

POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

NaturWall©: facciate in legno multifunzionali per la
riqualificazione del patrimonio edilizio / NaturWall©:multifunctional wood façade in existent

Original

NaturWall©: facciate in legno multifunzionali per la
riqualificazione del patrimonio edilizio / NaturWall©:multifunctional wood façade in existent building refurbishment /
Spinelli, Antonio. - STAMPA. - 1:(2012), pp. 600-620. (Intervento presentato al convegno "La Ricerca (Industriale) nella
Produzione Edilizia: risultati ed orizzonti tenutosi a Milano nel 18-19 ottobre).

Availability:

This version is available at: 11583/2504654 since:

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)

**“NaturWall[©] _ facciate in legno multifunzionali per la
riqualificazione del patrimonio edilizio”**

**“ NaturWall[©] _ multifunctional wood façade in existent
building refurbishment”**

Antonio Spinelli

()Politecnico di Torino*

antonio.spinelli@polito.it

Topic: Dal progetto al prodotto di qualita' per l'industria delle costruzioni

Abstract

Naturwall[©] is a research conducted by Politecnico of Turin (DAD) (under supervision of Prof.G.Callegari) and a local PMI support (Natural House, Castellamonte), promoted by Giovanni Gorla Foundation "Master dei Talenti" programme. It consists in an innovative energy saving system by using wood multifunctional components for existent buildings . The goal of the project is the refurbishment of the existing building stock which were built from 1950's to 1980's. This stock is not equipped with recent energy requirements. The project aims to create a representative model of solution that will be promoted in Italy. In the field of renovation and refurbishment high energy results and greenhouse gases reduction could be achieved by using multifunctional facade systems. Facades play a fundamental role in the city renovation practices, especially if the intervention runs up on building stock without remarkable architectural meaning and poor energy saving quality. Smart facade solutions using the surface of the building envelope confirm the increasing number of experience in this sense (TES EnergyFacade, enVELOP system, PHI-Wood façade, GAP façade system, etc...)

All projects focus about the optimization of the renewal process and innovation in building components, considering envelope as a "complex filter system, selective and multi proposed". Naturwall[©] project meant to introduce a prefabricated design approach in the renovation of city existent building stock. Naturwall differs from the simple "re-cover" approach of the building with an appropriate insulation layer, it replaces the older envelope with a responsive device towards environmental condition, able to change the appeal and performances of the whole façade. The NaturWall[©] wood system maximize ecological performances, with the use of local wood sources, it highlights the opportunity gave by "off site" versus "on site" construction avoiding thermal and sound bridges and achieving higher air tightness targets, without neglecting the aesthetical values and the possibility to change the image. Although the use of wood in building sector is increased, in Italy refurbishment practice do not consider the light prefabricated systems potential. One of the goal of this project will be to introduce new awareness about use of this material, characterized by minimum "grey" energy need and concerning the adoption of innovative way in reconversion habit. Potentials of such components are valuable and its improving changes.

1. Intervenire sulla città costruita: nuove prospettive di ricerca

Intervenire sulla città esistente è oggi un prerogativa quanto mai auspicabile. L'intervento sul patrimonio viene oggi riletto e reinterpretato alla luce di un concetto di sviluppo sostenibile assunto non più come modello ideale ma come approccio strategico alle diverse scale della città - architettonica e urbana - in grado di attivare nuovi modelli di intervento.

Questo fenomeno è sicuramente al centro del dibattito in numerose città europee, dove l'integrazione di nuovi volumi, il rifacimento del tessuto edilizio più longevo, le sopraelevazioni divengono occasioni di ripensamento e trasformazione dello spazio urbano, offrendo una prospettiva di lavoro concreta per il miglioramento della qualità della vita urbana e di interesse specifico per le competenze dell'architetto.

Le diverse esperienze elaborate nei centri e in alcune città europee permettono di delineare un primo quadro di strategie attraverso gli esiti di alcuni interventi di rinnovamento e al tempo stesso argomentare possibili declinazioni del tema in termini di ricerca tecnologica e progettuale. Da alcune stime degli enti di categoria¹ (ordini, associazioni di categoria e di imprese) si rileva quanto oggi il mercato del recupero e del rinnovamento edilizio sia l'unico orizzonte di ripresa per un settore edile in costante decrescita. Come scrive Jaretti (Lombardi, 2008) "*le varie forme di nuova edificazione nel loro complesso, rappresentano oggi una percentuale così piccola del patrimonio edilizio globale, da rendere assai poco significativo, dal punto di vista di consumi*

1. Convertible city: new perspectives on architectural research

Acting on the existing city is today a prerogative highly desirable. The intervention on the built environment is now read and reinterpreted through the concept of sustainable development, that's no longer taken as an ideal but as a strategic approach to the different levels of the city - architectural and urban scale - that can enable new models of intervention.

This attitude is certainly at the center of debate in many European cities, where the integration of new volumes, the renovation of the building fabric, the rooftop development become opportunities for the rethinking and transformation of urban space, offering a new framework of opportunity for architects to improve the quality of urban life.

The different experiences developed in the centers of some European cities could delineate a first framework of strategies reading the results of some renovation acts and at the same time argue possible variations of the theme in terms of technological and design research.

By some evaluation made by Italian trade association (professional, associations and companies) reveals that refurbishment market is one of the most credible future direction for the building sector in constant decline.

Jaretti (Lombardi, 2008) said that "the various forms of new construction as a whole, are now a small percentage of the total housing stock, to make it very meaningless from the point of view of energy consumption, pollution etc., the

¹ Si vedano i dati dell'ultimo XIX Rapporto Cresme sul mercato delle costruzioni, da quale traspare come la manutenzione ordinaria e straordinaria sia il volano di ripresa per l'intero settore edile.

energetici, inquinamento ecc., l'eseguire soltanto interventi di innovazione tecnologica sugli edifici nuovi". Il concetto di "trasformazione urbana"² è una chiave di lettura trasversale di numerosi interventi avvenuti negli spazi urbani italiani negli ultimi venti anni.

In occasione di eventi e manifestazioni internazionali, intere porzioni di città sono state ripensate e ridefinite, per riconfigurare l'assetto territoriale delle periferie e dei centri storici. La rigenerazione urbana come processo di valorizzazione del patrimonio e dello spazio urbano esistente, non intercetta però solo gli interventi che fanno della scala territoriale il loro punto di forza, ma anche i piccoli episodi che, nella logica dell'"agopuntura urbana" come teorizzata da Lermer³ a Curitiba, attraverso azioni circoscritte e mirate possono attivare processi virtuosi stimolando nuovi modelli di intervento. Il continuo consumo di suolo, in Italia stimato in ben 500 chilometri quadrati di territorio all'anno (Giudice, Minucci, 2011) spinge nei contesti densificati ad un ripensamento degli spazi e delle infrastrutture esistenti, con l'intento di promuovere uno sviluppo meno dispendioso in termini di spazio naturale utilizzato ed improntato su criteri di sostenibilità ambientale, economica e sociale, capace di valorizzare i caratteri dello stile di vita urbano contemporaneo.

measures of technological innovation on new buildings".

The concept of "urban renewal" is a key issue that cross numerous Italian case occurred in urban areas over the past twenty years.

The programme of some international events has rethought and redefined whole sections of the city, redesigning the spatial planning of the suburbs and town centers.

Urban regeneration as a process of cultural heritage and urban valorization, doesn't catch only the actions related to the territorial scale, but also the small projects that, in the logic of "urban acupuncture" as theorized by Lermer in Curitiba, through limited and targeted actions can stimulate virtuous processes and new ways of intervention.

