanziale del numero di dispositivi IoT installati in ambiente urbano, passando da 4 a circa 25 miliardi di "cose connesse" entro il 2020 (Gartner<sup>1</sup>). Le cifre economiche che descrivono oggi il fenomeno digitale confermano queste visioni e individuano nei settori strettamente legati alla "smartizzazione" del costruito (smart

metering, building e city) i maggior investimenti nel prossimo futuro (Osservatori Digital Innovation<sup>2</sup>). Come viene testimoniato dal crescente numero di startup e imprese innovative operanti nella gestione e rielaborazione dei dati attraverso tecniche avanzate di analisi (Data Mining, Machine Learning, Intelligenza Artificiale), l'IoT si pone come uno strumento nuovo in grado di riscrivere le logiche del knowledge management.

Dalla tracciabilità del processo edilizio per mezzo di tecnologie Radio-Frequency Identification (RFID) all'ottimizzazione delle performance energetiche utilizzando sensori ambientali, le esperienze sviluppate negli anni hanno interessato temi disparati.

Arnesano et al. (2019) studiano l'integrazione di sensori per il controllo della radiazione solare incidente in moduli di facciata prefabbricati al fine di ridurre il consumo energetico per il raffrescamento estivo e l'illuminazione interna attraverso il controllo delle schermature solari. Lițiu et al. (2019) nel mappare le trasformazioni digitali nei processi di gestione degli edifici riportano l'esperienza della startup italiana *Enerbrain* quale esempio delle potenzialità ottenibili dall'IoT per l'efficientamento energetico degli edifici. I3P<sup>3</sup> ha incubato startup quali *SYSDEV*, oggi divenuta impresa, in grado di sfruttare estensimetri e trasmettitori wireless applicati ai componenti edilizi per monitorarne i parametri fisici (deformazioni, temperatura, inclinazione, eventi sismici) che influenzano il comportamento strutturale di edifici e infrastrutture. Un approccio differente ma analogo lo ritroviamo nei servizi offerti dallo studio *eFM engaging place*, basati sul monitoraggio del comportamento dell'utenza e non solo dei componenti e dei sistemi. In questo caso i sensori integrati negli ambienti di lavoro vengono utilizzati per descrivere le modalità di utilizzo degli spazi al fine di ottimizzarne l'impiego e il comfort interno.

Nella gestione dei processi edilizi le potenzialità generate dalla condivisione delle informazioni opportunamente rielaborate pongono una questione di scala. Se da un lato il monitoraggio dei fenomeni in tempo reale può condizionare il comportamento quotidiano dell'utenza dall'altro, ad una scala più ampia, esso può diventare un elemento di supporto alle decisioni dei soggetti pubblici e privati nel definire politiche e programmi di sviluppo. La natura immateriale dell'informazione si presta ad essere agevolmente scalabile dal livello dell'edificio, al quartiere alla città. La correlazione di tali informazioni con altri fenomeni fisici ed ambientali amplia le prospettive di gestione degli spazi.

Per altro verso, l'innovazione tecnologica in questo ambito ha portato negli anni a ridurre drasticamente il costo dei dispositivi di rilevamento consentendone un uso diffuso all'interno della città. Sono diversi i progetti europei che oggi studiano i benefici ottenibili da un monitoraggio low-cost distribuito sull'intero territorio. Velasco et al. (2016), riprendendo il progetto OSIRIS<sup>4</sup>, evidenziano i vantaggi di un monitoraggio urbano per il controllo della qualità dell'aria, dell'inquinamento delle acque e delle emissioni prodotte dalle industrie. DeSouza et al. (2017) sottolineano come tali strumenti possano servire a coinvolgere e sensibilizzare i cittadini su temi ambientali.

Tuttavia, le ricerche fin qui riportate concordano su una carenza di normative e standard che possano regolare l'acquisizione e la rielaborazione di dati a scala urbana riconoscendone il valore.

