

Criteri e metodi per l'adeguamento prestazionale del patrimonio architettonico degli anni trenta del Novecento.

La Facoltà di Ingegneria di Bologna.

Criteria and methods for the performance adaptation of the 1930s architectural heritage. The Faculty of Engineering of Bologna.

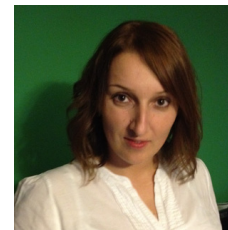
La riflessione su criteri e metodi idonei per il recupero del patrimonio architettonico esistente richiede di incentrare la tematica su azioni che sappiano coniugare l'istanza storica ed estetica con quella dell'innovazione tecnologica; il presente contributo intende mostrare come l'integrazione di componenti impiantistici ed edilizi, unitamente all'adozione di sistemi domotici di controllo e gestione del comfort interno, possa favorire l'adeguamento agli standard attuali pur preservando i caratteri originari.

The analysis on criteria and methods suitable for the restoration of the existing architectural heritage requires to focus on actions combining the historical and aesthetic instance with the technological innovation; this paper will show how the integration of system and construction components, together with the adoption of automation systems for control and management of interior comfort, can facilitate the adaptation to the current standards, while preserving the original characters of the building.



Riccardo Gulli

Professore Straordinario di Architettura Tecnica presso l'Università di Bologna. I primari indirizzi di interesse riguardano i settori delle tecniche costruttive storiche, del recupero e della riqualificazione del patrimonio costruito. È Responsabile del Centro Studi LabTeco dell'Università di Bologna e, dal 2010, è Referente Scientifico dell'Unità Operativa Recupero e Restauro del CIRI Edilizia e Costruzioni.



Giorgia Predari

Ingegnere, dottore di ricerca in Ingegneria Edile-Architettura, svolge la propria attività di ricerca nel settore dell'Architettura Tecnica presso il Dipartimento di Architettura dell'Università di Bologna, occupandosi in particolare di storia della costruzione e di conservazione del patrimonio storico.



Luca Boiardi

Svolge attività di ricerca presso l'Università degli Studi di Bologna dal 2002; attualmente è ricercatore C.I.R.I. presso la Facoltà di Ingegneria. I principali temi di ricerca riguardano lo studio di edifici storici premoderni e moderni, in particolare sotto il profilo della vulnerabilità sismica e della riqualificazione energetica.

Parole chiave: storia della costruzione; restauro del moderno; riqualificazione energetica; sistemi intelligenti

Keywords: construction history; restoration of 1930s architectural heritage; retrofitting; smart systems

BREVI NOTE SULLE VICENDE DEL PROGETTO E DELLA COSTRUZIONE

Lontana dai poli del dibattito internazionale sulla nuova architettura e forte della presenza di una linea di insegnamenti accademici radicati, in cui l'apprendimento tecnico veniva anteposto al rinnovamento formale del costruito, Bologna vede comparire il modernismo un po' in sordina, con opere che timidamente vanno ad inserirsi in contesti storici consolidati, espressione della cultura locale che continua ad incentrare l'architettura sulla tradizione costruttiva.

Ma negli anni '30, quando anche in una città ancora periferica come Bologna, la modernità diviene il "*linguaggio ufficiale dello Stato*"¹, opere eccezionali ne modificano defini-

tivamente la configurazione urbana: mentre la modernizzazione ridefinisce il disegno dell'antico nucleo storico² sull'onda del risanamento dei quartieri centrali più degradati, il decentramento verso i nuovi complessi residenziali delle prime periferie definisce nuove porzioni di città³. L'avvento della nuova architettura è segnato dall'edificazione della nuova sede della Facoltà di Ingegneria, esempio emblematico dell'attività progettuale di Giuseppe Vaccaro, che coniuga l'arte compositiva ed il sapere tecnologico dell'architetto bolognese. Tale edificio rappresenta un punto di svolta non solo nella prassi costruttiva ed architettonica locale, ma anche nella produzione vaccariana: grazie ad esso, l'architetto, dopo

l'esperienza romana con Piacentini e le prime opere bolognesi ancorate alla tradizione costruttiva locale⁴, a partire dai primi anni '30 inizia a generare il proprio approccio funzionalista all'architettura.

Progettato pressoché contestualmente al Palazzo delle Poste di Napoli ed alla Colonia Agip di Cesenatico, si può riconoscere come l'iter progettuale delle tre opere sia pressoché analogo: analizzando le fasi di trasformazione delle facciate⁵, è evidente il passaggio da versioni inizialmente tradizionali a soluzioni finali ben più moderne, contraddistinte da una decisa semplificazione dell'apparato decorativo; la modificazione è certamente frutto del mutamento del clima culturale in atto, che

Vaccaro traduce nella sintesi tra costruzione ed architettura, quale espressione propria del "moderno italiano".

Lunghe vicende hanno interessato la progettazione della sede della Facoltà di Ingegneria; l'avvio, a Bologna, di una formazione tecnico-professionale di alto livello è identificabile con l'istituzione, nel 1875, della Scuola d'Applicazione per gli Ingegneri, attiva fino all'entrata in vigore delle Facoltà⁶. Questa aveva trovato collocazione all'interno del centro storico, nell'ex convento dei Celestini, opportunamente riadattato per accogliere i nuovi locali da destinare alla didattica; ma già una trentina di anni più tardi, nel 1908, il continuo incremento

di studenti, richiedeva di ingrandirne la sede: all'anno successivo risale il primo progetto di ampliamento, tramite l'acquisizione della proprietà adiacente, rimasto però sulla carta e seguito da un secondo tentativo nel 1914. Il primo conflitto mondiale blocca qualsiasi iniziativa, fino al 1920, quando Attilio Muggia, docente di Architettura Tecnica della Scuola, espone il proprio progetto per il trasferimento in un edificio esistente di dimensioni tali da poter accogliere, oltre alla Scuola d'Applicazione per gli Ingegneri, anche la Scuola di Chimica Industriale: si tratta dell'ex area del Pirotecnico, collocata nella zona sud di Bologna, subito fuori dalle mura, in prossimità di Porta d'Azeglio.

La limitazione dell'area disponibile vanifica anche questo progetto, seguito nel 1926 da una nuova ipotesi di localizzazione della sede nell'area di piazza XX settembre, quindi nuovamente all'interno del centro storico ed in prossimità della stazione ferroviaria, finalmente in un edificio progettato ex-novo per tale funzione.

L'area risulta però non disponibile, e si susseguono altre proposte, tra cui un sito fuori Porta Castiglione, che viene ceduto dal Comune nel 1929; la progettazione complessiva viene affidata ad una sezione distaccata dell'Ufficio del Genio Civile, mentre, durante l'anno successivo, Giuseppe Vaccaro, già allievo del Professor Muggia, viene incaricato, su sua stessa



Fig. 1 – Il fronte nord (Archivio Storico della Regione Emilia Romagna).

richiesta, della consulenza architettonica⁷. Ma l'area ha dimensioni troppo ridotte per consentire l'intero trasferimento della Scuola e risulta difficile prevedere futuri ampliamenti, così anche questa opzione viene abbandonata, a favore di una nuova collocazione, fuori Porta Saragozza, che diventerà, finalmente, quella definitiva. Dall'inizio dell'edificazione, nel dicembre del 1933 e la successiva inaugurazione del 28 ottobre 1935, la Facoltà si erge ai piedi del colle dell'Osservanza, nel verde parco dell'ex Villa Cassarini, da cui si può godere, verso nord, dell'intero panorama della città; l'edificio copre circa 6100 mq, con uno sviluppo in parte su 3 e in parte su 4 piani.

Differenti varianti progettuali testimoniano le difficoltà dell'inserimento del nuovo fabbricato in un contesto densamente interessato da vegetazione e preesistenze da preservare, ma in tutte possiamo riconoscere la medesima organizzazione a pettine, già presente a partire dalle proposte degli anni '20 e definitivamente adottata nella configurazione finale quale miglior soluzione al problema dell'articolazione e della distribuzione interna per un edificio a destinazione scolastica.

A tutt'oggi, sulla base della documentazione di carattere amministrativo disponibile e degli elaborati grafici, che non risultano firmati, il coinvolgimento di Vaccaro è quindi accertato soltanto per quanto riguarda il conferimento delle forme architettoniche all'edificio, essendo incaricati complessivamente del progetto

l'Ufficio Tecnico del Consorzio per gli Edifici Universitari, per l'organizzazione interna, e l'impresa Giuseppe Grazzini & Figli, per la risoluzione strutturale. Nessun documento rimane ad esplicitare il contributo dell'architetto in merito alla scelta della distribuzione planimetrica e delle soluzioni tecnico-costruttive. Ma una conferma della sua collaborazione anche in merito alla definizione dello schema funzionale ci giunge dal fatto che l'edificio della Facoltà di Ingegneria venga da lui assunto quale caso esemplare nell'ambito dell'illustrazione di una procedura di rappresentazione dell'articolazione progettuale secondo un approccio di carattere funzionalista. Negli anni in cui Vaccaro si dedica alla progettazione delle sue tre principali opere databili agli anni '30⁸, viene infatti data alle stampe una sua memoria incentrata su un nuovo metodo di studio volto a "*fissare in una forma sintetica*"⁹, la complessità e le singolarità delle esigenze dell'organismo edilizio. I diagrammi funzionali¹⁰ proposti da Vaccaro mirano quindi a semplificare ai progettisti lo studio della distribuzione interna degli edifici, alla dislocazione degli ambienti e ad una stima degli spazi necessari, evitando che sia la "*sintesi estetica a priori (...) a mutilare l'integrità funzionale della fabbrica; né la continua preoccupazione del rintracciamento dei «parametri» di questa indispensabile funzionalità, a compromettere quell'unità e freschezza della creazione architettonica*"¹¹. Occupandosi delle Scuole di Inge-



Fig. 2 – Il fronte ovest (Archivio Storico della Regione Emilia Romagna).

gneria, l'esempio dettagliatamente fornito è "il progetto che abbiamo compilato recentemente per la nuova sede della Scuola d'Ingegneria di Bologna", di cui vengono forniti lo schema distributivo e le piante, a firma dell'architetto Giuseppe Vaccaro e dell'ingegner Gustavo Rizzoli, direttore dei lavori, in cui la dislocazione degli ambienti diviene un aspetto fondamentale del progetto.