The problem of land consumption, in Italy estimated at no less than 500 square kilometers of land per year (Giudice, Minucci, 2011) argue the densified contexts to a rethinking of space and existing infrastructure, with the aim of promoting a development less wasteful in terms of natural space and based of environmental, economic and social criteria, able to enhance the assets of the of contemporary urban life style.

² Si vedano gli atti dell'ultimo convegno RIUSO-Rigenerazione urbana sostenibile tenutosi a Milano nell'aprile 2012

³ J. Lermer, *Acupuntura urbana* di , Editore Record, Texas, 2003

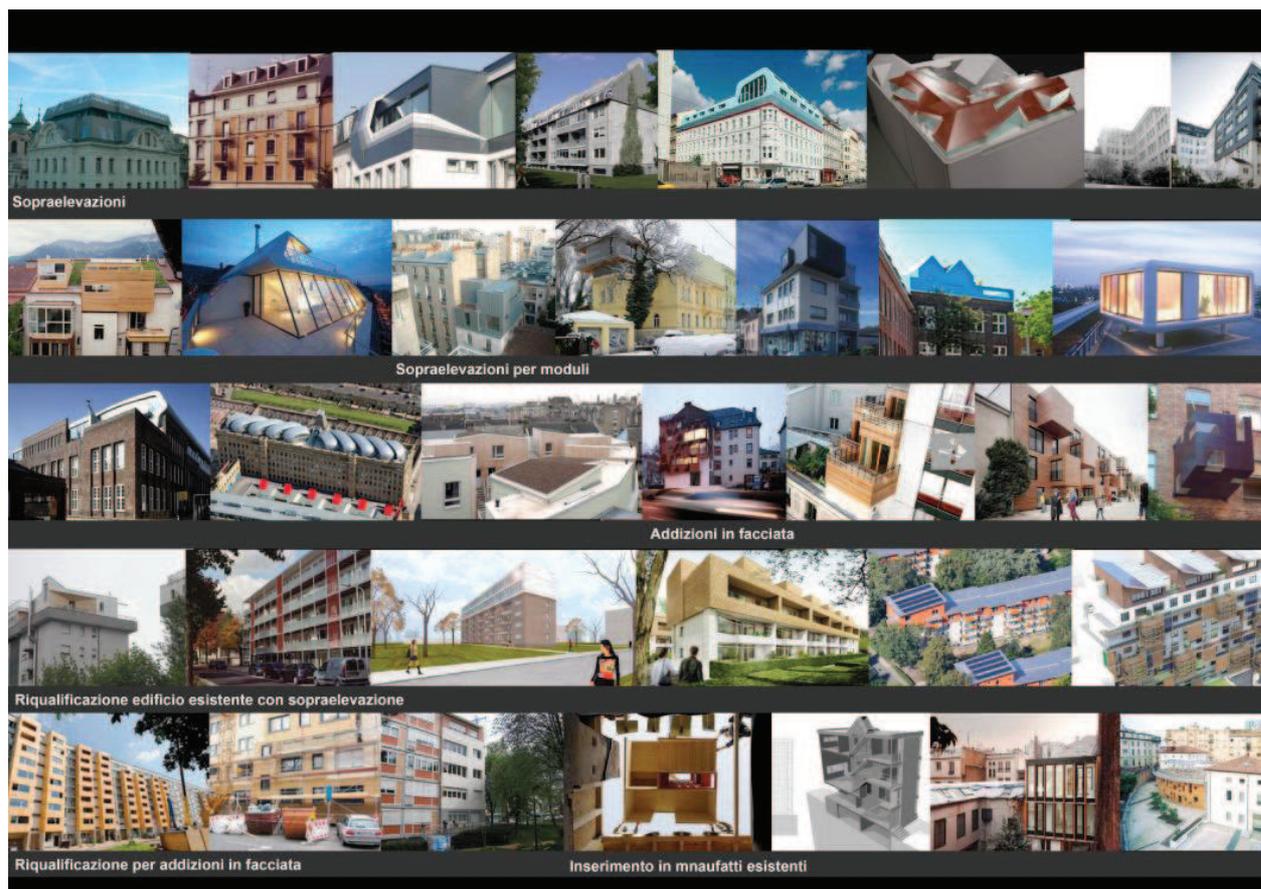


Figura 1_ *Some project on the built environment by using wood prefab systems* (fonte: A.Spinelli, 2012)

Questo fenomeno ha determinato un ripensamento nelle strategie di crescita (Gaspari, 2011), considerando la possibilità di intervenire sui manufatti della città densa "da un lato come possibile modello di crescita urbana a consumo zero; dall'altro con l'obiettivo di regolamentare alcune pratiche informali⁴" che richiedevano una traduzione metodologica chiara, in termini urbani e architettonici.

This approach led to a rethinking of strategies for growth (Gaspari, 2011), considering the possibility to make renewal in the inner city "on the one hand as a possible model of sustainable growth by 'zero soil' consumption', and second with the objective to regulate some informal practices that required a translation towards a clear methodology in terms of urban and architectural design."



Figura 2_ *Outline of main strategies in the intervention on the existent buildings* (fonte: A.Spinelli, 2012)

Questi nuovi episodi istituiscono un legame di dipendenza spaziale e strutturale con la preesistenza, ma non necessariamente funzionale, si tratta di un modello di 'stratificazione' che nel proprio principio compositivo o costitutivo si differenzia dal

These projects establish a structural and spatial dependence with the existent building but not necessarily functional. It represent a model of 'layering' the city which, in its compositive principle, is different from the reuse and the restoration of buildings.

4 Sara Marini, Architettura parassita Strategie di riciclaggio per la città, 2009

riuso e dal restauro degli edifici. (Marini, 2008). L'indagine di numerosi casi studio d'intervento sul costruito con tecnologie prefabbricate leggere, dimostra quanto il ruolo delle tecnologie sia oggi una risorsa nell'approcciarsi alla sfida del recupero edilizio e della riqualificazione urbana, ma anche il volano nello sviluppo di nuove strategie e dinamiche di intervento sulla città e di nuove opportunità di ricerca formale e progettuale.

2. Il legno per una progettazione sostenibile

L'approccio sostenibile verso l'ambiente costruito, sviluppato a partire dalla seconda metà del secolo scorso, ha reso più evidente l'attenzione verso la sostenibilità ed eco-compatibilità delle scelte progettuali, in particolare per quelle riguardanti i materiali e la valutazione dell'intero processo che porta alla definizione del manufatto finale.

Le caratteristiche dell'involucro sono nuovamente al centro del dibattito, riflesso di un atteggiamento progettuale sempre più orientato verso la concezione problematica dei consumi ambientali ed energetici relegati all'architettura, e coscienti del peso che gli edifici hanno nella crisi ecologica mondiale. Si è sviluppata da alcuni decenni "una concezione del progettare che incentiva l'uso di risorse rinnovabili e pone oggi il legno al centro del dibattito per le sue valenze ecologiche." (Callegari, Zanuttini, 2010).

Nuovamente (ri)scoperto nell'ultimo decennio, questo materiale è stato oggetto di studi mirati sul suo potenziale ecologico, come dimostrano i risultati del CORRIM (Consortium of research on renewable Industrial Materials) (Corrim 2005), sulle performance ambientali dei materiali rinnovabili nel settore delle costruzioni.

Una "sostenibilità" spesso esasperata dalle "pratiche verdi e dalle politiche industriali

(Marini, 2008). The investigation of several case studies of intervention on the built environment with prefabricated technologies shows how the role of technology is now a resource towards the challenge of building refurbishment and urban renewal, but also the driving force in the development of new strategies and dynamic response to the city future directions and a new opportunity for urban and architectural research .

2. Wood for sustainable design

The sustainable approach to the built environment, developed from the second half of the last century, has highlighted the focus on sustainability and eco-compatibility of design choices, in particular those concerning the materials and the assessment of 'whole process leading to the definition of the end product.

