



20.

# ilProgettoSostenibile

Ricerca  
e tecnologie  
per l'ambiente  
costruito

ISSN 1974-3327



## EDIFICI E AREE PRODUTTIVE

Valutazione ambientale e requisiti di sostenibilità delle aree produttive • Linee guida per le Aree Produttive Ecologicamente Attrezzate • Il Sistema di Gestione Ambientale d'area per l'attuazione e il controllo delle aree industriali eco-compatibili • Edifici industriali: dall'evoluzione storica alle ipotesi di riconversione ambientale • Fonti energetiche rinnovabili per le realtà industriali • Dall'igiene del lavoro alla sicurezza sul lavoro

## 20. **ilProgettoSostenibile** Edifici e aree produttive

### FOCUS

- 8. Valutazione ambientale e requisiti di sostenibilità delle aree produttive**  
*Elisa Conticelli, Simona Tondelli*
- 16. Linee guida per le Aree Produttive Ecologicamente Attrezzate**  
*Paola Gallo*
- 28. Il Sistema di Gestione Ambientale d'area per l'attuazione e il controllo delle aree industriali eco-compatibili**  
*Manuela Franco*
- 36. Edifici industriali: dall'evoluzione storica alle ipotesi di riconversione ambientale**  
*Annarita Ferrante*
- 42. Fonti energetiche rinnovabili per le realtà industriali**  
*Elisa Tomasinsig*
- 48. Dall'igiene del lavoro alla sicurezza sul lavoro**  
*Ferdinando Terranova*

### STUDI E RICERCHE

- 58. La riqualificazione sostenibile degli edifici industriali**  
*Orio De Paoli, Elena Montacchini*
- 64. Uno strumento di valutazione multidisciplinare per le nuove Aree Produttive Ecologicamente Attrezzate**  
*Angelamaria Molinari, Maurizio Riverditi, Enrica Vesce*
- 68. Sperimentazione sostenibile: un padiglione in bambù, acciaio e pannelli fotovoltaici**  
*Alex Riolfo*

### ARGOMENTI

- 74. Aree Produttive Ecologicamente Attrezzate: l'esperienza della Regione Toscana e la Rete CARTESIO**  
*Aldo Nepi*
- 78. Le Aree Ecologicamente Attrezzate nella Regione Emilia-Romagna**  
*Donato Pulacchini*
- 80. Aree Produttive Ecologicamente Attrezzate in Provincia di Milano**  
*Renato Galliano*
- 82. Piani Particolareggiati per Aree Produttive Ecologicamente Attrezzate nel Comune di Monte San Vito (AN)**  
*Francesca Sorricaro*
- 86. Il programma ASI ECOSOSTENIBILE per la gestione degli agglomerati industriali**  
*Maria Teresa di Mattia, Felice Lucia, Salvatore Puca*
- 88. Aree industriali ed edifici pluri aziendali: tra risparmio di suolo ed efficienza energetica. L'esperienza di Bolzano**  
*Giovanni Sarti*
- 90. Incentivazione delle Fonti Energetiche Rinnovabili per le Piccole e Medie Imprese**  
*Carmelo Spitaleri*
- 92. L'edilizia sostenibile protagonista del Premio all'Innovazione Amica dell'Ambiente**  
*Andrea Danese*

**ilProgettoSostenibile**  
Ricerca e tecnologie per l'ambiente costruito

Rivista trimestrale  
Anno 6 - n° 20 dicembre 2008

Registrazione Trib. Gorizia  
n. 5/03 del 9.9.2003

**Direttore responsabile:** Ferdinando Gottard

**Coordinamento editoriale:** Anna Raspar

**Direzione scientifica Focus:** Gianni Scudo

**Redazione:** Lara Bassi, Lara Gariup

**Progetto grafico:** Marco Klobas

**Editore:** EdicomEdizioni - Monfalcone (Go)

**Redazione e amministrazione**  
Via I Maggio 117 - 34074 Monfalcone - Gorizia  
tel. 0481.484488, fax 0481.485721  
e-mail: redazione@edicomedizioni.com

**Pubblicità:** EdicomEdizioni

**Stampa:** Grafiche Manzanesi - Manzano (UD)  
Stampato interamente su carta riciclata da fibre selezionate

**Prezzo di vendita:** Euro 20,00

**Abbonamenti:** Italia: Euro 50,00 - Estero: Euro 100,00

Gli abbonamenti possono iniziare, salvo diversa indicazione, dal primo numero raggiungibile in qualsiasi periodo dell'anno.