Lo schema distributivo era incentrato su un complesso articolato in più blocchi, con una zona di rappresentanza in prossimità del prospetto principale, un corpo di collegamento su cui affacciavano i laboratori e le aule di disegno, ed i bracci a pettine, ove erano collocati gli Istituti. Ciascun braccio ospitava una materia di insegnamento, dotata della propria aula, degli studi dei docenti e dei laboratori annessi, tutti collocati al piano terra e collegati tramite scale interne agli Istituti di pertinenza. Gli insegnamenti senza laboratori si trovavano ai piani più alti, al secondo ed al terzo, non necessitando di un accesso diretto al piano terra. Ciascuna disciplina era quindi pressoché indipendente dalle altre, grazie alla particolare e funzionale conformazione planimetrica attribuita all'edificio.

Il collegamento tra i blocchi era garantito, a tutti i livelli, da un lungo e rettilineo corridoio centrale, il quale aveva anche la funzione di servire le ampie aule di disegno, una per ciascun corso e per ciascun piano; l'orientamento a nord est conferiva a questi ambienti una

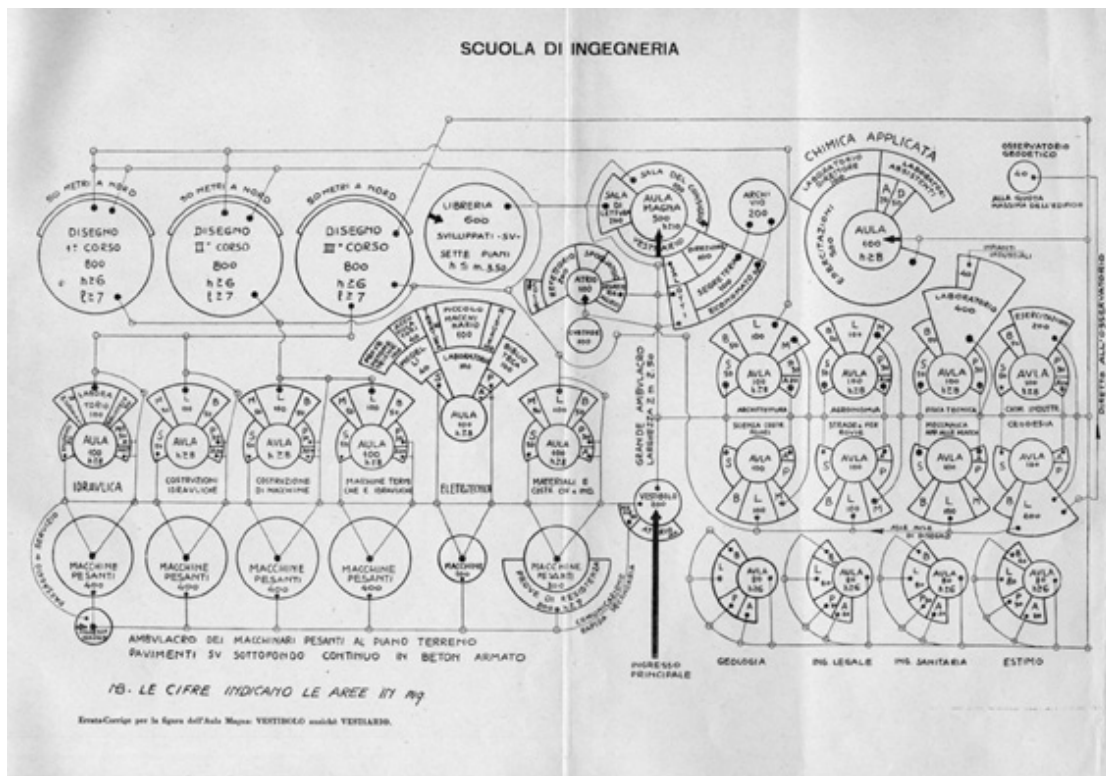


Fig. 3 – Schema distributivo della Facoltà di Ingegneria (Vaccaro, 1933).

ARCH. GIUSEPPE VACCARO E ING. GUSTAVO RIZZOLI.

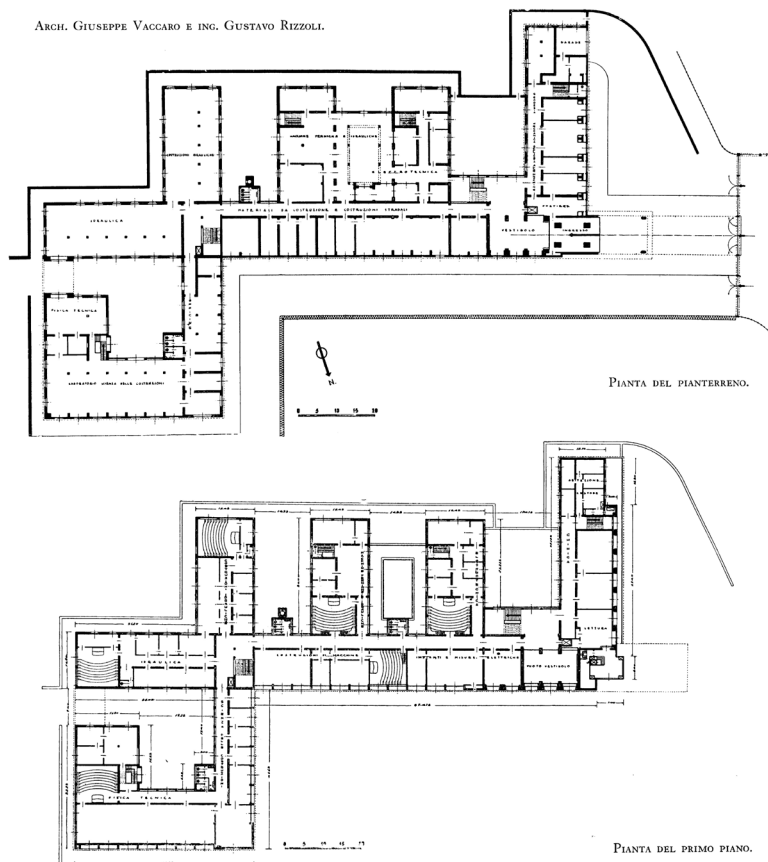


Fig. 4 – Pianta del piano terra e del piano primo (Vaccaro, 1936)

L'EDIFICIO DELLA FACOLTÀ DI INGEGNERIA DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA.

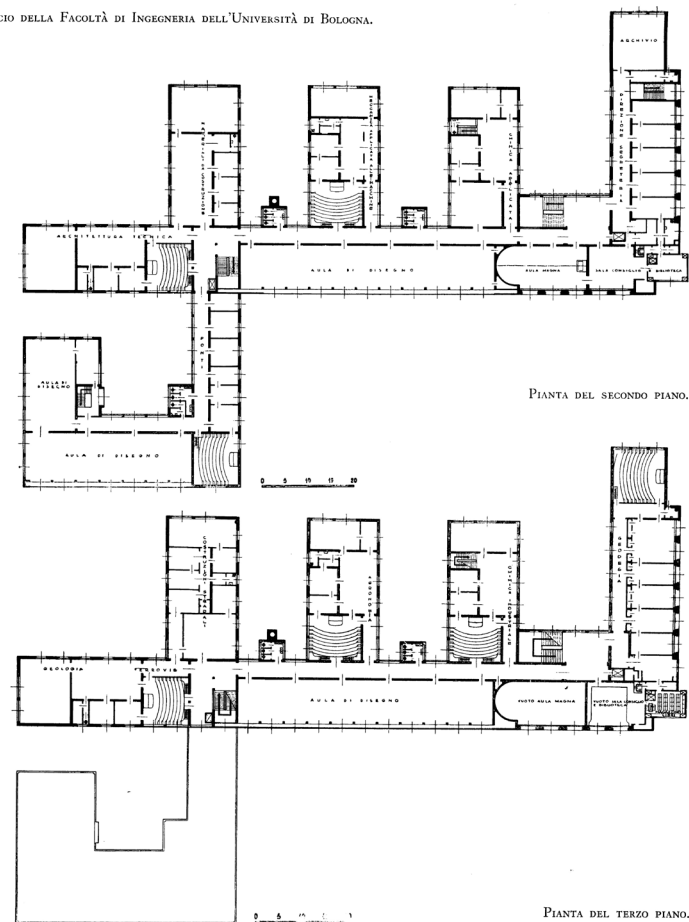


Fig. 5 – Pianta del piano secondo e del piano terzo (Vaccaro, 1936)

insolazione ridotta ed una illuminazione non eccessivamente invasiva. Per ottimizzare l'apporto di aerazione ed il benessere degli allievi, le aule erano dotate di particolari sistemi di infissi che, nelle stagioni più miti, consentivano loro di dedicarsi all'apprendimento in una sorta di veranda aperta sull'adiacente parco. Un impianto di riscaldamento era già previsto in fase di progettazione dell'edificio, tramite aerotermini collocati all'interno di una canalizzazione posta alla quota del soffitto, nello spazio corrispondente all'aggetto della facciata rispetto alle pilastrate.

Sul fronte ovest era collocato l'ingresso principale dell'edificio, dotato di un'ampia pensilina a copertura dell'accesso realizzata con struttura interamente in cemento armato, rivestita in marmo rosa di Verona e lamine metalliche "similoro". In prossimità dell'accesso, attraverso il vestibolo a doppio volume, si giungeva ai locali a carattere amministrativo e di rappresentanza, quali la direzione e la segreteria; lo scalone principale, riccamente rivestito in marmo, con corrimano in ottone, conduceva all'Aula Magna ed alla Sala del Consiglio dei docenti, la quale coincideva con la sala di lettura dell'adiacente biblioteca. Questa era dotata di un ricchissimo archivio, il quale, già dalla sua progettazione, aveva sede nella torre alta 45 metri che sovrasta l'ingresso principale, simbolo figurativo direttamente riconducibile alla tradizione costruttiva bolognese, la cui sommità era utilizzata come osservatorio

geodetico. Aerazione ed illuminazione erano state particolarmente curate anche per il volume della torre: finestrate a nastro verso nord e piccole aperture a sud garantivano una circolazione dell'aria, evitando però l'insolazione diretta dei materiali conservati. Interamente vetrata era la parete ad est che, grazie ad una soluzione di facciata interamente trattata a vetro-mattone, consentiva l'illuminazione diretta del profondo vano scala a servizio esclusivo della torre.

L'entrata sull'attuale via Vallescura, costituiva un ingresso di servizio, ad accesso diretto ai laboratori; funzione di servizio aveva anche il vano scala secondario, posto nell'intersezione tra i due lunghi corridoi di distribuzione, come evidente dal differente trattamento di finitura ad esso riservato.