The features of the envelope are again the key issue at the centre fo debate, reflecting a design approach increasingly focused on the environmental and energy consumption values relegated to architecture, and conscious of the weight that buildings have in the world ecological crisis. It was developed by some decades, "a conception of design that encourages the use of renewable resources and puts the wood again at the center of debate for its ecological values" (Callegari, Zanuttini, 2010).

(Re) discovered in the last decade, this material has been the subject of specific studies on its ecological potential as building material. As demonstrated by the results of CORRIM (Consortium of research on renewable Industrial Materials) (Corrim 2005), on the environmental performance of renewable materials in the construction sector, wood products have a strength potential.

ambientalmente coscienziose" (Calkins 2010), sta veicolando l'impiego dei materiali a prescindere da un comportamento realmente scrupoloso nei confronti della risorsa che può verificarsi solamente partendo da una gestione sostenibile fin dall'origine. La certificazione forestale ad esempio garantisce la provenienza del materiale da foreste gestite in maniera responsabile, preservando la biodiversità, la produttività e il processo naturale di forestazione. E' l'unico strumento in grado di offrire garanzie su questo aspetto e sulla tracciabilità del prodotto dal taglio in bosco al prodotto finito (CoC-chain of custody). L'utilizzo di legno certificato nelle costruzioni è sostenuto ulteriormente dalle politiche di acquisti verdi pubblici, Green Public Procurement, dalla diffusione di numerosi strumenti di riferimento, dagli Ecolabelling all'EPD⁵ (Evaluation Product Declaration), agli Ecoprofilo ed Ecobilanci⁶ (Lavagna 2008), che valutano l'impatto ambientale dei prodotti da costruzione. Il peso ecologico del legno dipende in gran parte dalle sue caratteristiche biologiche, come risorsa rinnovabile trattiene un quantitativo di carbonio nel materiale che ne garantisce un surplus per le successive lavorazioni, le quali avvengono comunque con un basso consumo di energia portando quindi ad una ridotta energia grigia residua (*grey energy*). Inoltre la possibilità di realizzare costruzioni completamente a secco ne garantisce la facile dismissal e riciclabilità al termine del suo ciclo vita per produrre altri manufatti o prodotti a base legnosa. Queste caratteristiche rendono il legno una risorsa preziosa per la concezione di edifici e manufatti efficienti dal punto di vista ambientale, e, abbinata ad una attenta progettazione del ciclo di vita, ne stimola

The term of "sustainability" often exasperated by the "green policies of environmentally conscientious factories" (Calkins, 2010, p.271), is conveying the use of materials apart from a really careful behaviour towards the original resource. In the case of wood this could be achieved by using a forest responsible management. Environmentally appropriate forest management ensures that the harvest of timber and non-timber products maintains the forest's biodiversity, productivity, and ecological processes. It's the only instrument able to give guarantees on the traceability of the supply chain, from the forest to finished product (CoC chain of custody).

The use of certified wood in construction is additionally supported by green public policies, as the Green Public Procurement, and achieve the requirements of many reference tools, from Ecolabelling EPD (Evaluation Product Declaration) to eco-profiles (Lavagna 2008) that assess the environmental impact of construction products. The ecological strength of wood depends in large part by its biological origin, as a renewable resource holds a quantity of carbon into the material which guarantees a surplus for the subsequent processing. The transformation phase in any case occurs a low energy consumption thereby leading to reduced embodied energy residual (*grey energy*). Furthermore, the possibility to realize constructions completely dry ensures easy disposal and recyclability at the end of its primary use. That extends the life cycle of wood boards products.

These features make wood an important resource for the design of buildings and artefacts from the point of view of environmental performances, that, combined

⁵ "Valutazione ambientale di prodotto" introdotta dalla norma ISO/TS 21931:2006 Sustainability in building construction

⁶ Valutazioni Lyfe Cycle Assessment che considerano solo le fasi di pre-produzione e produzione (from cradle to gate).

l'impiego in numerosi campi d'applicazione, dalla progettazione edilizia, al disegno urbano e al design.

with a careful design approach to the entire life cycle of element, could stimulate its use in many fields of application, from building design, to urban and industrial design.

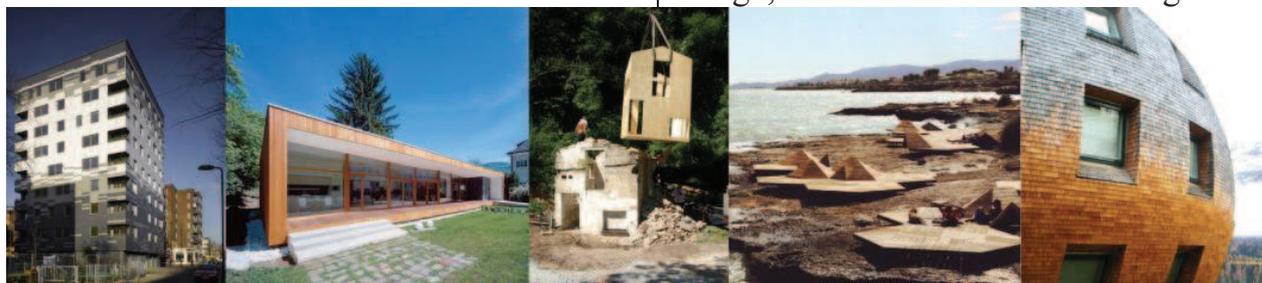


Figura 3_ Different use of wood in architectural and landscape design (fonte: A.Spinelli,2012)

2.1 Sistemi costruttivi in legno tra prefabbricazione e progettazione integrata

La tecnologia ha giocato un ruolo fondamentale in questo percorso di riscoperta e innovazione dei materiali a base legnosa. L'evoluzione tecnologica tardiva dei prodotti e dei componenti e sistemi edilizi, ha permesso il riconoscimento di prestazioni evidenti, spesso mistificate da reticenze culturali.

Come già anticipato nella metà del secolo scorso da Konrad Wachsmann, uno dei più famosi filosofi dell'innovazione contemporanea *"Il legno come materiale da costruzione è stato fin dai tempi antichi di importanza fondamentale per l'edilizia. Oggi è come se avesse perso credito. Le ragioni di questo sono difficili da individuare. Forse una ragione è ravvisabile nel fatto che la trasformazione dalla lavorazione del legno artigianale a quella industriale si è verificata molto tardi.[...] Bisogna imparare a usare questo materiale, ma a partire da una nuova concezione e per nuovi impieghi"* (Zorgno, 1992)

Lo sviluppo dell'informatica e la comparsa delle macchine a controllo numerico (CNC) nella seconda metà del Novecento, ha sicuramente rivoluzionato la produzione edilizia, liberandola dalla standardizzazione

2.1 Wood building system between prefabrication and integrated design

Technology has played a key role in the process of re-discovery and innovation of wood-based materials. The technological evolution of late wood based products, components and building systems has allowed the recognition of some performance often disguised by cultural reticence.

As mentioned in the last century by Konrad Wachsmann, one of the most famous contemporary philosophers of innovation *"Wood as a building material, since ancient times, has been rejected by the construction sector. Today it is as if he had lost credit. The reasons for this are difficult to detect. Perhaps one reason comes from the transformation of the craftsmanship process to industrial production that occurred very late. [...] We must learn to use this material, but starting from a new concept and towards new directions."*(Zorgno 1992)

The development of information technology and the appearance of numerical control machines (CNC) in the last part of the twentieth century has certainly revolutionized the production of buildings, freeing it from industrial standardization to a customization approach, of components and systems, have complete wood development

industriale degli anni Cinquanta verso la diversificazione dei componenti e dei sistemi, e sicuramente completando per il legno quel passaggio dalla bottega alla fabbrica, che già 70 anni prima Wachsmann aveva previsto. In questo contesto “il progetto di architettura si può riappropriare della sua centralità” (Roccatagliata, 2002), delineando nuovi scenari per la progettazione frutto della ricerca e della sperimentazione pratica, come parte integrante del processo di produzione.

from the workshop to the factory, as theorized by Wachsmann already 70 years before. In this context, "architectural design can regain possession of its centrality" (Roccatagliata, 2002), outlining new architectural scenarios coming from the research and practical experimentation, as a part of the whole production process.