**Distribuzione in libreria**  
Joo Distribuzione  
via F. Argelati, 35 - Milano

La direzione lascia agli autori piena responsabilità degli articoli firmati. È vietata la riproduzione, anche parziale, di articoli, disegni e foto se non espressamente autorizzata dall'editore.

## PROGETTI E TECNOLOGIE

- 96. Laminato in zinco-titanio**  
*Centrale del latte di Vicenza*
- 97. Strutture in legno**  
*Edificio per uffici "Biooffice" a Correggioverde di Dosolo (MN)*
- 98. Strutture in legno lamellare**  
*Stabilimento Melinda a Segno di Taio (TN)*
- 99. Isolamento termico a cappotto**  
*Stabilimento del Gruppo Marposs a Travagliato (BS)*
- 100. Pavimenti in legno biocompatibili**  
*Edificio commerciale-didattico Cerchi nel grano (MI)*
- 101. Teli e guaine traspiranti**  
*Sede CME a Scandiano (RE)*
- 102. Fonti energetiche rinnovabili**  
*Uffici e laboratori Rainbow*
- 103. Illuminazione naturale**  
*Ampliamento e riqualificazione del centro commerciale "Centro Nova" a Castenaso (BO)*

## DOSSIER

- 105. Riqualificazione bioecologica palazzina direzionale Fenice Spa**  
*Cinzia Cerutti*



**Alex Riolfo**

Università degli Studi  
di Genova,

Dipartimento di Progettazione  
e Costruzione dell'Architettura,  
*Utopierealizzabili*

## Sperimentazione sostenibile: un padiglione in bambù, acciaio e pannelli fotovoltaici

*Un progetto sperimentale che coniuga le potenzialità del bambù con la produzione di energia rinnovabile in un involucro che funge da interfaccia energetico-ambientale tra spazio costruito e ambiente naturale.*

Il progetto sperimentale del padiglione in bambù, acciaio e solare fotovoltaico è il risultato di un lungo periodo di ricerca e nasce dall'interesse maturato negli ultimi anni intorno alle potenzialità d'uso del bambù come materiale da costruzione e alla sempre crescente necessità di ricorrere a forme di produzione energetica da fonti rinnovabili, specie se attraverso tecnologie integrate nell'involucro edilizio.

Già da alcuni anni il gruppo di progettazione *Utopierealizzabili* ha orientato le ricerche e le sperimentazioni architettoniche sull'uso di materiali alternativi "non convenzionali" come il bambù, graminacea dalle

ottime prestazioni fisico-meccaniche e con elevatissimi parametri di sostenibilità ambientale, studi evolutisi nel tempo in ricerche progettuali, applicazioni di laboratorio, realizzazione di prototipi sperimentali, oggetti di design e brevetti industriali, fino alla firma di un protocollo di intesa con il Comune di Settimo Torinese e il Laboratorio DICAT della Facoltà di Ingegneria di Genova.

Elemento di grande interesse tecnologico progettuale per il gruppo di progettisti risulta l'involucro edilizio quale interfaccia energetico-ambientale tra spazio costruito e ambiente naturale. Accanto alle strutture in bambù, infatti, il progetto del padiglione si concentra sull'integrazione

totale tra struttura portante, sistemi di controventamento, membrana ombreggiante e moduli fotovoltaici in silicio policristallino. Il generatore fotovoltaico integrato nell'involucro ha una potenza

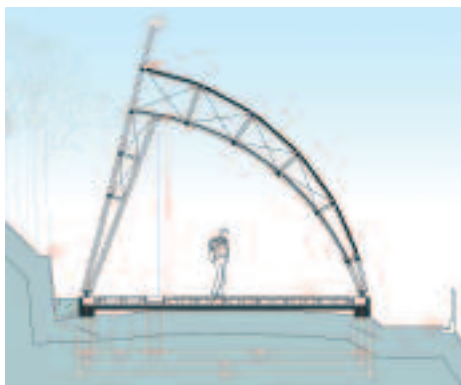


Figura 1. Vista generale del padiglione con struttura in bambù-acciaio e vela fotovoltaica a Olivetta San Michele (IM), ottobre 2008.