CARATTERI TIPOLOGICO-COSTRUTTIVI

Lo studio della commistione fra tradizione e modernità che caratterizza gli aspetti tecnico-costruttivi ed architettonici dell'edificio della Facoltà affonda le radici nella ricerca archivistica, svolta presso i differenti Archivi che oggi ne conservano il materiale¹². Al di là del lungo iter che ne ha contraddistinto le prime fasi di definizione progettuale, già delineate nel paragrafo precedente, l'analisi della documentazione reperita ha consentito di individuarne con precisione la strutturazione e le soluzioni tecnologiche, con una finalità non solo di conoscenza della prassi realizzativa locale negli

anni '30, ma anche nell'ottica di un recupero consapevole dell'edificio. L'ossatura, suddivisa in quattro blocchi tramite giunti di dilatazione, è interamente realizzata a telaio in cemento armato, ad interassi molto regolari, generalmente pari a 5m, mentre le chiusure verticali sono costituite da pareti doppie in laterizio pieno, ancora del modulo bolognese¹³, contraddistinte da due superfici murarie, di differente spessore in relazione alla loro collocazione, e separate da una intercapedine d'aria. L'intelaiatura era completata da quattro differenti tipologie di solai latero-cementizi, due delle quali riconducibili alle più moderne soluzioni di orizzontamenti a camera d'aria, ossia di solai costituiti dall'assemblaggio di blocchi laterizi appositamente conformati per coprire grandi luci e sopportare carichi molto elevati: si tratta dei solai Stimip, della ditta RDB, e dei solai Bidelta, prodotti dalla ditta Frazzi di Cremona¹⁴.

Il riconoscimento della particolare soluzione costruttiva adottata per la struttura verticale ci consente oggi di ricondurre l'opera all'approccio tipico riservato in Italia alla costruzione moderna¹⁵, in cui la tecnica innovativa del cemento armato rimane celata dal paramento esterno, che nasconde la struttura portante: il sistema intelaiato consente libertà di fruizione degli spazi interni, ma viene mantenuto il carattere proprio della costruzione muraria. La decisa adesione al linguaggio moderno, per quanto attiene alla risoluzione formale delle

facciate, non esula da richiami al classicismo ed alla tradizione costruttiva locale. Del resto, per sua stessa ammissione, Vaccaro, già dal suo primario coinvolgimento, ricercava per l'edificio "forme di semplice e severa modernità, che si ricollegassero tuttavia sia per l'uso dei materiali che per il carattere delle proporzioni, allo spirito della tradizione architettonica bolognese"¹⁶, a cui possiamo ricondurre il trattamento dei basamenti a faccia vista e la presenza della torre.

Dagli elaborati progettuali a disposizione, sembra che l'architetto avesse già una visione molto chiara in merito alle soluzioni tecniche da impiegare nell'edificio, nonostante la progettazione strutturale fosse competenza dell'impresa Giuseppe Grazzini & Figli, a partire dal 1932: nelle sezioni ritrovate tra il materiale archivistico, sono infatti già chiaramente individuate le soluzioni adottate per i pacchetti murari e per le strutture portanti, tanto che l'edificio è chiaramente individuato non solo dal punto di vista planimetrico e dei prospetti, ma anche dal punto di vista costruttivo. Per questo ci piace pensare ad una attività coordinata di Vaccaro e dell'impresa Grazzini che, occupandosi delle decisioni di carattere strutturale, traduceva in opera le volontà dell'architetto bolognese, esplorando soluzioni statiche complesse ed innovative, quale strumento dell'espressione architettonica e mezzo per creare richiami di modernità. L'edificio era dotato delle più avanzate do-

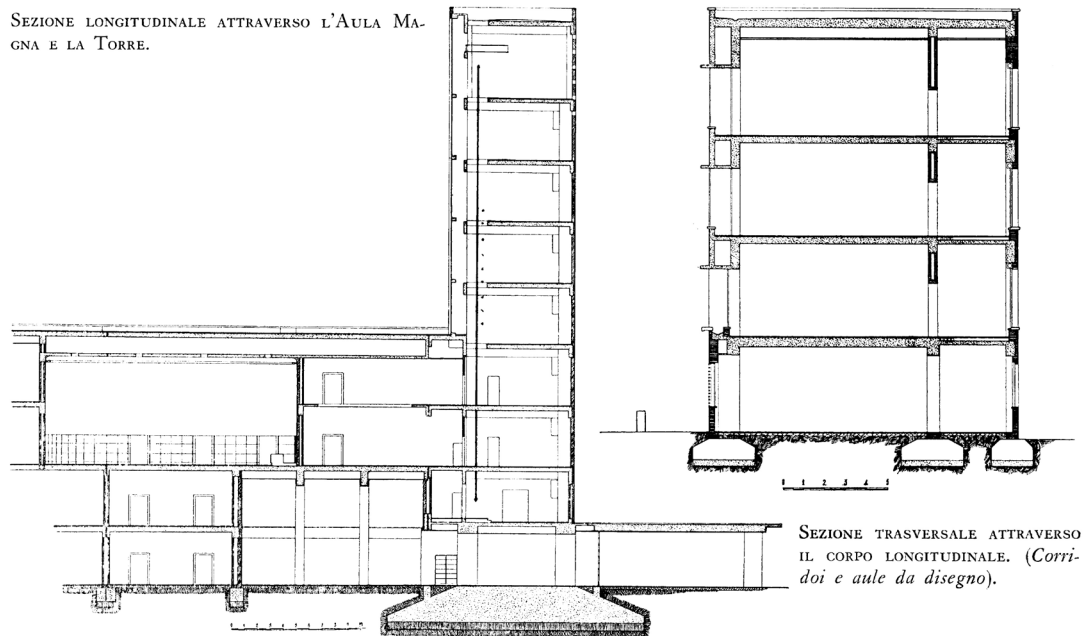


Fig. 6 – Sezione longitudinale e trasversale (Vaccaro, 1936).

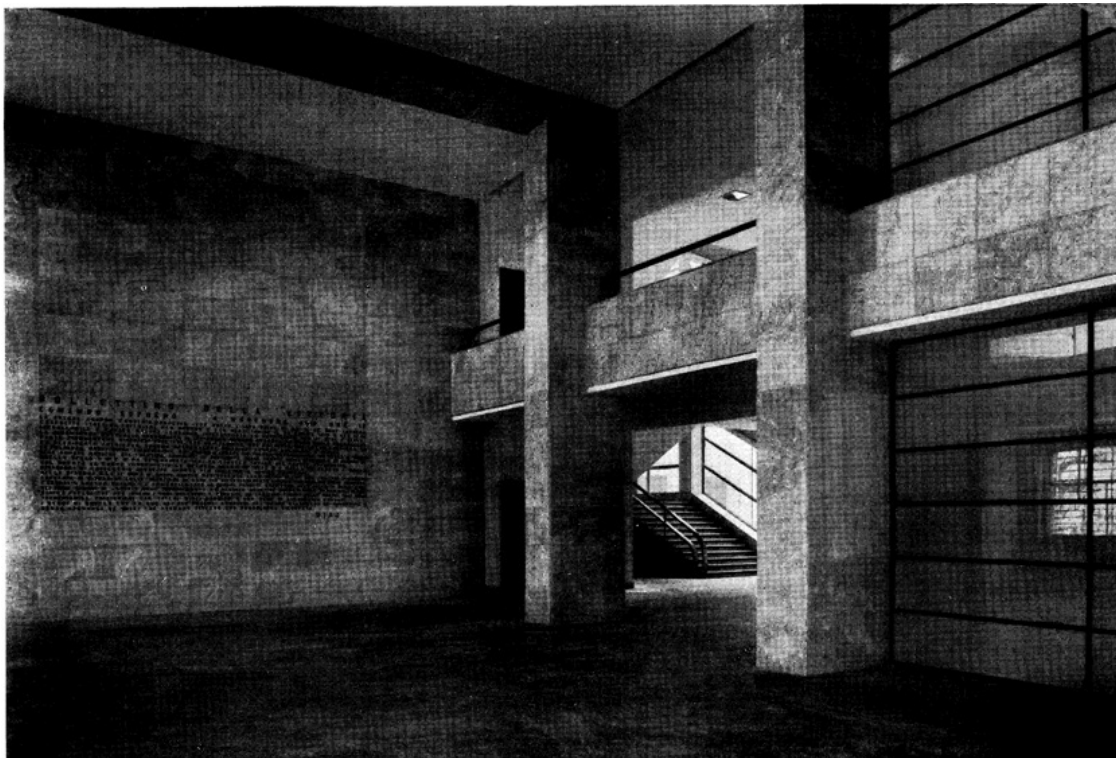


Fig. 7 – L'ambiente a doppia altezza del vestibolo (Vaccaro, 1936).

tazioni tecniche e impiantistiche, tanto che l'innovazione tecnologica è tangibile anche nelle opere di finitura; le superfici esterne, ad esempio, erano interamente trattate con intonaco Terranova, brevettato alla fine dell'Ottocento in Austria e prodotto in Italia a partire dal 1932, caratterizzato dalla pigmentazione in fase di produzione del premiscelato e da particolari prestazioni di resistenza agli agenti atmosferici, grazie all'impermeabilità conferitagli dalla particolare composizione a base di quarzo. Le zone interne di rappresentanza erano invece interessate dall'applicazione di rivestimenti lapidei sottili, secondo la prassi tipica degli anni '30 di utilizzare la pietra con richiami all'architettura classica, trasmettendo un'ideale di durata e di robustezza; una soluzione particolarmente audace si ritrova nella zona del vestibolo, ove si ricorre all'impiego di lastre di spessore ridotto montate su sostegni metallici annegati nel calcestruzzo o nelle pareti laterizie.