Figura 4_ *Innovative use of wood by using modern prefab and digital technologies* (fonte: A.Spinelli, 2012)

I nuovi sistemi e le tecniche costruttive in legno, tendenzialmente orientate alla produzione industriale con diversi gradi di prefabbricazione, hanno ampliato gli orizzonti operativi di questo materiale nel progetto. “L’introduzione di materiali lignei ingegnerizzati ha permesso di impiegare il legno in una varietà di strutture di tipo diverso, dagli impianti sportivi, ai ponti, alle scuole, agli edifici multipiano per uffici, residenza, etc” (McLeod, 2010).

The new wood systems and construction techniques are basically oriented to industrial production concerning various degrees of prefabrication. They have expanded the horizon of this material in the architectural frame. *"The introduction of engineered wood products has allowed the use of wood in a variety of structures of different types, from sports facilities, to bridges, schools, multi-storey buildings, office, workplace, etc"* (McLeod, 2010).

Questa apertura è dovuta sicuramente ad alcuni vantaggi impliciti - dalla produzione off-site dei componenti, alla certezza dei tempi di realizzazione, al controllo del cantiere, alla riduzione di tempi e costi, alle migliori prestazioni in alcuni ambiti di intervento (ristrutturazioni, sopraelevazioni, edilizia scolastica, etc), congiunte a prestazioni energetiche ed ecologiche rilevanti che trovano sempre più peso nei sistemi di valutazione ambientale ed energetica (Leed, Protocollo Itaca, CasaClima, Breeam, ARCA, etc).

This wide range of opportunity can be attributed to some inherent advantages - from off-site production of components to certainty of timing of implementation, easy management of the yard, reduction of time and cost, increased performance (in particular in refurbishment, rooftop, school, temporary buildings, etc). Wood permits to achieve low energy values and high ecological performances, that are becoming increasingly important in the environmental and energy ratings system for building (such as LEED Protocol Ithaca, CasaClima, Breeam, ARCA, etc.).

L'avanzamento nel settore edile delle

tecnologie di produzione (ad es: macchine a controllo numerico, prototipazione avanzata, fabbricazione digitale, ...) e la possibilità di un processo di lavorazione senza attriti dalla fase di indagine, a quella di progettazione e produzione basata su dati digitali permette oggi la completa produzione industriale off-site di elementi costruttivi (ad es: elementi di facciata, elementi di copertura, moduli prefabbricati, ...). Queste possibilità sono alla base della concezione di nuovi manufatti che partono da una produzione industriale fin dalla fase di progettazione. Questo è ben evidenziato nella mostra avvenuta al MOMA nel 2008 dal titolo "Home Delivery: Fabricating the Modern Dwelling", in cui, ripercorrendo la storia della prefabbricazione di sistemi e componenti fin dall'inizio del secolo scorso, si è tracciato lo stato dell'arte delle ultime tecniche di prefabbricazione legate alla produzione dei manufatti edilizi. Le tecnologie industrializzate moderne, tra cui oggi prevale l'impiego materiali a base legnosa, sono frutto di un trascorso di esperienze ed esperimenti orientati all'ottimizzazione del processo di produzione, che riducendo i tempi e gli scarti (grazie all'impiego di macchine automatiche di taglio e macchine di giunzione e all'ottimizzazione delle lavorazioni) ha consentito di raggiungere un risparmio quantificabile in termini economici e di risorse. Le procedure all'interno di un processo off-site consentono, in un ambiente industriale coperto e controllato, il raggiungimento e il controllo di livelli di qualità elevati. Il grado di prefabbricazione previsto è determinato dal tipo di tecnologia impiegata, dalle dimensioni del componente da produrre, dai limiti di trasporto, dalle procedure di movimentazione in sito. L'analisi delle condizioni di partenza è fondamentale per il lavoro di preparazione del processo. I vari livelli di prefabbricazione sono caratterizzati dalla complessità e completezza dei componenti edili, dalle

The progress of the production technologies in the construction sector (eg: numerical control machines, advanced prototyping machine, digital fabrication, ...) and the possibility to have a working process without friction from the investigation phase to design and production stage, based on digital data flow, allows the complete off-site manufacturing of building elements (eg, facade elements, roof elements, prefabricated modules, ...).

These possibilities are the basis for the design of new products that forecast an industrial process since the design phase. This is well illustrated in the exhibition "Home Delivery: Fabricating the Modern Dwelling", that took place at the MOMA in 2008, where, retracing the history of prefabrication of components and systems from the beginning of the last century, we trace the status of 'art of the last prefabrication techniques related to the production of building products.

The modern industrialized technologies, among which prevail the use of wood-based materials, are the result of numerous experiences and experiments aimed to optimize the production process, reducing waste and time (through the use of automatic cutting and joining machines and optimized working plant) and achieving a quantifiable saving in terms of cost and resources. The ways within a off-site process permit, in an industrial protect and controlled environment, to achieve levels of high quality. The degree of prefabrication provided is well defined by the type of technology employed, the size of the component to be produced, by the limits of transport and handling on site.

The analysis of initial conditions is fundamental to manage the whole process. The various levels of prefabrication are characterized by complexity and completeness of the building components,

semplici maglie strutturali, agli elementi isolati o completi di finiture superficiali ed eventualmente finestre e vetri.

from simple structural frames, to isolated elements or complete finished surfaces with eventually windows and glass.



Figura 5_ TES Energy Facade project. Hannover housing refurbishment, Latke Arkitekten, 2011(fonte: A.Spinelli,2012)

I vantaggi dei sistemi costruttivi in legno, caratterizzati da un alto grado di prefabbricazione sono:

- Maggiore velocità di montaggio e alto livello di qualità dei particolari costruttivi
- Semplificazione dei processi in sito
- Miglioramento delle prestazioni di risparmio energetico e di gestione dell'umidità
- Possibilità di customizzazione all'interno del processo industriale
- Prevedibilità dei costi e del cronoprogramma delle varie fasi.

Il coordinamento del processo decisionale e delle procedure di lavoro gioca un ruolo fondamentale all'interno del processo produttivo off-site, condizionato dalla comunicazione globale tra clienti, progettisti e imprese durante tutto il processo sui contenuti più rilevanti. Josef Kolb⁷ spiega nel suo testo, come l'interrelazione delle singole fasi del processo sia fondamentale per la corretta realizzazione dell'opera di un manufatto definito da un processo industrializzato. La programmazione dell'intervento ha un intervallo di tempo definito compreso tra progettazione e produzione, in cui avviene il reperimento dei materiali secondari (finestre, isolanti, etc..). La riduzione della fase costruttiva a

The asset of wood building systems, characterized by an high degree of prefabrication are:

- Faster installation and high quality of construction details
- Quick assembly processes on site
- Improvement of the performance of energy saving and moisture management
- Possibility of customization within the industrial process
- Certainty of costs and time schedule in the various stages.

The management of the decision-making and working process plays an important role in the off-site production approach, affected by the global communication between clients, designers and contractors throughout the whole process.