2



3

Figura 2. Vista della porzione di padiglione montata al Lingotto di Torino in occasione del congresso UIA 2008.

Figura 3. Sezione trasversale.

Figura 4. Dettaglio delle connessioni metalliche e dei morsetti d'acciaio Olivetta San Michele (IM), settembre 2008.

Figura 5. Dettaglio della connessione dei pannelli fotovoltaici alla struttura Olivetta San Michele (IM), settembre 2008.

Figura 6. Arelle ombreggianti in bambù Olivetta San Michele (IM), ottobre 2008.



4



5



6

nominale di 7,56 kWp in grado di erogare un'energia che si aggira intorno ai 22500 kW all'anno. L'impianto è stato realizzato dalla società Myenergy che ha curato sia la parte progettuale che quella operativa e di collaudo del generatore.

Il padiglione, dopo la sua prima esposizione al Congresso Mondiale degli Architetti "UIA 2008" tenutosi al Lingotto di Torino nel luglio 2008, è stato definitivamente installato a Olivetta S. Michele, piccolo comune del ponente ligure (IM) ove rimarrà per fornire elettricità al Palazzo Comunale, rendendolo autonomo sotto il profilo energetico.

La costruzione si presenta come una grande "vela fotovoltaica" curva, composta e sorretta da strutture reticolari ad arco rampante realizzate in culmi di bambù disposti in fascio e giunti metallici. La parte retrostante inclinata si sostiene a mezzo di pilastri reticolari di controspinta, sempre in bambù a fascio, rastremati al piede e ancorati a terra, come gli archi, con piastre metalliche studiate ad hoc per trasmettere al meglio gli sforzi al plinto di fondazione. Le sue dimensioni, di ingombro risultano 12 m di lunghezza, 7,5 m di larghezza e 7 m di altezza esterna con quella utile interna massima pari a circa 5 m. L'area di calpestio, 90 m<sup>2</sup>, è costituita da un piano leggermente rialzato e sostenuto da bancali di recupero in legno (nei

cui vuoti corrono gli impianti), accessibile a mezzo di scale e rampe e finito con pavimentazione in legno di larice. All'intradosso delle strutture, sul lato sud sotto i moduli fotovoltaici, una pelle in lamelle di bambù omogeneizza la percezione dello spazio interno definendo la volta rampante come superficie vibrante e avvolgente al tempo stesso. Vele in tessuto leggero possono essere issate a piacere tra le campate proteggendo la navata dall'acqua meteorica. Nel periodo estivo lo spazio interno, oltre a godere dell'ombreggiamento dovuto ai moduli fotovoltaici è climatizzato grazie a un velo d'acqua di recupero che, raccolta in vasche all'interno dell'ambiente, viene mantenuta in movimento attraverso un circuito aperto, a cascata. Tutti i sistemi elettrici, compreso l'impianto di illuminazione a LED e le luci del parco limitrofo, risultano completamente alimentati dall'energia prodotta dal generatore fotovoltaico.

Il progetto si pone a metà tra l'attività professionale e il lavoro di ricerca; i due aspetti, che si compenetrano, divengono infatti propedeutici al raggiungimento di alcuni obiettivi specifici come lo sviluppo di tecnologie alternative effettivamente applicabili sul territorio nazionale (il progetto è finanziato da un'amministrazione comunale e configura uno spazio pubblico per esposizioni ed assemblee) riportando