L'innovazione tecnologica, unitamente all'adozione del telaio in cemento armato che ha consentito di liberare la struttura portante dall'organizzazione di facciata, si pone come il perno su cui incentrare il tratto distintivo del fronte nord-est, ossia la creazione di lunghe finestrate a nastro, che sposano le esigenze compositive dei fronti e la necessità di esposizione degli ambienti didattici con il rapporto con l'ambiente circostante: l'impiego del ferrofianestra, ossia di profili metallici appositamente

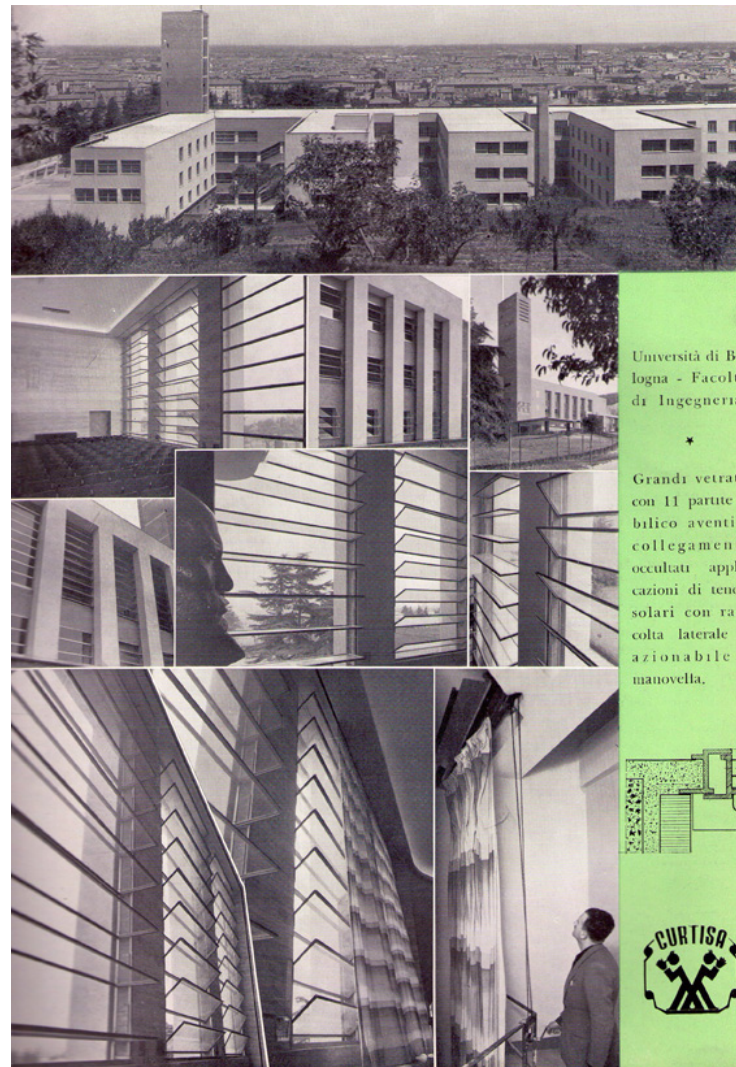
mente studiati per ridurre l'ingombro della porzione opaca sulla parte vetrata, prodotto a Bologna dalla ditta Curti S.A., leader mondiale nel settore, ha consentito di realizzare una ininterrotta superficie vetrata di quasi 50 metri di sviluppo. L'aula di disegno del terzo corso, poi, era stata dotata di un particolare sistema di infisso interamente apribile e meccanizzato, anch'esso brevettato dalla ditta Curti S.A., che si ripiegava a libro su se stesso per una lunghezza di ben 35 m.

Le ampie vetrate conferiscono all'edificio un ritmo orizzontale, interrotte soltanto dalla verticalità che contraddistingue le zone di rappresentanza in prossimità dell'accesso principale, verticalità che culmina nella torre, richiamando il carattere della Bologna tradizionale. Se ne ricava un'architettura concreta, basata sull'equilibrio tra la staticità conferita dalle masse piene in laterizio ed intonaco, e la dinamicità, propria dell'articolazione della pianta e dei fronti finestrati.

INDIRIZZI TEORICI E PRATICHE DI INTERVENTO

Il tema del risparmio energetico negli edifici ha ormai pervaso il processo edilizio in modo così significativo da poter essere posto a tutti gli effetti come prioritario nei processi decisionali che sottendono alla realizzazione di nuove costruzioni o agli interventi sull'esistente, e la valutazione sull'opportunità di effettuare un intervento non può prescindere

Fig. 8 - L'edificio della Facoltà di Ingegneria pubblicizzato sul catalogo Curtisa.



Università di Bologna - Facoltà di Ingegneria.

★
Grandi vetrate con 11 partite a bilico aventi i collegamenti occultati applicazioni di tende solari con raccolta laterale e azionabile a manovella.

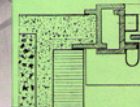




Fig. 9 – La vetrata continua dell'aula di disegno (Archivio Storico della Regione Emilia Romagna).

dalla valutazione del costo energetico di gestione e dai livelli energetici minimi concessi dalle normative vigenti.

Sotto quest'ultimo punto di vista, anche se è noto che gli interventi sul patrimonio storico possono ancora usufruire di deroghe o esenzioni, è tuttavia sempre più evidente che la definizione di nuovi standard prestazionali sta orientando le esigenze degli utenti verso livelli di consumo più bassi e livelli di confort più alti, sta diffondendo una sensibilità nuova verso questi temi anche nei non addetti ai lavori, e sta lentamente ma inesorabilmente tracciando i confini del percorso di rinnovamento che il patrimonio edilizio dovrà affrontare in risposta alle richieste di mercato se non per coerenza di norme.

Mentre per il nuovo costruito numerose soluzioni tecniche innovative si moltiplicano e si propongono lasciando intravedere la possibilità di ridurre anche a zero i consumi, il tema della riqualificazione dell'esistente è certamente tutto da sviluppare e, in Italia, considerata l'eterogeneità del patrimonio e considerata soprattutto la mole di edifici risalenti al periodo premoderno, è complesso al punto tale da porsi come vera e propria questione energetica.

Se in aggiunta si restringe il campo all'ambito degli edifici premoderni di pregio, solo in prima approssimazione coincidenti con gli edifici vincolati, ove l'incidenza dell'energia sui costi di gestione è molto alta e in molti casi

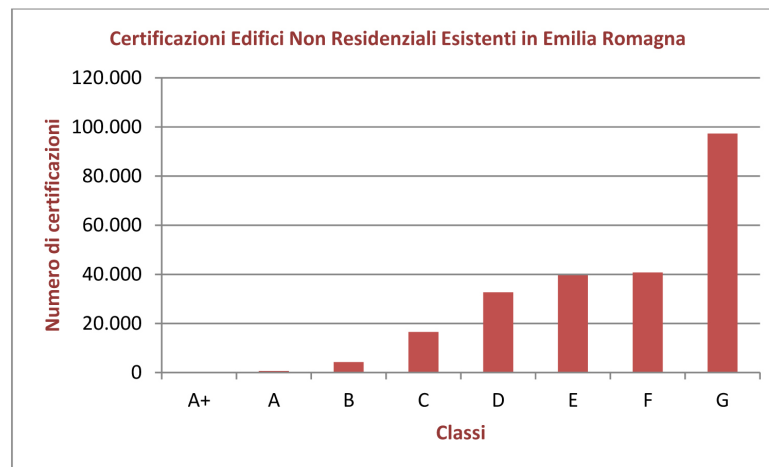
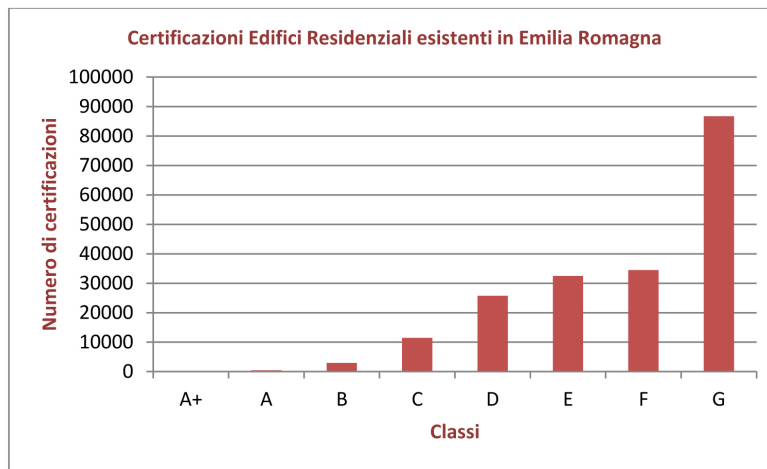
non sostenibile ma al contempo la possibilità di intervenire per ridurre i consumi è limitata perché spesso contrasta con le necessità conservative, la questione che si pone individua un ambito di ricerca specifico non ancora espressamente studiato, sul quale si dovrà porre particolare attenzione nei prossimi anni¹⁷.

In sostanza, passando dagli interventi di nuova costruzione agli interventi sull'esistente, agli interventi sul patrimonio storico e infine agli interventi sul patrimonio storico di pregio, si riducono proporzionalmente l'efficienza e il livello di confort, aumentano i costi energetici (quindi apparentemente sono maggiori le risorse disponibili per la riqualificazione) ma, parallelamente, si complicano gli interventi di efficientamento e in realtà si riducono le possibilità di riqualificare con tecnologie compatibili e standard, e gli interventi possibili sono spesso non attuabili o attuabili ma non sostenibili economicamente.

Il miglioramento prestazionale imposto alle nuove costruzioni determina nuovi standard e rende progressivamente sempre più obsoleti gli edifici esistenti; il problema non è di poco conto, soprattutto in termini economici, in quanto il costo dell'energia cresce e i costi di gestione del patrimonio edilizio esistente divengono sempre meno sostenibili a fronte di livelli di confort sempre più difficili da accettare da parte dell'utente finale. Basti pensare che in Emilia Romagna i certificati energetici in classe A rispetto al totale dei certificati

Fig. 10 - Distribuzione per classi delle certificazioni emesse in Emilia Romagna per gli edifici residenziali esistenti

Fig. 11 - Distribuzione per classi delle certificazioni emesse in Emilia Romagna per gli edifici non residenziali esistenti



emessi da quando il sistema è operativo sono solo lo 0,32%, e la nuova Direttiva Europea EPBD, già approvata nel 2010, pone l'obiettivo del "quasi zero energy" a partire dal 2018 per gli edifici pubblici¹⁸. Si consideri inoltre, per comprendere la reale importanza del problema energetico negli edifici di pregio, che il 64% dei certificati ricade in una classe superiore alla E, che il 34% degli edifici certificati consuma più di 210 Kwh/m²a, mentre il patrimonio storico di pregio si attesta spesso su livelli energetici inferiori¹⁹.

Così, se le deroghe concesse al patrimonio in termini di prestazioni energetiche minime sono numerose e permetterebbero di evitare interventi di riqualificazione, la necessità di garantire il confort minimo richiesto dall'utenza e la necessità di ridurre i costi energetici effettivi rendendo la gestione dell'immobile economicamente sostenibile, attribuiscono al retrofitting carattere di necessità.

Il rapporto fra conservazione e riqualificazione dovrà essere valutato caso per caso dal progettista, tramite un'indagine conoscitiva attenta della consistenza fisica e dei valori del monumento, anche avvalendosi di prestazioni specialistiche, definendo ove possa prevalere l'istanza prestazionale sulle istanze estetica e storica e ove, al contrario, sia necessario limitare le soluzioni d'intervento con il fine di renderlo minimo, compatibile, reversibile.