Josef Kolb⁷ explains in his text, such as the interrelationship of the individual phases of the process is critical to the successful of the work of a building defined by an industrialized process. The programming of has a defined period of time between design and production stage, among which there be the finding of secondary materials (windows, insulation, etc. ..). The reduction of the construction phase to simple assembly of

⁷ J. Kolb, Systems in timber engineering : loadbearing structures and component layers, Birkhäuser, Berlin, 2008

semplice assemblaggio di parti è frutto di un maggiore investimento di tempo e risorse nella fase progettuale e organizzativa del processo.

3. Il progetto Naturwall: facciata multifunzionale in legno per la valorizzazione del patrimonio esistente

In Italia l'introduzione della normativa energetica con gli standards derivati dalla legislazione europea ha portato ad operare trasformazioni del patrimonio orientate alla definizione di stratigrafie di facciata in grado, da una lato di ottemperare ai valori energetici normati, dall'altro di rispondere ad una domanda di rinnovamento funzionale e formale del patrimonio. A sostegno di questa premessa si richiamano gli esiti di due ricerche: la prima è una rilevazione Istat del 2001 da cui emerge quanto sia elevato il numero di abitazioni esistenti costruite prima della crisi energetica degli anni '70 e quanto alto sia il consumo di edifici concepiti in un momento storico nel quale non vi era un'attenzione rispetto ai temi di sostenibilità energetica e ambientale (circa 250 kWh/m² contro i 100 kWh/m² degli edifici costruiti negli anni '90). In particolare il miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici abitativi costruiti tra il 1950 - 1980 (housing di espansione ripetutosi ciclicamente nel secolo scorso), potrebbe avvenire attraverso strategie di retrofit sull'esistente in grado di portare benefici evidenti sulla riduzione delle emissioni di gas clima alteranti nei centri urbani italiani; la seconda è un'analisi

parts is the result of a greater investment of time and resources in the planning and management phase into the process.

3. Naturwall project: a multifunctional facade towards valorisation of the built environment

In Italy the introduction of energy regulation with standards derived from European legislation has led to further actions to the heritage oriented towards the definition of facade envelopes able, on the one hand to meet the energy values required, the other to answer a renewal claim about functional and formal features.

To support this premise, we show the results of two studies: the first is the outline of an Istat survey of 2001 which shows how high was the number of existing houses built before the energy crisis of the '70s and how much is the consumption of those buildings designed in a historical moment in which there was no attention on the issues of energy and environmental sustainability (about 250 kWh/m² compared to 100 kWh/m² of buildings built in the '90s).

In particular, the improvement of energy efficiency of residential buildings built between 1950 - 1980 (cyclical housing development during the last century), may be through retrofit strategies that would lead to the obvious benefits about reduction of climate-altering gases in Italian urban areas.

The second research is an analysis conducted by Politecnico of Torino, which shows an existing building environment very

condotta dal Politecnico di Torino⁸, da cui emerge un parco edilizio esistente inefficiente, variegato e molto vasto su cui intervenire attraverso operazioni di riqualificazione. Uno scenario ampiamente confermato dalla ricerca Legambiente "classe A"⁹, che conferma la scarsa attenzione nella posa in opera di manufatti efficacemente isolati.

La **ricerca Naturwall[®]** introduce un approccio al rinnovamento dello stock edilizio caratterizzato da una progettazione orientata alla prefabbricazione, che massimizzando i vantaggi della produzione off-site dei componenti edilizi si distingue dal semplice "rivestimento" del manufatto attraverso la ricerca di un componente di involucro in grado di attivare processi dinamici e adattativi rispetto alle sollecitazioni dell'ambiente esterno.

Nonostante l'utilizzo del legno nel settore edile sia in crescita in Italia, l'impiego di componenti leggeri nell'intervento sul costruito rimane ancora un ambito di applicazione poco praticato nel nostro paese.

inefficient, wide and varied to be tackled through redevelopment actions.

A scenario amply confirmed by research Legambiente "Classe A"⁹, which confirms the lack of energy saving solutions in the last residential buildings realized in Italy.

Naturwall[®] research meant to introduce a prefabricated design approach in the renovation of building stock that, maximizing the benefits of off-site production of building components. It is distinguished from simple "re.cover" strategy, in the direction to find an housing component able to activate dynamic and adaptive processes referred to the stresses coming from the external environment.

Despite the use of wood in construction is increasing in Italy, the use of lightweight components in the intervention on the built environment remains a little area of interest in our country.

⁸ Progetto TABULA _ progetto europeo per la categorizzazione del patrimonio edilizio italiano su cui attivare interventi di retrofit energetico (<http://areeweb.polito.it/ricerca/tabula/>)

⁹ La ricerca promossa da Legambiente ha mostrato come anche l'edilizia di nuova costruzione mostri problemi dal punto di vista energetico, per la scarsa attenzione ai particolari costruttivi e alle modalità di posa in opera.

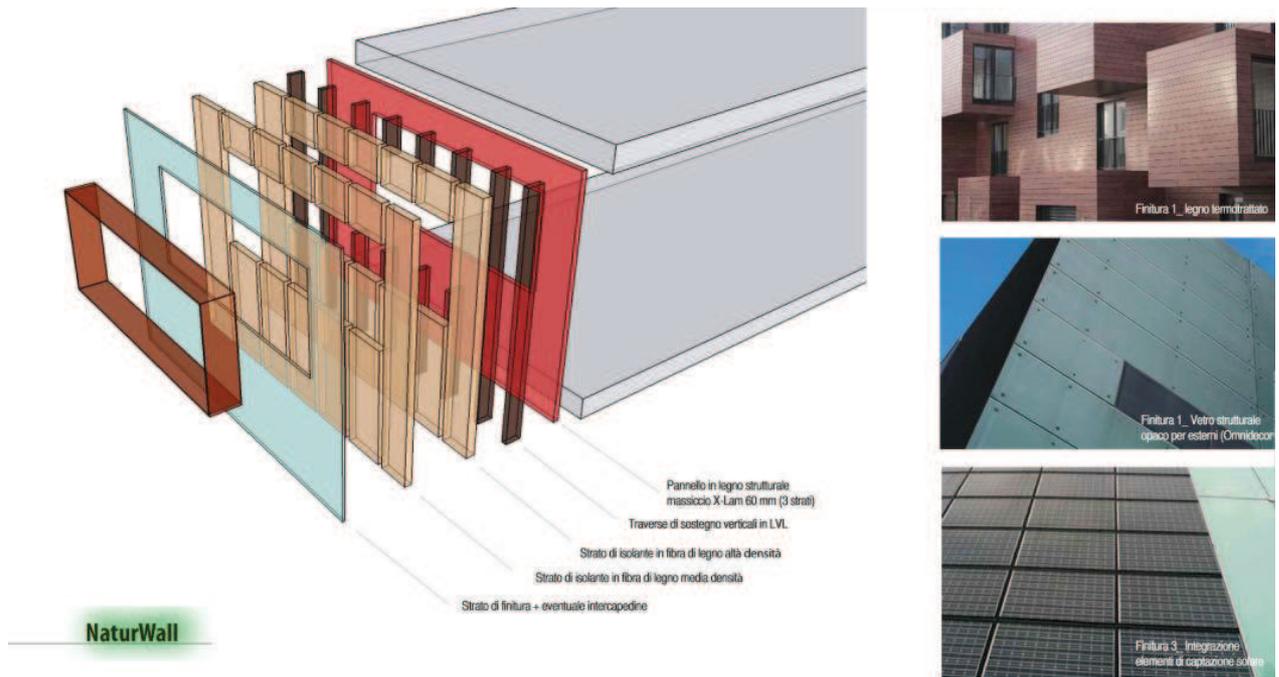


Figura 6_ Outline schema of Naturwall wood prefab system for refurbishment of existing buildings

L'obiettivo della ricerca 'Naturwall' risiede nello studio, nella progettazione e realizzazione di un sistema prefabbricato di facciata in legno multifunzionale e integrato in grado di migliorare le qualità energetiche, ambientali ed estetiche degli edifici esistenti.