tuttavia alla luce l'annoso problema normativo. La mancanza di norme (sia prescrittive sia di consiglio) sul territorio nazionale relative all'impiego di materiali e tecnologie "non convenzionali" e la totale assenza di specifiche certificazioni per l'impiego delle stesse ha costretto i progettisti e i realizzatori a prove di laboratorio sul materiale bambù, sviluppate dal Laboratorio DICAT della Facoltà di Ingegneria di Genova, sotto la supervisione dell'Ing. Stefano Podestà. Tali prove (compressione, trazione, taglio, flessione) operate su un numero considerevole di provini "normalizzati" secondo le uniche norme internazionali esistenti, hanno consentito la caratterizzazione meccanica del materiale *Phyllostachys Viridis Glauchecens* e un suo razionale impiego, anche a fronte di specifiche verifiche numeriche. La realizzazione del Prototipo sperimentale ha richiesto l'impiego di circa 350 culmi di bambù italiano della specie *Phyllostachys Viridis Glauchecens* delle dimensioni di 6 metri utili di fusto (pianta alta circa 10 m), con sezione resistente esterna variabile tra i 60 mm e i 50 mm e spessori di parete non inferiori a 5 mm. A tale proposito è importante sottolineare come dal taglio dei culmi, avvenuto nel novembre 2007, la stessa quantità di piante risulti ricresciuta nel sito di prelievo, con le medesime caratteristiche di altezza e dimensione di chioma.

Figura 7. Particolare del sistema di giunzione e di chiusura dei fasci in bambù.

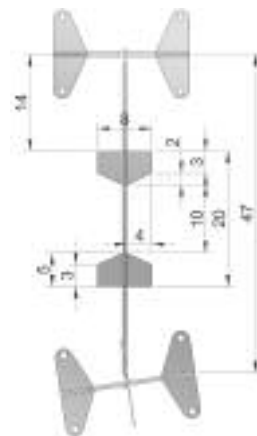
Figura 8. Dettaglio costruttivo dell'elemento di connessione in acciaio.

Figura 9, 10. Dettaglio costruttivo e particolare dell'attacco a terra.

Figura 11. La piastra di aggancio della struttura alla platea. Olivetta San Michele (IM), ottobre 2008.



7



8

### Aspetti progettuali

La progettazione dell'opera rimanda alla grande tradizione delle strutture a fascio in fibra vegetale tipiche delle culture del Sud America, dell'India, del Sud-Est Asiatico e dell'Africa Centrale in cui, come per il padiglione, non sono previste connessioni chiodate o bullonate ma, al contrario, si impiegano esclusivamente sistemi legati in grado di "costringere" alla collaborazione gli elementi del fascio senza determinare punti di discontinuità nelle fibre. Pertanto la progettazione degli elementi portanti e di tutte le parti strutturali del padiglione si è basata sull'impiego di connessioni non forate tra le canne, niente chiodature, bullonature o spinotti passanti tra culmo e culmo, tutto il sistema si basa sulla tensione di serraggio dei lacci di giunzione in cavo d'acciaio, in grado di garantire l'attrito necessario a equilibrare le forze in gioco.

La reinterpretazione in chiave tecnologica contemporanea di sistemi di giunzione tradizionali per le costruzioni in bambù è un elemento fondante del progetto.

I progettisti, convinti della bontà di soluzioni tecniche adottate e raffinate in numerosi secoli di impiego del bambù, hanno di fatto tradotto quel bagaglio di conoscenze in sistemi capaci di:

- riprodurre l'efficienza di sistemi selezionati dalla storia del costruire;
- rispondere a istanze normative legate alla prestazione in opera di componenti edilizi;
- garantire un'agevole e corretta manutenzione.

La progettazione ha previsto metodologie e prassi operative tese a semplificare tempi e azioni di posa degli elementi costruttivi attraverso il ricorso alla modularità, alla reversibilità e allo studio di componenti facilmente gestibili da personale non specializzato.

Il padiglione è stato, altresì, progettato con l'in-

tento di ottimizzare le fasi di trasporto delle strutture realizzate in prefabbricazione, agevolandone la produzione in serie dei loro componenti e una razionale ingegnerizzazione del processo costruttivo, in relazione anche alle esigenze di montaggio e smontaggio sorte in occasione dell'esposizione temporanea avvenuta al Lingotto di Torino.

La realizzazione del padiglione ha comportato le seguenti fasi progettuali e operative:

1. progettazione architettonica preliminare definitiva ed esecutiva;
2. progettazione tecnico-meccanica e strutturale;
3. interfaccia tecnico-progettuale con le aziende fornitrici degli impianti tecnologici (fotovoltaico e altro);
4. realizzazione dei componenti costruttivi in prefabbricazione;
5. assemblaggio in opera delle parti a mezzo di personale specializzato sotto la D.L. di *Utopierealizzabili*;
6. coinvolgimento degli studenti di

Architettura attraverso l'organizzazione del workshop "Costruire con il bambù" organizzato presso la facoltà di Architettura del Politecnico di Torino dal Centro di Tecnologia Architettura e Città nei PVS e dal LATEC.