1 Gartner Inc., 2014. Predicts 2015: The Internet of Things. Gartner Inc. è una società per azioni che si occupa di consulenza strategica, ricerca e analisi nel campo della tecnologia dell'informazione

2 Osservatori Digital Innovation - Internet of Things. Politecnico di Milano [https://www.osservatori.net/it\\_it/osservatori/internet-of-things](https://www.osservatori.net/it_it/osservatori/internet-of-things)

3 I3P: Incubatore di imprese innovative del Politecnico di Torino.

4 Progetto CORDIS. OSIRIS. "Open architecture for Smart and Interoperable networks in Risk management based on In-situ Sensor", 2006-2009

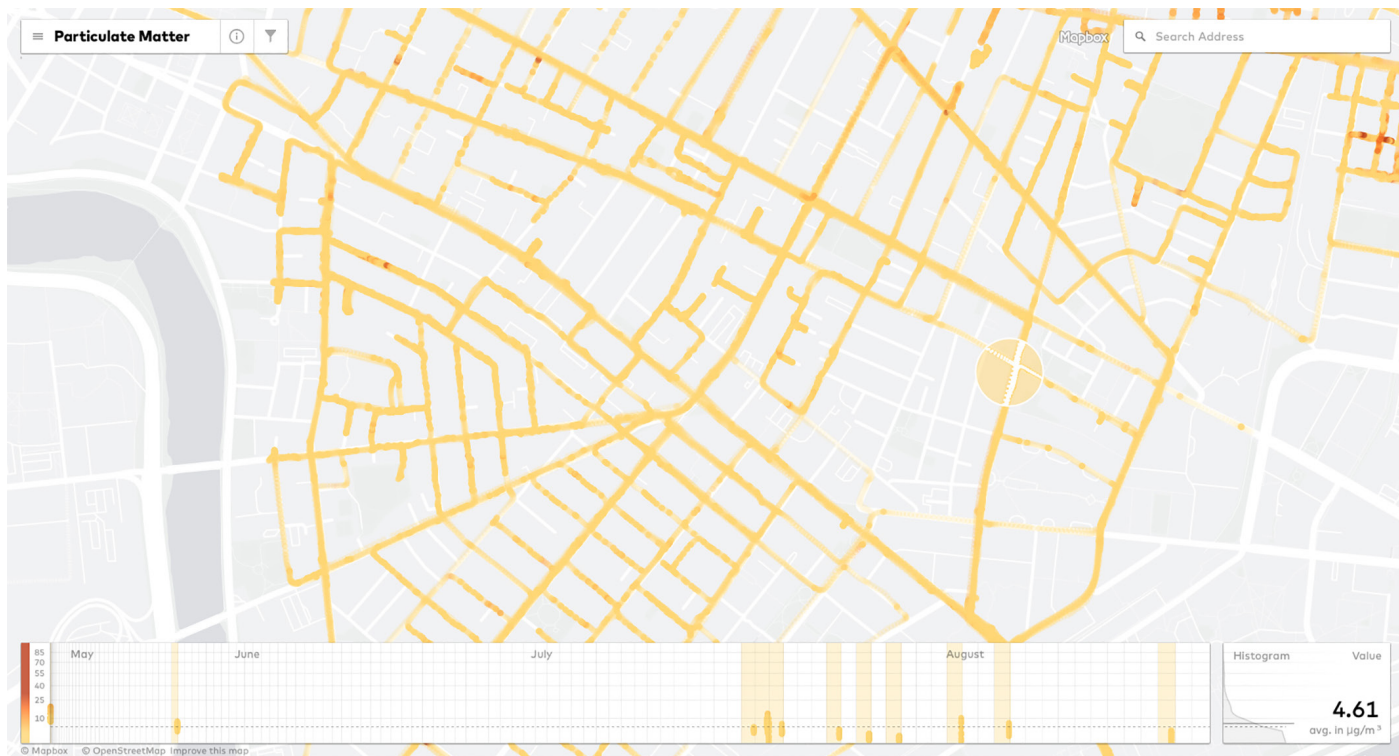


Fig. 1

## IoT, ambiente e aria

L'interazione tra uomo ed edificio coinvolge l'istanza ambientale attraverso la regolazione degli scambi energetici e ambientali tra spazi aperti e spazi confinati.