The aim of the research lies in the study, design and construction of a prefabricated wood multifunctional and integrated façade able to improve the savings of energy and the environmental and aesthetic quality of existing buildings

3.1 Casi studio di riferimento: Tes energy facade e Gap Solution system

3.1 Reference case studies: Tes energy facade and Gap Solution system

Per la concezione del progetto si è svolta un'indagine preliminare per individuare progetti o prodotti simili già esistenti.

For helping the design of the new component has been conducted a preliminary investigation to identify similar projects or products.

Il primo progetto indagato, TES Energy Facade¹⁰, è l'esito di una ricerca europea sulla definizione di un processo di riqualificazione edilizia basato su elementi di facciata a telaio prefabbricato in legno. I punti di forza di questo progetto sono sicuramente la versatilità del prodotto, la predisposizione di tutti i componenti di facciata (finestre,

The first project, TES Energy Facade, is the outcome of a European research on the definition of a process of renovation based on prefabricated wooden elements. The strengths of this project are the versatility of the product, the arrangement of all components of the facade system (windows,

¹⁰ www.tesenergyfacade.com/

involucro esterno, etc..) nel componente finito, il grado di adattamento a varie tipologie edilizie (residenziale, terziario, industriale, etc..), la velocità di montaggio, un processo coordinato dalla fase di rilievo, alla produzione e posa in opera del componente attraverso l'utilizzo del BIM (Building Information Modelling), la possibilità di variare le finiture superficiali per conferire un'immagine differente al manufatto esistente. Lo studio del processo è probabilmente il "main frame" di questa ricerca, in quanto le operazioni sono state studiate per comunicare tra loro e definire i vari step in una sequenzialità progettuale molto precisa. Il sistema testato su alcuni casi studio pilota e tuttora applicato in numerosi casi di recupero edilizio.

La realizzazione di manufatti sempre più complesse necessita l'introduzione di strumenti di conoscenza in grado di favorire lo scambio di informazione e l'interoperabilità tra la fase tecnica del progetto a quella tecnica della realizzazione (Losasso, 2011).

Il secondo sistema analizzato è il GAP Solution Facade System, un sistema integrato di parete multifunzionale con struttura portante in legno. L'innovazione di questo sistema risiede nella stratigrafia del componente in cui si ritrova un isolamento con pannelli a nido d'ape in cartone che posizionato prima di un intercapedine d'aria e di uno strato trasparente in vetro conferisce prestazioni dinamiche al componente. Il comportamento è simile a quello di un accumulatore, la radiazione che penetra all'interno dei fori rimane bloccata consentendo un aumento di temperatura che riduce i ponti termici e la dispersione nei mesi freddi, in estate la struttura tridimensionale funge da elemento riflettente per la radiazione stessa. Il componente è studiato per integrare altri sistemi di captazione dell'energia solare (pannelli fotovoltaico o solare termico). Il punto di forza di questo prodotto risiede nello sfruttamento massimizzato delle fonti

casing, etc. ..) the degree of adaptation to various types of buildings (residential, commercial, industrial, etc. ..), the speed of assembly, the management of the process by the relief phase, to production and installation (this could be easy through by the use of BIM-Building Information Modeling), finally the surface finishes could change to impart a different language to the existing building envelope.

The whole process management is probably the "key point" of this experience, all the operations have been designed to communicate with each other and define the various steps in a sequential process very strict. The system early tested on pilot case is today applied in many cases of building renovation.

Making complex buildings needs the introduction of instruments of knowledge can facilitate the exchange of information and interoperability between the technical phase of the project to the realization stage (Losasso, 2011).

The second case study is the GAP Solution Facade System, an integrated multifunctional wall on wooden frame.

The innovation of this system stay in the layers of the component in which one finds an insulation panels with cardboard honeycomb, positioned before an air gap and a transparent glass, that give a dynamic behavior to the whole panel.

The partition works such as an accumulator, the radiation that come inside the holes remains locked allowing an increase in temperature which reduces the thermal bridges and the dispersion in the cold months, in the summer the three-dimensional structure works like as a reflective element for the radiation one.

The component is designed to integrate other solar energy systems (such as photovoltaic or solar thermal panels). The strength of this product lies in the exploitation of renewable energy sources

rinnovabili in particolare dell'energia solare e nel suo aspetto estetico particolare con una finitura superficiale trasparente su un involucro opaco.



that maximize solar energy, and in particular its exterior appearance with a transparent surface on close envelope.



Figura 7_ Sx: GAP System (<http://www.gap-solution.at/>). Dx: Tes Energy project (<http://www.tesenergyfacade.com/>)

3.2 Naturwall: caratteristiche del sistema costruttivo

Il **progetto NaturWall**, partendo da alcuni presupposti del progetto europeo TES e dal sistema GAP, intende configurare un processo applicabile alle condizioni del patrimonio edilizio e del sistema produttivo italiano.

La progettazione dell'involucro edilizio, in quanto 'interfaccia operativa' nel rapporto tra l'ambiente costruito e il paesaggio, urbano o naturale che lo circonda richiede una attenzione particolare nel rispondere alle esigenze di comfort, qualità e risparmio determinate dalle istanze della società civile attuale.

Il sistema costruttivo in legno Naturwall aumenta le performances ambientali dell'involucro, attraverso l'impiego di legno certificato e di provenienza locale,

3.2 Naturwall: building system features

The NaturWall project, starting from some assets of the European TES and GAP systems, is setting up a process relevant to the conditions of the Italian building sector. The design of the envelop, such as 'operating interface' in the relationship between the built environment and the landscape, urban or natural, that surrounds it requires special attention to meet the needs of comfort, quality and cost savings determined by to the assets of civil society.

The Naturwall construction system increases the environmental performance of the housing envelope, through the use of certified wood and locally sourced, maximize the benefits of prefabricated production, reducing the waste of resources

massimizza i vantaggi della produzione prefabbricata, riducendo lo spreco di risorse e aumentando i livelli di qualità del componente, consente l'integrazioni di sistemi di captazione di energia da fonti rinnovabili, non dimenticando l'attenzione rispetto agli esiti formali del prodotto finito.

Predisponendo una metodologia ben precisa, in grado di indagare le condizioni di partenza del manufatto, sarà possibile tradurre le informazioni dimensionali dell'edificio di partenza alla fase di produzione industriale degli elementi, per concludere il processo con la posa in opera dei componenti.

Il potenziale della progettazione parametrica e della produzione digitale consente una radicale trasformazione del processo verso la customizzazione e la produzione off-site di componenti finiti per l'applicazione anche su edifici di tipologie differenti. Un involucro con struttura in legno, leggero e flessibile, tipologicamente versatile ed economicamente sostenibile rispetto ai diversi ambiti di intervento, in grado di implementarsi con l'esistente, aggiungendo sistemi tecnologici più avanzati e strategie di facciata innovative (facciata ventilata, cappotto termico, sistemi di raffrescamento e ventilazione, etc...), capace di garantire l'integrazione di impianti e sistemi di captazione di risorse rinnovabili (sistemi domotici, sistemi di oscuramento, moduli solari termici e fotovoltaici, etc...), tipologie differenti di rivestimento (intonaco, pannelli, listelli, doghe, scandole, etc...). Nello specifico è stato necessario concepire il componente rispetto alle sue prestazioni ma anche rispetto al processo di posa in opera, massimizzando i vantaggi dei processi di progettazione e prefabbricazione avanzata con sistemi costruttivi a secco.