### Obiettivi specifici della ricerca progettuale

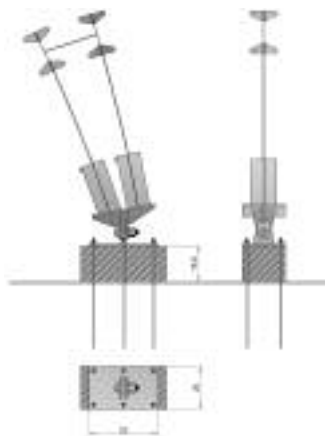
- Sviluppo di tecnologie sostenibili, anche attraverso l'ibridazione tra prassi costruttive convenzionali e non convenzionali, nella progettazione di spazi pubblici;
- bassissimo impatto ambientale dell'intervento;
- totale ecocompatibilità dell'intervento;
- alta qualità architettonica;
- elevato grado di comfort microclimatica estivo dello spazio progettato;
- costi di investimento altamente competitivi.

### La tecnologia

Le architetture in bambù presenti nel panorama mondiale presentano alcune differenze rispetto al progetto del padiglione. In America latina si sono sviluppate nuove tecniche costruttive in edilizia, favorite dal fatto, ad esempio, che la specie *Guadua Angustifolia Kunst* (bambù con caratteristiche fisico-meccaniche particolarmente favorevoli al suo impiego) risulti endemica di alcune regioni. In Colombia, negli ultimi trent'anni, si sono sviluppate costruzioni molto interessanti e ardite: l'architetto Carlos Vergara, ad esempio, ha realizzato a Cali, negli anni Ottanta, la struttura in bambù a pianta quadrata più grande del mondo; Simòn Vélez considerato ad oggi il massimo esponente mondiale per le costruzioni in bambù, ha realizzato sempre in Sud America spettacolari ville, capannoni, stalle e ponti, e come loro molti altri. Tutti questi progetti si basano tuttavia sull'uso di giunzioni passanti, gettate ad umido con perni che forano i culmi.

Per il progetto del padiglione si è scelto di impiegare bambù locale, coltivato e lavorato nel Nord Italia, in modo da garantire un elevato livello di sostenibilità dell'intero processo costruttivo.

Tale scelta ha influenzato non poco le valutazioni progettuali di dettaglio, sia a livello strutturale, sia a livello di connessione e giunzione dei componenti. Per queste ragioni il sistema costruttivo è stato pensato in modo da utilizzare elementi a fascio capaci di inglobare "stelle" metalliche di connessione, composti da quattro culmi così da migliorare la resistenza generale della struttura e allo stesso tempo garantire una agevole giunzione dei componenti senza forare la parete esterna delle canne. La solidarietà tra i culmi componenti il fascio è garantita da legature metalliche.



9



10



11

### Il sistema tecnologico

Gli elementi portanti sono stati assicurati alle fondazioni per mezzo di piastre inizialmente incernierate, in modo da permetterne l'issaggio, e successivamente trasformate in incastri una volta completata la struttura. Oltre alle piastre di base sono stati progettati elementi metallici che permettono ai fasci di essere connessi tra loro e con le strutture secondarie:

1. "stelle", giunti ad alette forate e saldate perpendicolarmente tra loro, con un'anima in tondino, atte ad essere inserite tra i 4 culmi del fascio;
2. piastra di connessione tra i semiarchi;
3. piastra di connessione dei pilastri a terra;
4. piastra di connessione tra arco e pilastro;
5. morsetto;
6. barra con "stelle" alle estremità.