L'utilizzo di dispositivi IoT per il monitoraggio dell'ambiente consente di descrivere in modo quali-quantitativo fenomeni talvolta nascosti. Tali informazioni assumono una valenza maggiore se rivolte al monitoraggio di parametri che gravano direttamente sulla salute umana come la qualità dell'aria. Report ambientali e numerose ricerche scientifiche registrano oggi più di 7 milioni di decessi provocati dall'inquinamento atmosferico nel solo 2018 con un costo per l'economia mondiale pari a quasi 225 miliardi di dollari (IQAir<sup>5</sup>).

In questo contesto risulta fondamentale poter misurare in modo puntuale i fenomeni ambientali correlati. In Italia le città a partire dagli anni Settanta si sono attrezzate di stazioni di monitoraggio fisse affinando nel tempo le tecniche di misurazione e il grado di attendibilità del dato monitorato. Tale approccio tuttavia non consente di avere una rilevazione puntuale dei fenomeni all'interno della città, di un quartiere o di un singolo edificio e di correlare le emissioni nocive all'azione di fonti puntuali e dalla compresenza di fattori ambientali che si verificano in determinati luoghi e momenti temporali.

Per tale motivo istanze avanzate nella ricerca scientifica e tecnologica, stanno iniziando ad indagare le potenzialità di un monitoraggio della qualità dell'aria a scala urbana attraverso l'utilizzo diffuso delle tecnologie IoT. Diverse esperienze condotte nelle città di Londra, Barcellona, Boston, Nairobi e Torino propongono l'integrazione di sensori incorporati in differenti oggetti: biciclette, veicoli di car sharing, mezzi per la raccolta dei rifiuti, dispositivi indossabili o stazioni fisse. Costituisce un tema di indagine importante valutare quali oggetti si prestino maggiormente ad integrare tali dispositivi, in termini di fattibilità tecnico-economica, manutenzione, qualità del dato monitorato e capacità di distribuzione sul territorio.

Sulla scorta delle considerazioni fatte, la ricerca condotta indi-

vidua nei serramenti, l'"intelligenza dei muri" secondo una definizione di Matteoli e Peretti (1990), i componenti più adatti ad integrare sensori per la rilevazione dei parametri di qualità dell'aria. Le finestre sono, infatti, il filtro dei flussi di energia e di materia tra ambiente esterno ed interno. L'IoT si presta ad essere integrato in un componente edilizio già tecnologicamente avanzato, che già per sensori di sicurezza incorpora al suo interno predisposizioni per cablaggi. L'ipotesi di dotare i sistemi di facciata di dispositivi plug&play permetterebbe una vera e propria scansione dei centri urbani sia in pianta che in alzato. Inoltre, il serramento per le sue caratteristiche d'uso si presta ad essere soggetto a programmi di manutenzione, necessari alla gestione dei dispositivi, che possono essere condotti in sicurezza dall'interno degli edifici. Anche dal punto di vista economico l'integrazione di tali sensori non inciderebbe in modo sostanziale sul costo del serramento stesso. In questo contesto viene attualizzato il ruolo di filtro dell'elemento finestra e l'applicabilità di dispositivi IoT ai serramenti amplia le prospettive di utilizzo delle informazioni monitorate nei processi di controllo e regolazione degli impianti meccanici (riscaldamento, raffrescamento, ventilazione meccanica).