Il tema della compatibilità degli interventi si sviluppa nel rapporto dialettico fra la necessità

di conservare il monumento, riducendo l'intervento al minimo, e la necessità di assicurarne la continuità d'uso, intesa come opportunità di garantirne il mantenimento in vita; continuità d'uso che pertanto non può significare l'anteporre la funzionalità rispetto alle valenze storiche ed estetiche e, al contrario, è intesa come opportunità di reperire risorse che possano garantire la conservazione dell'opera e la sua trasmissione al futuro; la tutela va intesa quindi anche come mantenimento della vitalità che consente all'edificio di non essere estromesso dal ciclo economico, in quanto *"tutto ciò che non vive nel modo più efficace è destinato a scomparire"*²⁰. Il tema del mantenimento e della riqualificazione come forma di conservazione e indirettamente di restauro è stato ampiamente dibattuto; una delle posizioni che riassume i termini della questione emerge nella Carta Italiana del Restauro del 1972 ove si precisa che *"s'intende per restauro qualsiasi intervento volto a mantenere in efficienza, a facilitare la lettura e a trasmettere integralmente al futuro"* le opere d'arte².

In questo senso la riqualificazione energetica del patrimonio monumentale si pone un obiettivo proprio, differente dagli obiettivi ai quali si obbligano le nuove costruzioni o gli interventi di retrofitting del patrimonio edilizio recente; in ultima istanza non si tratta di trasformare il sistema edificio-impianto in modo che possa raggiungere le prestazioni migliori in termini assoluti, quanto di renderlo capace di rag-

giungere prestazioni che siano sostenibili in relazione all'uso e ai costi di gestione ad esso relazionati, tenendo in conto del rapporto costi benefici connessi con la riqualificazione²².

Nondimeno se da un lato l'intervento di riqualificazione può avere connotati al limite della compatibilità, il non intervento, lungi dall'essere la soluzione ottimale per la trasmissione al futuro del monumento, lascia ampio spazio ad una serie di azioni di tipo manutentivo o comunque a piccole trasformazioni incontrollabili che sommandosi nel tempo trasformano comunque il bene senza che vi sia un'unitarietà d'intervento, senza che la trasformazione sia preventivamente valutata, definita, progettata²³.

La portata e i termini del problema s'intuiscono se si pensa alle prospettive che la nuova direttiva europea sul risparmio energetico negli edifici ha introdotto nel 2010, rispetto allo stato del patrimonio edilizio. La EPBD 2010, rifusione della EPBD 2002, ha posto il nuovo obiettivo del "Quasi zero energy" rispetto agli standard già recepiti nei sistemi di certificazione energetica, che dovrà essere raggiunto entro il 2018 per gli edifici pubblici, molti dei quali sono storici. Si acquiscono i termini della questione energetica sotto due punti di vista: in primis la definizione di nuovi standard prefigura la possibilità che si possa usufruire di edifici per i quali il costo energetico di gestione sia prossimo a zero in tempi molto brevi, in sostanza aumenta il gap fra il costo energetico

di gestione degli edifici esistenti rispetto allo standard normativo per la nuova costruzione; in secondo luogo l'opportunità di realizzare interventi minimi per il patrimonio storico si riduce e si manifesta al contempo la necessità di individuare nuove soluzioni d'intervento per evitare che l'utilizzo del patrimonio divenga insostenibile²⁴.

Ritornando dunque al caso dell'edificio della Facoltà di Ingegneria, le numerose modificazioni operate nel corso di quasi ottant'anni di vita, hanno riguardato primariamente la manutenzione straordinaria per adeguarsi agli standard richiesti dalle normative vigenti ed alle nuove esigenze didattiche legate all'attuale numero di utenti²⁵. La capacità iniziale per cui era stato progettato l'edificio era infatti di soli 300 allievi, 100 per ogni anno di corso, e ciò costituisce una indubbia testimonianza della sua versatilità nel rispondere alle esigenze di un numero di studenti che oggi è pressoché decuplicato. L'edificio si è quindi adattato nel tempo, mantenendo la sua funzionalità: le sopraelevazioni del coronamento dei prospetti, le alterazioni degli spazi interni, la consistente sostituzione degli infissi in ferrofinestra, l'insierimento delle scale metalliche di sicurezza sono tutti interventi che non ne hanno stravolto il carattere originario o, per lo meno, non in maniera irreversibile.

Il nodo su cui si incentra la riflessione sui cri-

teri e metodi idonei per un recupero dell'opera induce dunque necessariamente ad affrontare la tematica della tutela del bene mediante azioni che sappiano coniugare l'istanza storica ed estetica con quella dell'innovazione tecnologica in termini di adeguamento agli standard prestazionali odierni; ovvero seguire la strada della preservazione dei caratteri originari - architettonici e materici - con interventi mirati di integrazione di componenti edilizi e al contempo adottare sistemi domotici di controllo e gestione del comfort ambientale interno per rispondere alla variabilità delle condizioni climatiche e d'uso dell'edificio. Il primo ambito appartiene strettamente ad un sapere capace di riconoscere le valenze storiche-architettoniche dell'opera al fine di individuarne le specificità anche sotto il profilo dei caratteri costruttivi; il secondo si apre ad accogliere con favore le possibilità oggi offerte dai settori dell'automazione (smart systems and ICT) nella integrazione posta con l'apparato impiantistico per una ottimizzazione dei rendimenti energetici.

Su questo duplice binario si muove dunque la ricerca in corso e di cui qui si riportano, per necessità di sintesi, gli indirizzi teorici seguiti nella definizione delle ipotesi di intervento.

Per quanto riguarda le soluzioni di intervento per l'incremento delle prestazioni energetiche dell'involucro, l'indagine svolta sui caratteri costruttivi ha posto in evidenza due dati si-

gnificativi; il primo è relativo alla costituzione materica delle pareti che presentano due tavolati in laterizio pieno separati da una intercapedine con spessori medi di circa 40 cm. Il secondo riguarda l'incidenza dei vuoti sui pieni, ovvero la rilevante dimensioni delle superfici finestrate, pari a 3950 mq con un rapporto medio di 0,26 tra vuoto e pieno²⁶.

Ciò induce a ritenere che la strada da seguire per garantire un comfort interno adeguato sia quella di agire su una sostituzione/integrazione degli infissi senza alterarne la figurazione originaria e di considerare secondario l'apporto offerto da un incremento delle prestazioni termiche delle pareti, che come detto, essendo di tipo "massivo", sono connotate da una buona inerzia termica. Tale secondo aspetto si coniuga anche con la preservazione della figurazione originaria e della conservazione dei caratteri materici dell'intonaco Terranova.

Al contempo, come già evidenziato in precedenza, nel corso degli anni si è già operato con la sostituzione di alcuni infissi originali con serramenti in legno od alluminio e vetri a camera d'aria, in particolare nelle aree in cui si ha la presenza costante di persone; interventi che hanno in parte compromesso le originarie caratteristiche formali dell'edificio per il variato rapporto tra infisso e specchiatura, anche se, fortunatamente, gran parte degli infissi in ferrofinestra sul prospetto principale sono stati preservati, e per essi è possibile oggi ipotizzare una soluzione alternativa alla



Fig. 12 - L'infisso originario dell'Aula Magna, oggi sostituito (Vaccaro, 1936).

sostituzione integrale, più rispettosa del carattere originario ma comunque dotata di migliori prestazioni termiche.

Per tale finalità si è quindi provveduto a verificare l'efficacia della sola sostituzione del vetro esistente con uno stratificato di sicurezza e l'inserimento di guarnizioni di tenuta, unitamente al ripristino del trattamento antiruggine e della verniciatura. Una soluzione che si è dimostrata più economica rispetto ad una sostituzione integrale dell'infisso ma che ovviamente non garantisce gli stessi requisiti prestazionali, soprattutto per le dispersioni termiche del telaio strutturale.

Per tale ragione si è ipotizzata una soluzione alternativa con l'aggiunta di un nuovo componente finestrato disposto sul profilo interno dell'imbotte murario ed a più elevate prestazioni, soluzione che la documentazione disponibile suggerisce essere già presente nel complesso infisso meccanizzato dell'aula di disegno del terzo corso, oggi purtroppo scomparsa.

Il mantenimento dei profili dovrebbe essere accompagnato dalla sostituzione integrale dell'infisso dell'Aula Magna, sostituito in epoca recente con profilati tubolari, anziché in ferro-finestra, che ne hanno alterato completamente l'immagine in rapporto all'adiacente infisso originale presente nella Sala del Consiglio; un risanamento delle facciate, con il ripristino dell'intonaco Terranova, potrebbe condurre, per lo meno nel prospetto principale, all'esatta immagine conferitagli dall'architetto.

Ma anche un uso più consapevole del fabbricato da parte dell'utenza potrebbe evitarne la consistente dispersione termica, realizzando un più idoneo sistema di accesso in corrispondenza dell'ingresso principale, che eviti la continuativa apertura delle porte grazie ad un semplice sistema a bussola, facilmente integrabile grazie alla presenza, nell'atrio, dei piloni di sostegno della torre, senza essere visibile dall'esterno.

Tali sintetiche indicazioni sui possibili interventi di mitigazione delle principali criticità riscontrate non sono però, ovviamente, sufficienti e risolutive del tema posto e che richiede necessariamente di essere affrontato seguendo un diverso paradigma dell'indagine, ovvero ponendo in conto l'incidenza rivestita dai "modi d'uso" nel decretare il "comportamento energetico" dell'edificio e conseguentemente le azioni da intraprendere per ottimizzare il rendimento dell'apporto impiantistico in ragione degli standard di comfort ambientale interno richiesto.

In altri termini, prevedere una sostituzione integrale di un infisso per garantire le prestazioni termiche oggi richieste, oltre a porre una questione di efficacia economica risulta altresì poco efficiente se l'atteggiamento dell'utente - di un edificio pubblico - non è conforme alle più elementari norme comportamentali d'uso; nel caso in questione, il principale problema delle dispersioni termiche invernali è infatti ascrivibile alla presenza di varchi di accesso e di si-

curezza costantemente aperti che inficiano in modo rilevante il comfort ambientale nelle aule e negli spazi comuni. Il mantenimento di valori costanti di temperatura si correla anche con un secondo fattore che è rappresentato dalla variabilità delle condizioni climatiche esterne e dagli indici di affollamento degli ambienti. Nel periodo primaverile-estivo si manifestano infatti problemi di eccessivo surriscaldamento in alcune aule orientate a sud e ovest, così come le temperature interne degli ambienti sono condizionate dalla variabilità di frequenza d'uso e di numerosità degli utenti nell'arco della giornata e nei diversi periodi dell'anno.