Le "stelle" hanno la funzione sia di guida ai culmi sia di elemento di aggancio dei tenditori necessario a porre in tensione le croci di S. Andrea in cavi di acciaio (in questo la piccola carpenteria nautica ha dato un forte contributo). È stato necessario dividere in due elementi la struttura del semiarco, per mezzo di una piastra in acciaio collegata ad una barra con alette di inserimento tra i culmi del fascio. Questo sistema permette di realizzare un semiarco completo di 9 m circa di sviluppo esterno, realizzando due elementi di dimensioni ridotte, più maneggevoli e pratici da trasportare. Il morsetto è forse la parte tecnologica più innovativa del sistema. Esso evita anzi tutto di dover utilizzare perni passanti ovviando al rischio di crack delle canne in corrispondenza di fori e, allo stesso tempo, di garantire una legatura più efficace e duratura di quella realizzata in fibra (naturale o sintetica), garantendo infine una sua successiva e agevole registrazione e manutenzione: due elementi cilindrici in acciaio sono collegati a cavi metallici di 2,5 mm di diametro e grazie a viti di serraggio viene

garantita la chiusura dei fasci in base alle necessità.

### L'attività di cantiere

La realizzazione del padiglione è avvenuta a Olivetta San Michele (IM) per un periodo di circa sei mesi, durante i quali una parte dell'opera è stata montata ed esposta al Lingotto di Torino, in occasione del Congresso Mondiale degli Architetti (UIA 2008), nella sezione "Off Congress".

L'incarico di esecuzione è stato affidato dal Comune agli architetti Gabriele Casu e Giuseppe De Nunzio, con la supervisione dell'architetto Alex Riolfo, progettista dell'opera e direttore dei lavori insieme agli architetti Diego Pedemonte e Daniele Di Martino.

Le attività di cantiere si possono descrivere dividendole in due fasi: attività svolte in officina, dove è avvenuta la lavorazione, il trattamento e l'assemblaggio dei componenti della struttura; attività di cantiere, dove si è proceduto all'issaggio degli archi e alla realizzazione dei collegamenti orizzontali, dei sistemi di controventamento al montaggio dei pannelli FV e delle opere di finitura e ombreggiamento.

Una volta tagliate e stagionate ai margini del bosco, le canne di bambù sono state trasportate in officina dove hanno subito un ulteriore trattamento di protezione contro gli agenti xilofagi e atmosferici concretizzatosi nell'immersione dei culmi in vasche contenenti una soluzione acquosa di solfato di ferro nella percentuale del 4-5% per almeno 36 ore.

Una volta tolti dalle vasche, i culmi sono stati puliti e fiammati con apposito cannello, operazione necessaria a dare al materiale elevata elasticità e resistenza, oltre a migliorarne l'aspetto estetico e la resistenza all'azione degli insetti.

Dopo la fiammatura è stato applicato sui culmi

un saturante liquido a base di cere naturali per legno, utile per la protezione da agenti atmosferici e dal fuoco.

In seguito sono state tagliate le canne della dimensione di progetto per i diversi settori degli archi, dei pilastri, per la realizzazione dei puntoni e dei collegamenti orizzontali.

Gli archi sono stati realizzati inserendo i fasci di 4 canne in apposite dime di metallo e mantenendoli in posa per circa 5 giorni. Dopo aver inserito gli elementi metallici, necessari ai collegamenti tra gli archi, all'interno dei fasci, i culmi così disposti e curvati sono stati fermati legandoli con morsetti d'acciaio.

Essendo ogni arco suddiviso in 2 parti si è proceduto con la realizzazione del primo semi-arco sulla dima, unito successivamente al secondo con piastre metalliche. È seguita la costruzione dei puntoni e la posa dei cavi di controventamento paralleli al piano degli archi.

In pratica ogni arco è suddiviso in 6 settori, delimitati dai puntoni, all'interno dei quali vi sono le croci costituite da cavetti metallici. L'operazione di issaggio delle strutture portanti in situ si è rivelata particolarmente delicata poiché l'area di progetto non ha consentito l'impiego di mezzi meccanici.

Una volta issati gli archi si è provveduto all'inserimento degli elementi di collegamento orizzontale, costituiti da culmi di bambù sempre a fasci di 4, alle cui estremità è stato praticato il taglio cosiddetto a "bocca di pesce", tale da permettere alle singole canne di aderire perfettamente tra loro.

Alla chiusura dei controventamenti ha fatto seguito la posa dei pannelli fotovoltaici, previo l'inserimento di una struttura metallica a croce collegata agli archi a mezzo di molle d'acciaio capaci di garantire l'assorbimento degli sforzi indotti dal vento sulla superficie piana dei moduli fotovoltaici, dissipandone l'energia altrimenti trasmessa alle strutture.