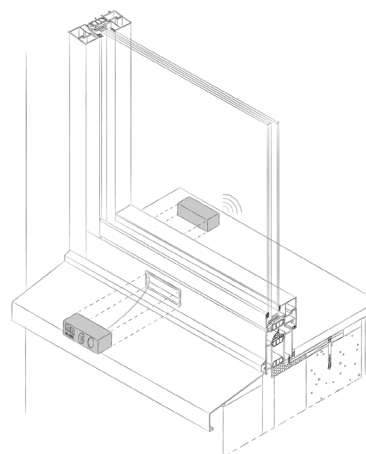


Fig. 2

## La sperimentazione

Il contributo riporta gli esiti di una sperimentazione effettuata presso la sede del Dipartimento di Architettura del Politecnico di Torino. Allo scopo di simulare la funzionalità di sensori incorporati nei serramenti per il monitoraggio della concentrazione di PM<sub>2,5</sub> e PM<sub>10</sub> è stato selezionato un ambiente nel quale fosse possibile installare un dispositivo, specificamente predisposto per essere collocato in aderenza alla finestra all'esterno e all'interno contenente i sensori e le schede per l'elaborazione dei dati. L'installazione è stata effettuata in un vano finestra posto al terzo piano fuori terra di un edificio collocato in ambito urbano, lontano da emissioni puntuali dovute alla presenza delle auto. Ad una distanza di circa 20 metri era presente il camino della centrale termica del complesso universitario. Il periodo di campionamento è durato 6 giorni, da martedì 11 febbraio 2020, alle ore 18:00 (UTC) a lunedì 17 febbraio 2020, alle ore 10:00 (UTC).

Il dispositivo, ancora in uno stadio prototipale, incorpora, oltre ai sensori elencati di seguito una scheda Raspberry Pi (RPi) single-board computer. Con l'obiettivo di limitare i costi in fase di prototipazione del sistema abbiamo optato per la versione Zero Wireless. Il dispositivo utilizza il sistema operativo Arch Linux ARM.

Il principio operativo del sistema si basa sul seguente processo: i dati campionati dai sensori sono raccolti da script Python e memorizzati all'interno della MicroSD card dello RPi. Per estrarre i dati per l'elaborazione si può procedere o allo spegnimento e all'estrazione della scheda, oppure tramite connessione tipo ssh se lo RPi si trova all'interno della stessa rete.

Le due piattaforme installate, una interna ed una esterna, sono dotate di 4 sensori di polveri sottili utilizzando la tecnologia Light Scattering, un sensore di temperatura, un sensore di umidità relativa e uno di pressione atmosferica. Le dimensioni dell'apparato (44 mm x 36 mm x 12 mm) sono tali da consentire agevolmente l'inserimento dello stesso all'interno del telaio fisso del serramento testato.

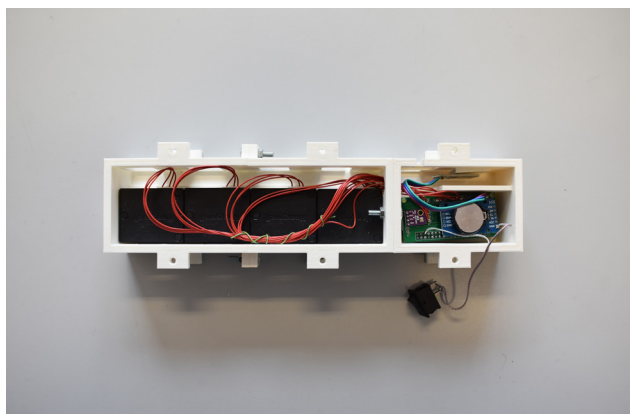


Fig 3

## Risultati

La sperimentazione condotta ha consentito di leggere in tempo reale le condizioni dell'ambiente esterno ed interno. Alla raccolta dei dati grezzi per mezzo dei sensori precedentemente presentati la ricerca ha imposto una rielaborazione di tali informazioni allineando i valori monitorati con cadenze temporali differenti. La scrematura di dati, troppo frequenti e non significativi ai fini della ricerca, ha portato ad una misura ogni 90 secondi, ottenuta mediando i valori rilevati nell'intervallo.

I risultati ottenuti, in accordo con l'accuratezza di un sensore low-cost, consentono di fare già una prima serie di considerazioni rispetto alle potenzialità del sistema.