Tali istanze inducono quindi verso l'adozione di strumenti e criteri di intervento che tendano in primo luogo all'ottimizzazione dei modi d'uso dell'edificio attraverso due passaggi essenziali: il primo richiede necessariamente l'attivazione di un monitoraggio che attesti il reale comportamento energetico dell'edificio; il secondo quello di una pianificazione dei "modi d'uso" correlato ad una gestione dell'apporto impiantistico con sistemi domotici integrati per garantire un miglioramento dei rendimenti in ragione della variabilità condizioni ambientali esterne e dei livelli di affollamento presenti nei diversi ambienti.

IL PROGETTO SPERIMENTALE DEL LIVING LAB

Il caso di studio in esame, la Facoltà di Ingegneria di Bologna, rappresenta quanto det-

to, ovvero una situazione nella quale diviene sempre più urgente limitare l'impatto dei costi energetici rispetto ai costi di gestione, a fronte di livelli di confort e di qualità ambientale forniti che sono sempre più distanti rispetto ai livelli attesi; parallelamente i possibili interventi di efficientamento dell'involucro edilizio sono pochi, per questioni di compatibilità e di opportunità; la riduzione della trasmittanza termica per le parti opache dell'involucro potrebbe ottenersi isolandolo dall'esterno (realizzando un cappotto termico) tuttavia la soluzione è incompatibile con la presenza di intonaci di pregio²⁷, con la presenza di porzioni a faccia a vista e comunque determinerebbe un miglioramento poco significativo in termini di riduzione del fabbisogno. Le dispersioni maggiori si hanno attraverso gli infissi, che sono in alcuni casi anche caratterizzati da una significativa permeabilità al vento. Inoltre le parti opache sono comunque caratterizzate già nello stato attuale da spessori importanti, e alcune dalla presenza di un'intercapedine d'aria che ne migliora le prestazioni termiche, pertanto il miglioramento che si otterrebbe integrandone il potere isolante senza intervenire sugli infissi, sarebbe poco efficace.

Per quanto riguarda gli infissi in ferrofinestra, la loro sostituzione non può considerarsi per questioni di tutela, mentre gli infissi in legno introdotti recentemente potrebbero essere sostituiti ma l'intervento rappresenterebbe comunque un efficientamento parziale e poco

significativo.

I maggiori miglioramenti possono essere ottenuti intervenendo sul sistema impiantistico, tuttavia l'operazione è molto complessa e la valutazione dell'opportunità di realizzare un tale soluzione deve essere indagata con attenzione, anche in relazione alla necessità di operare con minimo intervento. L'edificio è caratterizzato da molti usi differenti che si sovrappongono, ed è frequentato da utenze con esigenze molto diverse; le aule di lezione variano in dimensione, esposizione e uso. Molte aule sono soggette a sovrappollamento e le maggiori perdite si hanno per ventilazione; i dipartimenti sono caratterizzati dalla presenza di uffici, biblioteche, sale riunioni e laboratori, mentre a piano terra si trovano altri servizi come il bar, la mensa, il centro di calcolo, spazi con esigenze differenti ma energeticamente alimentati dal medesimo impianto che in aggiunta non è in grado di regolare la fornitura in modo variabile per le diverse zone dell'edificio.

Stante la configurazione d'uso degli ambienti, estremamente articolata, e stante la ridotta possibilità di trasformazione del fabbricato, che dovrà essere gestito quindi con un unico impianto, lo studio del sistema di regolazione dell'energia fornita in base alle richieste delle utenze e in relazione quindi all'occupazione, dovrà essere considerato come detto con particolare attenzione, e diverrà probabilmente la più significativa far le chiavi interpretative per l'ottenimento di un'effettiva riduzione dei consumi

rispetto allo stato attuale.

Da quanto detto emerge con evidenza che la valutazione su quale sia il tipo di intervento di riqualificazione più efficace per l'edificio della Facoltà, tenendo in considerazione gli aspetti economici, in termini di rapporto costi benefici e in termini di riduzione dei costi finali di gestione, tenendo in conto inoltre delle criticità dal punto di vista del rispetto dei vincoli intrinseci al fabbricato e dal punto di vista della tutela delle istanze storica ed estetica, nonché in termini di compatibilità materico costruttiva, non può essere condotta se non attraverso la definizione di un modello energetico costruito ad hoc, che sia rappresentativo dell'effettivo comportamento del fabbricato anche in relazione al reale modo d'uso in termini di occupazione da parte degli utenti.

Lo studio del modo d'uso per un caso così complesso non può essere valutata su base statistica ma deve essere studiata monitorando l'edificio; anche nei metodi di calcolo più precisi il modo d'uso, che dipende in larga misura dal comportamento degli utenti, è approssimato sulla base di ipotesi di tipo statistico. Lo studio di un numero congruo di casi campione permette di costruire una statistica del comportamento degli utenti, valutare l'incidenza del numero di persone in relazione all'uso e l'incidenza delle azioni tipiche degli utenti sulle variabili che influenzano il clima interno. In ogni caso si tratta di un'approssimazione fondata sull'ipotesi che il comportamento degli utenti sia il medesimo

per edifici di ugual destinazione d'uso.

Questo paradigma, che nei casi più semplici e standard può avere significato, determina margini di errore non trascurabili nello studio di edifici complessi, dove il comportamento energetico del fabbricato non sia standardizzabile; la Facoltà di Ingegneria è un caso estremamente complesso, nel quale a modi d'uso molteplici e contemporanei corrisponde un unico sistema edificio-impianto che in aggiunta non ha la capacità di regolare il clima interno al variare della presenza di persone o al variare del clima esterno.

Se esiste una possibilità di riqualificazione energetica a Ingegneria quindi, posto che alcuni miglioramenti possono essere apportati all'involucro ma saranno comunque poco significativi in termini di riduzione del fabbisogno, questa passa attraverso la realizzazione di un sistema impiantistico più efficiente dal punto di vista dei consumi e soprattutto dal punto di vista della flessibilità, ma, come anticipato, non può prescindere dalla conoscenza dettagliata del reale modo d'uso dell'edificio attuale; un sistema che sia in grado di erogare e sottrarre calore in misura variabile e sufficientemente veloce al variare della richiesta, che dipenderà in larga misura dalla presenza e dall'attività degli utenti.

Si prefigura pertanto la necessità di costruire un modello energetico dell'edificio di tipo previsionale che ne possa rappresentare dinamicamente il comportamento, al variare delle

condizioni interne e sulla base dell'osservazione reale dell'occupazione che può esser nota solo a seguito di un monitoraggio dell'edificio.

Attualmente la maggior parte delle inefficienze si manifestano probabilmente durante la non occupazione, nella quale l'erogazione di energia non può essere interrotta ma non serve, e nei momenti in cui i guadagni (sia i guadagni interni per la presenza di persone sia i guadagni solari) permetterebbero di interrompere o ridurre l'erogazione di energia ma questo non può avvenire; in entrambi i casi la criticità potrebbe risolversi con un sistema impiantistico più flessibile e duttile ma al contempo un'effettiva efficienza potrebbe ottenersi se vi fosse un sistema di rilevamento delle presenze e dei dati climatici in grado di indirizzare l'erogazione di energia in tempo reale.

Il tema sopraesposto è attualmente oggetto di un progetto sperimentale promosso dal C.I.R.I. Edilizia e Costruzioni con la partecipazione del DEI dell'Università di Bologna²⁸. Il progetto intende realizzare un living lab costituito da una rete di datalogger che consenta in questa prima fase di monitorare l'edificio e studiarne il comportamento al variare del clima esterno e dell'occupazione e, in una seconda fase, possa costituire la base per un sistema di controllo, regolazione e ottimizzazione dell'energia fornita, di tipo predittivo, ovvero capace di anticipare le esigenze e, in relazione alle condizioni

climatiche, intervenire con efficienza e rapidità sul confort interno ma solo quando è effettivamente necessario.

L'approccio è simile a quello dei sistemi di building automation, nei quali ad una modifica delle condizioni iniziali del clima esterno o delle necessità degli utenti corrisponde un'azione sull'edificio che avviene in modo automatizzato; i sistemi di risparmio energetico che operano sui corpi illuminanti per esempio, regolano l'accensione o lo spegnimento in funzione della presenza di persone e i più sofisticati regolano l'intensità della luce in relazione all'effettivo livello di illuminamento naturale presente. Nel caso dell'automazione del sistema di regolazione del clima interno, le condizioni di gestione sono molto più complesse perché non basta definire se c'è o meno presenza di utenti, ed è necessario sapere quanti utenti ci sono in un dato momento e che tipo di attività stanno svolgendo; inoltre il sistema edificio-impianto è caratterizzato da un'inerzia propria che determina una latenza nella modificazione del clima interno; questo introduce la necessità di conoscere con un certo anticipo sia l'azione del clima esterno sia le necessità degli utenti, al fine di valutare la capacità dell'involucro di reagire alle modificazioni climatiche che stanno per manifestarsi ed eventualmente intervenire con un'azione integrativa dell'impianto in tempo utile perché sia mantenuto un predefinito livelli di confort interno.

In sintesi si prevedono 4 fasi per lo sviluppo

della ricerca:

- I. Monitoraggio dello stato attuale, relazionando clima esterno, azione dell'impianto e presenza di utenti con il clima interno²⁹.
 - II. Definizione e validazione del modello energetico
 - III. Sviluppo di ipotesi di riqualificazione e valutazione del potenziale miglioramento energetico ottenibile
 - IV. Definizione del modello previsionale
- Attualmente è iniziata la prima fase del progetto, il monitoraggio, per il quale è già stata effettuata una prima installazione sperimentale nel giugno 2012, con finalità di testing del sistema progettato.

Nell'aula 2.8 è stata installata una rete di 9 datalogger collegati in wireless ad un server dedicato, a sua volta collegato alla rete della Facoltà, quindi governabile e consultabile tramite web.

I datalogger sono stati progettati e realizzati direttamente dai ricercatori del DEI in collaborazione con Wispes s.r.l. che ha costruito il prodotto finale.