Il progetto che si sta avviando alla fase sperimentale, ha il proposito di stimolare un ripensamento del processo di retrofit, che ponga la massima attenzione rispetto alle prestazioni dell'involucro edilizio ma anche ai risultati formali ed estetici dell'intervento.

and increasing the levels of component quality. It allows system integration that uptake energy from renewable sources. The finishes are studied in relationship with the context, careful to maintain formal and aesthetic value.

Preparing a specific relief methodology, able to investigate the starting conditions of the building, it will be possible to translate the information about the building to the starting phase of industrial production, managing early the last step of laying in the yard.

The potential of parametric design and digital production allows a radical transformation of the process towards customization and off-site production for the application even on different types of buildings.

As a wood based envelope, lightweight and flexible, versatile and typologically affordable, Naturwall respect the different areas of intervention.

Adding technological and innovative strategies (ventilated facades, external insulation systems cooling and ventilation systems, etc ...), capable of ensuring the correct behavior related to the surrounding and the integration of other systems, such as renewable resources (home automation systems, dimming systems, solar thermal and photovoltaic modules, etc ...) or different types of coating (plaster, paneling, moldings, staves, shingles, etc ...).

Specifically, it was necessary to conceive the component with respect to its performance but also in the process of installation, maximizing the benefits of prefab design and processes concerning dry advanced building systems.

The project is coming up to an experimental stage, it has the purpose of stimulating a rethinking on the retrofit process, which take the utmost care to the performance of the building envelope as well as the results

3.3 Naturwall: strategie di intervento e posa in opera

La concezione di un processo industrializzato per l'intervento sul patrimonio esistente, attraverso una metodologia lineare e l'impiego di tecniche di rappresentazione, rilievo e modellazione virtuale consente di progettare un componente capace di aderire perfettamente all'involucro da riqualificare. Il campo di applicazione primario di questo componente sono gli edifici residenziali plurifamiliari realizzati tra gli anni '50 e '80 del secolo scorso. Questi edifici, di cui si possono rintracciare i caratteri dalla ricerca TABULA, accennata all'inizio del punto 2, sono caratterizzati da forme semplici, vicine al rapporto S/V tra il 0.5-0.7, e una serie di facciate libere su cui intervenire con diverse strategie.

of formal and aesthetic surgery.

3.3 Naturwall: make up strategies and laying phase

The conception of an industrialized process for the intervention on existing built environment, through a linear methodology and the use of techniques of representation, relief and virtual modeling permit to design a component that fits tightly around the enclosure to be upgraded. The primary scope of this component were the multi-family residential buildings built between the years '50 and '80's of the last century.

These buildings, of which we can trace the characters from the research TABULA, mentioned at the beginning of Section 2, are characterized by simple shapes, close to the S / V ratio between 0.5-0.7, and a number of free fronts on which we can develop with different approaches.

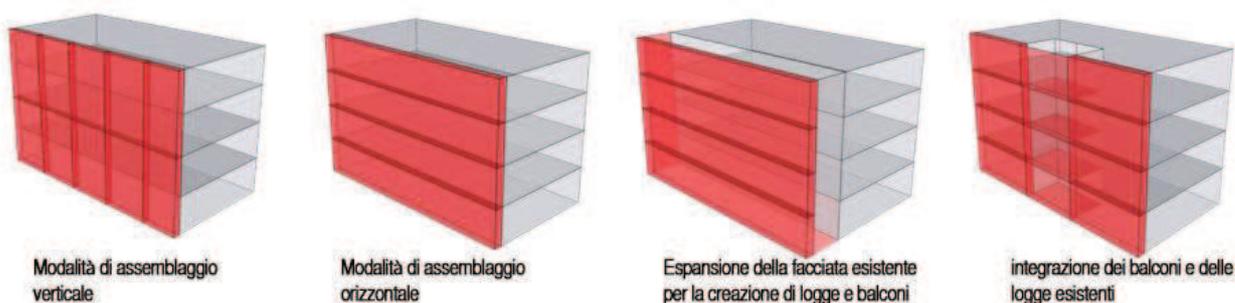


Figura 8_ Schema of different approach in the use of the facade system on the existing wall

Attraverso il rilievo preventivo dell'edificio è possibile individuare i punti critici dell'involucro presente e studiare soluzioni in grado di risolvere i nodi particolari più impegnativi.

Le strategie con cui applicare i nuovi componenti alla facciata dell'edificio esistente sono molteplici: il processo costruttivo più semplice può avvenire attraverso la disposizione di elementi verticali o orizzontali sulla partizione esistente, oppure

Through the preliminary survey of the existent building you can find the critical points and study solutions that solve particular nodes more challenging.

The strategies in which to apply the new components to the facade of the building are many: the constructive process more simple may be the provision of vertical or horizontal elements on the existing partition, or by positioning the new case at a very close distance from the present one to

posizionando il nuovo involucro ad una certa distanza da quello presente per ampliare la volumetria dell'edificio; operazione più complessa rimane l'integrazione di volumi esterni esistenti, come logge e balconi.

expand the volumes of the building, more complex is the integration of external volumes that already exist, such as loggias and balconies

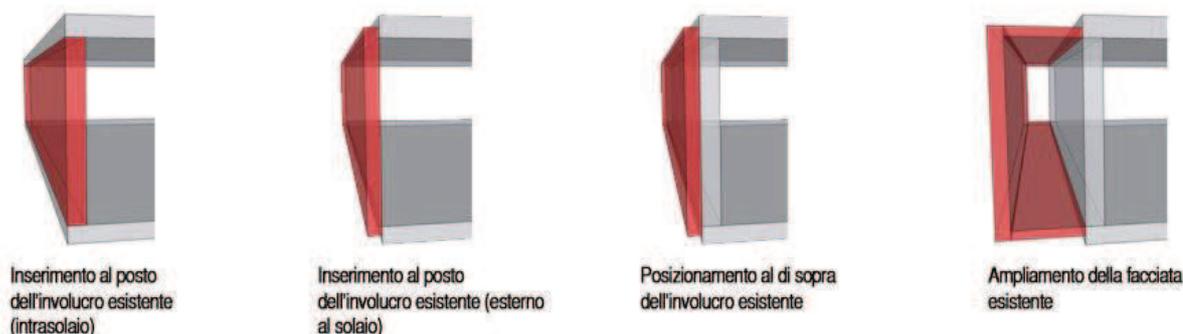


Figura 9_ Different strategies of laying of the Naturwall system on existing envelope

Il sistema Naturwall ha uno strato di appoggio alla struttura composta da una parete multistrato in legno massiccio a tavole incrociate (X-Lam) di minimo spessore, che funge da elemento autoportante per la stratigrafia di elementi dell'involucro (isolanti, finiture, impianti, partizioni trasparenti etc..) Per quanto riguarda la posa in opera, si è prevista l'applicazione del componente secondo le seguenti modalità:

– **Componente applicato su involucro esistente.** Non è prevista la rimozione della partizione esistente. L'involucro precedente è utilizzato come elemento di inerzia termica. Le partizioni trasparenti vengono rimosse, e le nuove posizionate in corrispondenza, ampliando l'imbotte della parte finestrata. La seguente modalità risulta la più rapida nelle fase di esecuzione, ma richiede un'accurata verifica della posizione delle aperture per riportarle esattamente sulla nuova partizione.

– **Componente applicato al posto dell'involucro esistente.** La vecchia partizione dell'edificio esistente viene rimossa, lasciando a vista la struttura esistente. Al posto della precedente partizione viene inserito il nuovo involucro, nello spazio presente tra i due solai. La modalità di esecuzione ha tempi più lunghi, in quanto prevede una fase di demolizione precedente,

Naturwall system has a layer of support to the structure made from a cross laminated timber panel (X-Lam) of minimum thickness, which acts as a self-supporting element for the stratigraphy of the envelope (insulation, finishes, plants, partitions transparent, etc. ..).