Il grafico sottostante mostra l'andamento della concentrazione dei PM<sub>10</sub> esterni e la temperatura dell'aria. Dal grafico è possibile notare i bassi valori di polveri presenti nei primi giorni di misura riconducibili al forte vento.

Dallo stesso grafico si evince l'andamento delle temperature che scandisce l'arco della giornata, ripreso anche dal trend dei valori di PM<sub>10</sub>. (Fig. 4)

L'andamento riscontrato confermerebbe il fatto che le fonti principali di particolato in quelle determinate condizioni fossero direttamente influenzate dagli impianti di riscaldamento. Dalla comparazione tra valori interni ed esterni, riportato nei grafici seguenti, è intuibile come un incremento dei valori interni si verifici con fenomeni puntuali solo durante le giornate lavorative. Le due ipotesi ricorrenti potrebbero individuare nell'apertura delle finestre e nell'attivazione del ventilconvettore le principali cause del fenomeno. Questo si può intuire meglio indagando la temperatura interna rilevata. Una veloce riduzione della temperatura descrive il momento in cui si aprono le finestre in ufficio, in alternativa l'incremento delle polveri è riconducibile all'utilizzo del ventilconvettore. (Fig. 5)

Un'ulteriore considerazione può essere avanzata nel capire i vantaggi di un monitoraggio diffuso e orario. Rispetto ai dati medi giornalieri forniti da ARPA, su cui si basano le disposizioni in materia di limitazione del traffico stradale, è utile capire come si distribuiscano le concentrazioni nell'arco della giornata. (Fig. 6)

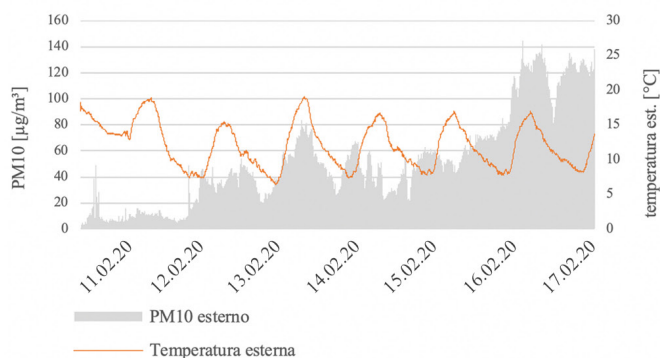
## Conclusioni e futuri sviluppi

Il contributo si è posto l'obiettivo di indagare le potenzialità connesse all'integrazione di tecnologie IoT nei componenti di involucro edilizio. La sperimentazione effettuata sul monitoraggio della concentrazione di PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub> in ambiente interno ed esterno mostra solo alcuni degli aspetti potenzialmente indagabili mediante tali applicazioni. L'utilizzo di tecnologie low-cost consente oggi di incrementare notevolmente la conoscenza degli spazi che abitiamo, l'attività di elaborazione dei dati consente di condividere le informazioni alle diverse scale, da una regolazione del sistema edificio-impianto, all'informazione dell'utenza fino ad arrivare a mappature urbane in grado di descrivere fenomeni puntuali.

La possibilità di disporre di numerosi punti di misura ci può consentire di valutare l'influenza di fattori locali, quali la disponibilità di verde, le ostruzioni presenti alla ventilazione e le attività presenti. La presenza sempre più massiva di tali dispositivi in ambito urbano, accompagnato necessariamente ad uno sviluppo normativo che regoli l'uso e il valore dei dati, consentirebbe una maggior efficacia nella gestione degli edifici in cui ogni processo può essere monitorato e calibrato al fine di ridurre drasticamente l'uso di risorse.