Il posizionamento dei datalogger è stato preventivamente studiato con un'installazione sperimentale, progettata tramite una prima simulazione fluidodinamica del comportamento dell'aula; lo scopo dell'installazione, oltre a testare i datalogger era quello di conoscere l'entità dei gradienti termici interni, sia in relazione alla presenza delle ampie aperture finestrate a nord, sia per la distribuzione interna

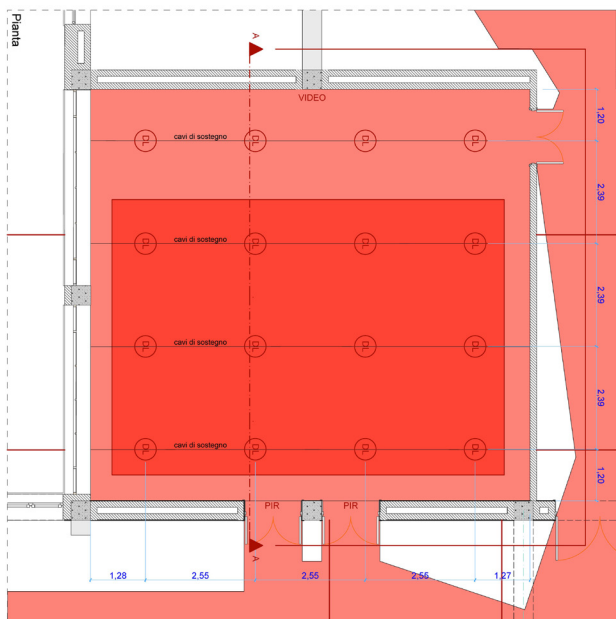


Fig. 13 - Laboratorio sperimentale aula 2.8. Vista planimetrica.

dei posti, ad emiciclo, dove le ultime file si attestano ad una quota di mt. + 2,50 rispetto alle prime e rispetto alla cattedra; altre possibili influenze sul lima interno potevano derivare dalla parete sud che prospetta interamente su un connettivo. I sensori sono stati posizionati in modo da rilevare il gradiente che è risultato compreso fra 1 e 1,5 gradi centigradi nell'arco delle giornate più critiche.

Fig. 14 - Laboratorio sperimentale aula 2.8. Vista in sezione.

I sensori verso nord e i sensori al centro dell'aula sono stati posizionati sui banchi, in modo che i dati raccolti oltre a fornire un'indicazione generica del clima interno fornissero anche un'indicazione sul confort specifico delle diverse postazioni studenti; i sensori verso sud sono stati posizionati direttamente sulla parete e hanno fornito i rilievi della temperatura dell'aria in prossimità del muro. Ogni datalogger è stato attrezzato con sensori di temperatura, umidità, luminosità, vibrazione e posizione e il software è stato progettato ad hoc.

I datalogger sono stati preventivamente testati nei laboratori del C.I.R.I. per verificarne la precisione e soprattutto per valutarne la latenza anche in considerazione del fatto che per motivi di sicurezza e per un corretto funzionamento i sensori sono montati su una board allocata all'interno di una scatola in ABS.

I risultati hanno permesso di certificare che la precisione dei sensori è di 0,1°C con accuratezza di 0,3°C e la latenza, inferiore al minuto, non rileva sulla qualità del monitoraggio.

I datalogger progettati per la sperimentazione

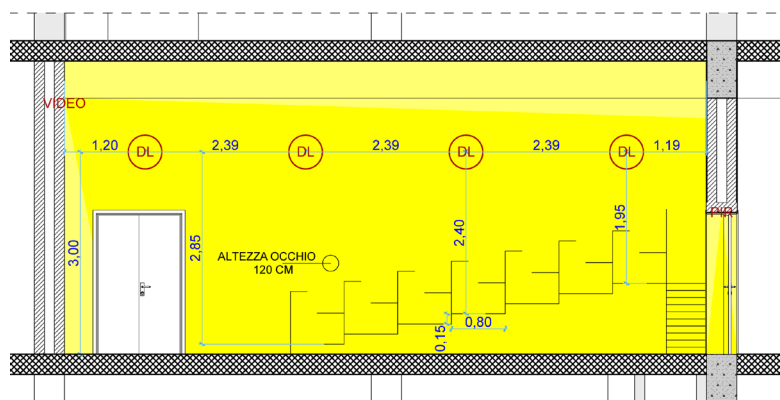
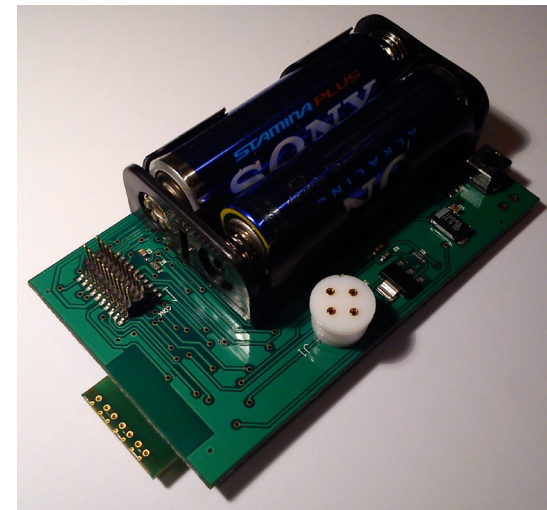


Fig. 15 - Datalogger wireless con sensori di temperatura, umidità, vibrazione, luminosità.

Fig. 16 - Datalogger wireless alimentato da batterie stilo standard.



sono dispositivi elettronici alimentati a batteria che campionano i dati acquisiti dai sensori e li trasmettono via radio. La soluzione messa a punto dal DEI e da Wispes s.r.l. permette di ottimizzare le risorse per una ottimale gestione della durata della batteria, grazie ad una soluzione innovativa con la quale accendendo e spegnendo le componenti circuitali e i sensori quando necessario e in questo modo con semplici batterie stilo il dispositivo può avere un'autonomia di anni.

L'unità a microcontrollore è in grado di poter accendere e spegnere tutti i sensori connessi e tutte le componenti circuitali presenti, in maniera tale che il dispositivo possa operare per anni. Il datalogger ha al suo interno una unità di calcolo

a 32Mhz 32Bit capace di gestire i dati campionati ed i protocolli radio impiegati compreso l'apparato di trasmissione radio a 2.4Ghz a³⁰.

Dopo i test condotti in laboratorio si è scelto di utilizzare due sensori di temperatura, uno digitale montato sul circuito, l'altro a bassa latenza, di tipo analogico flottante all'interno dell'involucro.

Anche per quanto riguarda il rilevamento delle presenze il laboratorio installato nell'aula 2.8 ha permesso di avviare una sperimentazione necessaria all'individuazione della soluzione ottimale per il progetto. E' stato installato un sistema di rilevamento presenze che utilizza uno smartphone android, nel quale una semplice app gratuita trasformava lo smartphone

in una webcam wireless e, con un sistema di rilevamento del movimento, venivano scattate immagini ogni volta che qualcuno entrava o usciva dall'aula. Le immagini erano inviate ad un server web e manualmente una persona si occupava di riportare i dati di presenza ricavati dalle immagini sul database. Il sistema si è rivelato insufficiente per le necessità del progetto, soprattutto per la necessità di spendere molto tempo nello studio delle immagini raccolte, quindi il DEI ha successivamente sviluppato un sistema differente, sempre basato su smartphone, completamente automatizzato, capace di processare le immagini raccolte ad intervalli di tempo prestabiliti e inviare al server i dati relativi all'indice di affollamento³¹.

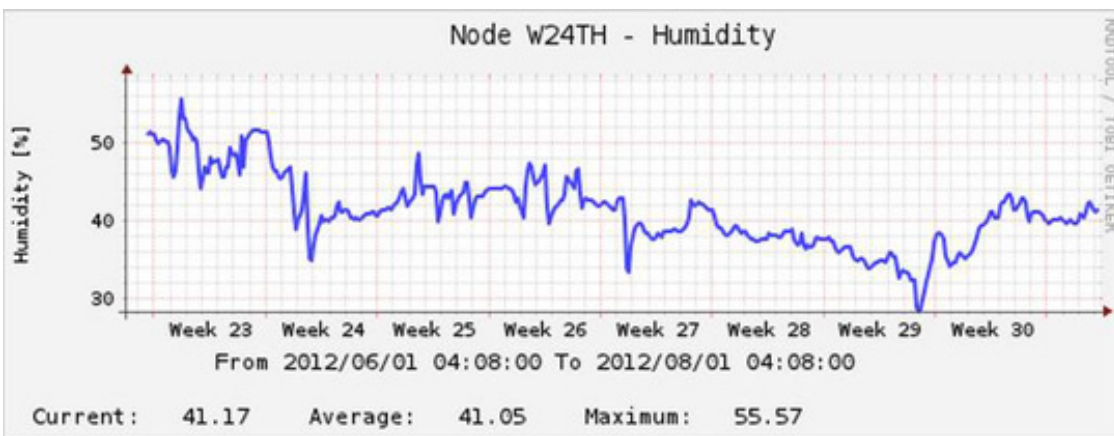
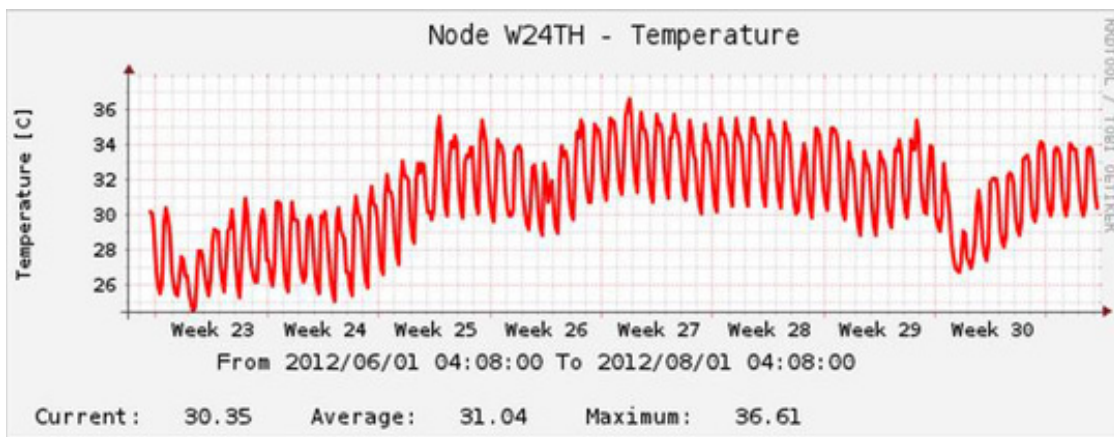


Fig. 17 – Laboratorio sperimentale preliminare. Grafico delle temperature rilevata.

Fig. 18 – Laboratorio sperimentale preliminare. Grafico dei valori di umidità rilevati.