It is provided the application of the component according to the following ways:

– **Component applied on existing envelope.** This way use the existing wall as an element of inertia, the existing transparent partitions will be removed, and new one positioned in the same position.

As regard the construction phase the following method is the fastest in the timing of execution, but requires a careful monitoring of the position of transparent openings previously run them on a new body.

– **Component applied instead existing envelope.** The old partition of the existing building is removed, leaving exposed the existing structure. The new partition is took in place on the existing structure, accurately inserted into the space between the two floors.

The realization is longer than first case, as it involves the demolition of the existing wall,

ma garantisce una riduzione del peso e dello spazio perimetrale. La giunzione tra gli elementi in facciata avviene tramite sporti sul nuovo involucro che si attestano sulla struttura di sostegno a livello della soletta.

Componente aggiunto per ampliamento dell'edificio. In questa situazione il componente prefabbricato diviene elemento tridimensionale, in grado di ampliare la partizione esistente (la quale può essere eliminata) con un volume delle dimensioni di un balcone/loggia, aumentando lo spazio e il volume degli ambienti interni dell'edificio. Le modalità di esecuzione possono essere ridotte portando gli elementi già prefabbricati al sito di cantiere e procedendo con un semplice assemblaggio di parti.

4. Conclusioni

Il progetto Naturwall rappresenta un esplorazione tecnologica e progettuale tra le strategie di retrofit più moderne. Il patrimonio edilizio esistente non più in grado di soddisfare le esigenze di confort abitativo e risparmio energetico, pone al centro del dibattito la ricerca di soluzioni in grado di elevare le performances e rinnovare l'immagine del tessuto urbano. Naturwall, caratterizzandosi come possibile risposta al tema della riqualificazione edilizia, propone un 'interfaccia operativa' innovativa in grado di conferire nuova enfasi al tessuto esistente, inefficiente e datato, dei contesti urbani italiani. Un sistema adattabile alle tipologie edilizie presenti, efficiente e integrato, con un grado di personalizzazione che ne garantisce la rispondenza ai diversi contesti climatici ed architettonici. Un sistema costruttivo versatile, frutto di un processo di produzione razionalizzato e controllato, che ne garantisce l'elevata qualità e la certezza dei costi. Il legno è giustificato per gli indubbi vantaggi in situazioni in cui il peso delle strutture diventa un fattore dominante. L'adozione di

but ensures a reduction of the amount of load and space.

The junction between the elements takes place through an addition part on the wooden structure at the level of the slab.

Component added to extend the building. In this situation the prefabricated component becomes a three-dimensional element that extends the existing building (which could be deleted) with a volume of the size of a balcony / loggia, offering a surplus percentage of space and volume to the interior of the building.

The execution can be reduced by bringing the elements already pre-mounted at the site of construction and working with a simple assembly of parts.

4. Conclusions

Naturwall project is a first exploration in the modern design strategies for retrofit and refurbishment. The existing building of the city no longer close to the needs of comfort and energy savings, are at the center of the debate, about the research for better solutions that can maximize performance, reduce loss of energy and renew the image of the urban fabric.

Naturwall, developed as a possible answer to the issue of building renovation, offers an innovative interface capable of giving new emphasis to the fabric in the Italian urban contexts.

A system ready to different types of buildings, efficient and integrated, with a degree of customization that guarantees the fulfillment of the different climatic and architectural features.

A flexible building system, result of a production process streamlined and controlled, which ensures high quality and certainty of costs.

The use of wood is certainly advantageous in situations where the weight of the

sistemi costruttivi a secco, altamente reversibili, con le caratteristiche naturali della materia prima impiegata, permette anche il raggiungimento di performances ambientali elevate. L'ausilio di tecniche di prefabbricazione avanzate riporta in auge il ruolo del progettista all'interno del processo, ponendolo in una posizione centrale rispetto agli altri attori coinvolti, consentendo valutazioni più approfondite delle problematiche relative all'intervento sul costruito, molteplici e differenti rispetto ad un intervento di nuova costruzione. L'utilizzo di componenti prefabbricate può tradursi in garanzia di qualità costruttiva e di controllo del processo che intercorre tra la progettazione e la fase realizzativa del manufatto. Il progetto Naturwall è un'esperienza di ricerca innovativa, che attraverso l'adozione di sistemi di prefabbricazione leggera per il rinnovamento del patrimonio edilizio esistente, vuole indurre una riflessione sulle strategie di intervento sul patrimonio costruito e sull'utilizzo della prefabbricazione stessa in Italia, per fornire nuove direzioni di sviluppo al lavoro di progettisti e degli addetti del settore.

structures becomes a key issue.

The adoption of dry construction systems, that enhance maintenance and reversibility, joined to natural resource effect, increases the environmental performance of the operation.

The use of prefabrication techniques brings the designer to its central role in the process, with respect to other stakeholders, allowing him to more easily evaluate issues relating to intervention on existing building, which are multiple and different compared to an intervention of new construction.

The use of prefabricated components can be an assurance, in reference to the construction quality and control of the process that elapses between the design and the construction phase of the building.

The project Naturwall is an experience of innovative research, proposing the adoption of lightweight prefab systems for the renovation of existing buildings, wants to induce a reflection on retrofit strategies and the use of prefabrication in Italy to provide new directions to work of designers and industrial enterprises.

3. References

1. Boeri, A., Longo, D., Piraccini, S., (2012) Il progetto dell'involucro in legno. Qualità costruttiva ed efficienza energetica, Flaccovio Dario
2. Benedetti, C. (2011), Costruire con il legno. Edifici a basso consumo energetico, Bolzano University Press
3. Callegari, G., Zanuttini, R., (2010) Boislab, il legno per un'architettura sostenibile, Alinea, Firenze
4. Calkins, M, (2009) Materials for sustainable sites: a complete guide to evaluation, selection and use of sustainable construction materials, John Wiley & Sons, New Jersey p.270
5. Cei-Bois (2006) Tackle Climate Change: Use Wood, Cei-Bois, Bruxelles

6. CORRIM (2005) CORRIM reports on environmental performance of wood building materials. Wood Fiber Sci 37 (CORRIM Special Issue)
7. Gaspari, J., "La strategia dell'addizione nei processi di riqualificazione energetica del costruito", *Progetto sostenibile*, n. 28, p.67-71 (2011)
8. Jaretti, S., "Riflessioni sul riuso del patrimonio edilizio globale", in P. Lombardi (a cura di) (2008) "Riuso edilizio e rigenerazione urbana, innovazione e partecipazione", Celid, Torino
9. Lavagna, M. , (2008) Life cycle assessment in edilizia, Hoepli, Milano
10. Kolb J., (2008) Systems in timber engineering : loadbearing structures and component layers, Birkhäuser, Berlin
11. A.Spinelli, (2012) Build On: aspetti di sostenibilità nell'intervento sul costruito. Tesi di dottorato in corso. XXV ciclo. Politecnico di Torino
12. Tucci,F., (2006) Involucro ben temperato: efficienza energetica ed ecologica in architettura attraverso la pelle degli edifici: con 50 casi di studio, Alinea, Firenze
13. Zorgno Anna Maria (1992)(A cura di), Holzhausba, Guerini Studio, Milano
14. Ryan E. Smith, (2011) Prefab Architecture: A Guide to Modular Design and Construction, Wiley

A.Spinelli (2012). NaturWall©: facciate in legno multifunzionali per la riqualificazione del patrimonio edilizio / NaturWall©:multifunctional wood façade in existent building refurbishment. Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN): 600- 620, vol.1, ISBN:8838761647 . In:"La Ricerca (Industriale) nella Produzione Edilizia: risultati ed orizzonti. 18-19 ottobre, Milano

Copyright © **2003- 2013** Maggioli **Editore**