Il modulo semintegrato utilizzato per la sperimentazione si presta ad un ulteriore sviluppo in futuro mediante l'inserimento di ulteriori sensori (tag RFID, sensore di presenza interna, livello di illuminazione) nell'ottica di sviluppare un dispositivo digitale innovativo in grado di rispondere alle attuali esigenze di mercato. Gli stessi produttori e posatori di serramenti, in una logica nuova di sviluppo del prodotto, potrebbero predisporre i telai in modo da poter ospitare, qualora il cliente finale lo desideri, in modo rapido ed economico, il componente digitale. Superate le criticità che vedono l'integrazione di un sensore in un componente edilizio, la ricerca si concentrerà nello sviluppare la

### PM10 - temperatura esterna 11.02.2020-17.02.2020



### 13.02.2020

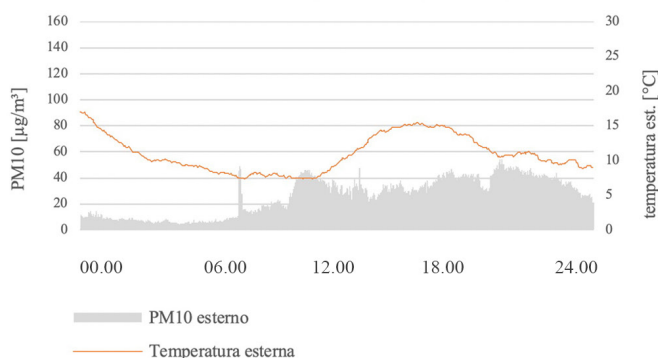
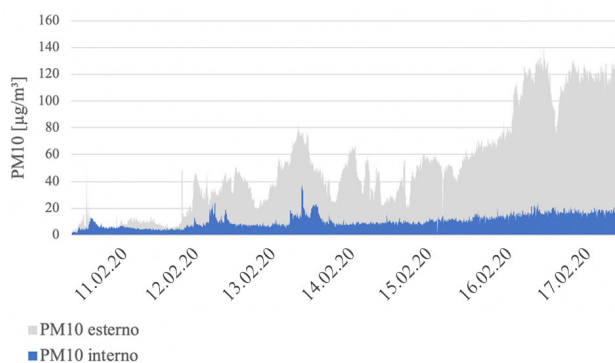


Fig. 4

### PM10 esterno - PM10 interno 11.02.2020-17.02.2020



### 12.02.2020

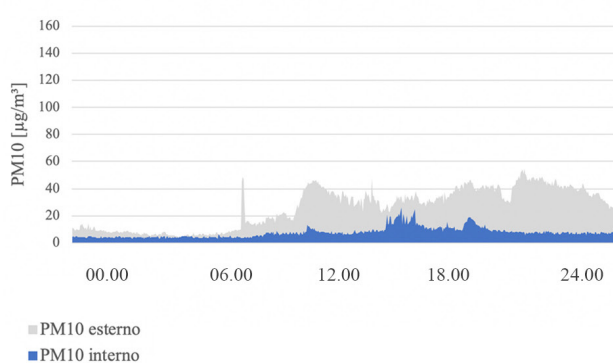


Fig. 5

### PM10 esterno 11.02.2020-17.02.2020

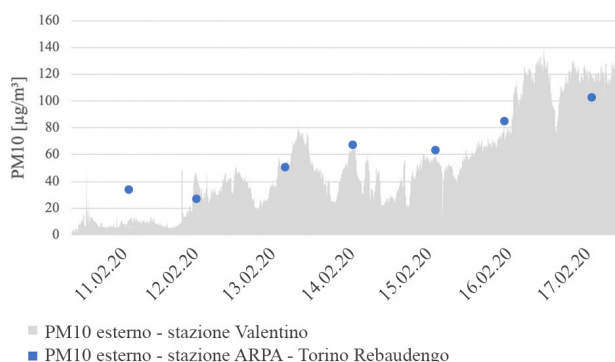


Fig. 6

struttura digitale utile ad archiviare i dati e mostrarli in rete tramite una semplice interfaccia grafica. Le informazioni rilevabili da un monitoraggio continuo delle prestazioni del serramento potranno, inoltre, aprire interessanti prospettive in termini economici, sul versante delle garanzie di qualità e assicurative legate al prodotto. La disponibilità dei dati e le possibili modalità del loro utilizzo da parte di soggetti pubblici o privati rafforza l'idea dell'edificio intelligente, inteso come hub di dati, in grado

di produrre valore.