NOTE

[1] Gresleri, Giuliano; Massaretti, Pier Giorgio (a cura di) (2001), *Norma e arbitrio. Architetti e ingegneri a Bologna 1850 – 1950*, Marsilio Editori s.p.a., Venezia, p. 9.

[2] Opera emblematica di ridisegno della città storica è la sistemazione di via Roma (1936 – 1939), l'attuale via Marconi, che ha interessato la completa demolizione di una ingente porzione di edificato storico a favore della creazione di una nuova arteria urbana, contornata da colossali costruzioni di impronta moderna.

[3] Sorge in prossimità del nuovo Littoriale, tra il 1934 ed il 1938, il Villaggio della Rivoluzione Fascista, costruito dall'Istituto Case Popolari

su progetto di Francesco Santini. La nuova edificazione interessa però anche le aree pede-collinari, ove si concentrano costruzioni residenziali di più alto livello, quali la villa Gotti di Enrico De Angeli (1933).

[4] Si tratta della case progettate nel contesto urbano per la Cooperativa mutilati e invalidi di guerra (1927 – 1930).

[5] Esistono ben sette versioni del prospetto principale del Palazzo delle Poste di Napoli, databili tra il 1928 ed il 1936 (Poretti, Sergio (2008), *Modernismi italiani. Architettura e costruzione nel Novecento*, Gangemi Editore, Roma, p. 27).

[6] In merito alle vicende che hanno contraddistinto il passaggio tra la Scuola e la Facoltà di Ingegneria, si veda: Bettazzi, M. Beatrice, *Tra At-*

tilio Muggia, Remigio Mirri e Giuseppe Vaccaro: dal progetto per la Regia Scuola di Applicazione per gli Ingegneri alla Facoltà di Ingegneria, in Casciato, Maristella; Gresleri, Giuliano (2006), *Giuseppe Vaccaro. Architetture per Bologna*, Editrice Compositori, Bologna, pp. 47 – 57.

[7] A tutt'oggi il coinvolgimento di Vaccaro è quindi accertato soltanto per quanto riguarda la definizione architettonica, dal momento che erano incaricati complessivamente del progetto l'Ufficio Tecnico del Consorzio per gli Edifici Universitari, per l'organizzazione planimetrico-distributiva, e l'impresa Grazzini, per la risoluzione strutturale. Nessun documento rimane ad esplicitare il contributo dell'architetto in

merito alla scelta della distribuzione planimetrica e delle soluzioni tecnico-costruttive. Ci piace pensare ad una attività coordinata di Vaccaro e dell'impresa Grazzini che, occupandosi delle decisioni di carattere strutturale, traduceva in opera le volontà espressive dell'architetto bolognese. [8] Ci riferiamo, come già accennato precedentemente, al Palazzo delle Poste di Napoli, alla Colonia Agip di Cesenatico e alla Facoltà di Ingegneria di Bologna.

[9] Vaccaro, Giuseppe (1933), *Schemi distributivi di Architettura*, Giuseppe Maylender Editore, Bologna, p. 3.

[10] La "perfetta funzionalità" è riconosciuta da Vaccaro come il fattore più importante che gli organismi edilizi devono assumere, in particolare

quelli in cui le necessità distributive derivano dall'elevato livello tecnico raggiunto dalle attività che vi si svolgono all'interno (Vaccaro, Giuseppe (1933), *Schemi distributivi di Architettura*, Giuseppe Maylender Editore, Bologna, p. 5)

[11] Vaccaro, Giuseppe (1933), *Schemi distributivi di Architettura*, Giuseppe Maylender Editore, Bologna, p. 5.

[12] Archivio Storico del Comune di Bologna, Archivio Storico dell'Università di Bologna, Archivio Storico della Regione Emilia Romagna – Fondo Genio Civile.

[13] Il mattone bolognese, utilizzato per tutte le chiusure verticali dell'edificio, ha dimensione pari a 28,5 x 13,5 x 5,5 cm.

[14] Oltre a queste due tipo-

logie, utilizzate negli ambienti di grandi dimensioni, quale le aule, nei locali di luci inferiori vennero utilizzate due tipologie di solai latero-cementizi semplici, i solai Excelsior, sempre prodotti dalla ditta RDB, e i solai Brunori.

[15] Poretti, Sergio (2008), *Modernismi italiani. Architettura e costruzione nel Novecento*, Gangemi Editore, Roma, p. 11.

[16] Bettazzi, M. Beatrice, *Tra Attilio Muggia, Remigio Mirri e Giuseppe Vaccaro: dal progetto per la Regia Scuola di Applicazione per gli Ingegneri alla Facoltà di Ingegneria*, in Casciato, Maristella; Gresleri, Giuliano (2006), *Giuseppe Vaccaro. Architetture per Bologna*, Editrice Compositori, Bologna, p. 52.

[17] In Italia la presenza di

edifici di interesse storico occupati stabilmente è molto più alta rispetto alla media degli altri paesi europei. In aggiunta molti di questi edifici ospitano attività di rilevante importanza culturale o di tipo terziario, spesso di natura pubblica; nondimeno i beni culturali italiani sono particolarmente ricchi di valori storici estetici e si trovano per la maggior parte nei centri storici. Si pensi che solamente i Beni Architettonici vincolati sono 46.025 secondo il Ministero beni culturali.

[18] Diversamente da quanto stabilito con la EPBD 2002 il cui recepimento ha normato l'esenzione dall'obbligo di soddisfare prestazioni energetiche minime per ristrutturazioni al di sotto dei 1000 mq, la rifusione della EPBD,

già approvata nel 2010, introduce l'obbligo di riqualificazione per tutte le "ristrutturazioni importanti" – in prima approssimazione si possono considerare esentati gli interventi di manutenzione – e pone il tema del quasi zero energy a partire dal 2018 per tutti gli edifici pubblici.

[19] Gli edifici di interesse storico sono circa l'8% del patrimonio edilizio italiano, ma sono molto più grandi rispetto alla media degli altri edifici, fortemente influenzata dal comparto residenziale e sono molto più energivori. Sono gli edifici più energivori, con dispersioni che superano quasi sempre i 250 kWh/m²a, mentre il 50% circa degli edifici sono stati costruiti nel secondo dopoguerra a disperdono meno di 150 kWh/m²a.

[20] Gazzola, Piero (1972), *Problemi di restauro palladiano*, in CISAV, Bollettino, Vicenza; *Necessité d'intégrer...* (1967) in Confrontation D, Conseil d'Europe, Strasbourg; *The past in the future* (1969), International Centre for the Study of Conservation of Cultural Property, Roma.

[21] Carta Italiana del Restauro del 1972, art. 4. Ogni atto che possa contribuire a mantenere in efficienza il bene deve considerarsi un atto di restauro. In rapporto tra prestazione (in relazione alla funzione) e conservazione si risolve comunque caso per caso nel riconoscimento dei valori dell'opera d'arte.

[22] La sola facoltà di ingegneria di Bologna disperde più di 250 Kwh/m²a, ovvero

oltre 10 volte di più di quanto disperde una unità abitativa in classe A, e ha una dimensione paragonabile a 100 unità abitative unifamiliari. L'ordine di grandezza dei consumi è quindi paragonabile a quella di 1000 unità immobiliari in classe A.

[23] Il caso più evidente e forse più noto, è l'aggiunta di impianti di climatizzazione estiva agli involucri edilizi, le cui protuberanze invasive sovrappongono alle facciate elementi avulsi dal prospetto annullando o offuscando la percezione del monumento.

[24] E' evidente che il contesto Italiano è anomalo rispetto alla media europea sia per la quantità di edifici di interesse storico presenti, sia per l'importanza e la complessità di tale patrimonio.

[25] Le grandi aule di disegno, ad esempio, sono state frazionate in spazi a destinazione didattica di dimensioni più contenute, nell'ottica di aumentare il numero di lezioni che possono essere svolte contemporaneamente. Alla necessità di aumentare, invece, lo spazio destinato ai docenti possiamo ricondurre, tra gli altri interventi, la creazione di un corpo metallico su tre piani in prossimità dell'accesso su via Vallescura.

[26] Vaccaro, Giuseppe (1936), *L'edificio per la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna*, in *Architettura e Arti decorative*, n. 134, p. 108.

[27] Alcune parti dell'edificio sono intonacate esternamente con il Terranova.

[28] Il progetto è coordinato

dal Prof. Riccardo Gulli e dal Prof. Massimo Garai del CIRI e dal Prof. Luca Benini del DEI e sviluppato con l'Ing. Giacomo Paci, l'Ing. Cosimo Marinosi e l'Ing. Luca Boiardi.

[29] Di fatto si tratta di un modello stocastico (probabilmente markoviano) di tipo semplificato.

[30] Secondo i dati forniti da Wispes s.r.l. il datalogger dispone di un'unità di calcolo interna 32Mhz 32Bit e un apparato di trasmissione radio a 2.4Ghz a bassissima potenza (1mW) con trasmissione fino a 50m indoor. Oltre ai sensori scelti per il progetto la board può essere attrezzata con il sensore di rilevamento GAS (VOC, CH4, NOx, ecc..), può essere dotata di una micro-SD per il salvataggio dati in locale, nonché i una porta di

espansione per inserire altri sensori aggiuntivi di rilevamento (polvere, movimento, corrente, vento etc...) o interfacce (USB, ethernet, RS485, tec...).

[30] Anche questa applicazione è stata sviluppata internamente dal DEI.

BIBLIOGRAFIA

Vaccaro, Giuseppe (1933), *Schemi distributivi di Architettura*, Giuseppe Maylender Editore, Bologna.

Vaccaro, Giuseppe (1936), *L'edificio per la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna*, in *Architettura e Arti decorative*, n. 134, p. 97 – 118.

Gazzola, Piero (1972), *Problemi di restauro palladiano*, in CISAV, Bollettino, Vicenza.

Gresleri, Giuliano; Massaretti, Pier Giorgio (a cura di) (2001), *Norma e arbitrio. Architetti e ingegneri a Bologna 1850 – 1950*, Marsilio Editori s.p.a., Venezia.

Casciato, Maristella; Gresleri, Giuliano (2006), *Giuseppe Vaccaro. Architetture per Bologna*, Editrice Compositori, Bologna.

Poretti, Sergio (2008), *Modernismi italiani. Architettura e costruzione nel Novecento*, Gangemi Editore, Roma, p. 11.

Marzi, Luca (2009), *Giuseppe Vaccaro Facoltà di Ingegneria, Bologna, 1933-35*, in *Costruire in Laterizio*, n. 131, p. 68 – 71.