#### Disclaimer

I dati sperimentali non hanno valore normativo poiché misurati con strumenti non calibrati ufficialmente. Il contributo, condiviso dagli autori, è stato curato da Giovanardi per i paragrafi 2, 3, Pollo 1, Giusto 4, Pollo e Giovanardi 5, 6.

## References

- Arnesano, M., Bueno, B., Pracucci, A., Magnani, S., Casadei, O., Revel, G.M., (2019), "Sensor and control solutions for Smart-IoT façades modules", conference paper of 2019 IEEE International Symposium on Measurements & Networking (M&N), Catania, Italia, Luglio 8-10, 2019.
- Chiesa, G. (2015), *Paradigmi, tecnologie ed ere digitali. Il dato come parametro di innovazione in architettura e urbanistica*, Academy University press, Torino, Italia.
- DeSouza, P., Nthusi, V., Klopp, J.M., Shaw, B.E., Ho, W.O., Saffel, J., Jones, R., Ratti, C., (2017), "A Nairobi experiments in using low cost air quality monitors", *Clean Air Journal*, Vol.27, n.2, 12-34
- EEA (2019), Air quality in Europe - 2019 Report, European Environment Agency, Copenhagen
- Lițiu, A. V.; Verbeke, S.; Hahn, J.; Stjelja, D.; Dooley, K.; Brelih-Wasowki, J.; Martinac, I.; Lavesson, N.; Gräslund, J.; Isaksson, P.O.; Hälleberg, D.; Carling, P., (2019), *Mapping digital transformation in building performance assessment and management – commercial activities for the operation phase*, Revista Română de Inginerie Civilă, Vol. 10 (2019), num. 3
- Matteoli, L., Peretti, G., (1990) *Finestre: l'intelligenza dei muri*, Scriptorium, Moncalieri, Italia
- Paris, S. (2010), "Innovazione tecnologica e qualità dell'architettura: i nuovi limiti", in Paris, S. (ed.), *Architettura e tecnologia. Lectures*, Quaderni di cartone, Designpress, Milano, Italia, pp. 21-31.
- Ratti, C., Claudel M., (2017), *La città di domani. Come le reti stanno cambiando il futuro urbano*, Einaudi, Torino, Italia
- Talamo, C., Atta, N., Martani, C., Paganin, G., (2016), "L'integrazione delle infrastrutture urbane fisiche e digitali: il ruolo dei "Big Data"", *TECHNE*, vol. 11, pp. 217-225.
- Velasco, A., Ferrero, R., Gandino, F., Montrucchio, B., Rebaudengo, M., (2016), "A Mobile and Low-Cost System for Environmental Monitoring: A Case Study", *Sensors* 16, May 5, 710-727

Fig. 1 - MIT – Senseable City Lab. CityScanner. Piattaforma online che raccoglie i dati monitorati sull'intero territorio analizzato. (Disponibile al sito: <http://senseable.mit.edu/cityscanner/app>)

Fig. 2 - Ipotesi di posizionamento dei sensori semintegrati nei serramenti.

Fig. 3 - Dispositivo contenente i sensori di temperatura, pressione, umidità, polveri sottili e la scheda Raspberry utilizzati nella sperimentazione.

Fig. 4 - PM10 e temperatura esterna nel periodo analizzato e nella giornata di venerdì 13 febbraio 2020 (Castello del Valentino, Torino).

Fig. 5 - PM10 interno ed esterno nel periodo analizzato e nella giornata di giovedì 12 febbraio (Castello del Valentino, Torino).

Fig. 6 PM10 valori tramite la sperimentazione e dati ARPA disponibili al sito [http://www.sistemapiemonte.it/ambiente/srqa/consultadati\\_giorno](http://www.sistemapiemonte.it/ambiente/srqa/consultadati_giorno).