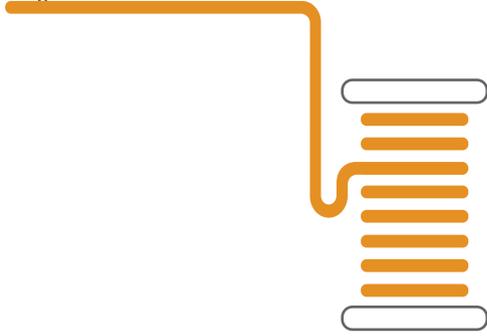
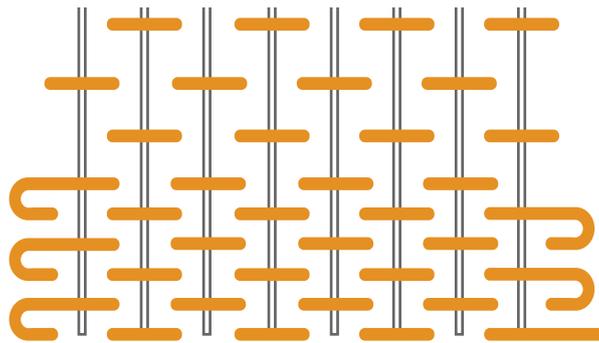


INTRECCIO E CERAMICA
PROPOSTA PER UN MODULO DI SCHERMATURA SOLARE





POLITECNICO DI TORINO
Corso di Laurea Magistrale in Architettura per il Progetto Sostenibile
A.A. 2019/2020

Tesi di Laurea Magistrale

INTRECCIO E CERAMICA

PROPOSTA PER UN MODULO DI SCHERMATURA SOLARE

Candidata: *Irene Friggia - s250388*

Relatore: *Riccardo Pollo*
Correlatore: *Matteo Giovanardi*

*Alla mia terra, la Sardegna,
che mi ha fatto conoscere l'arte del tessere.
A Valencia,
dove ho avuto modo di avvicinarmi all'arte della ceramica.
A Torino,
che ha consentito l'incontro di queste due pratiche.*

INDICE

>	ABSTRACT (IT)	8
>	ABSTRACT (EN)	12
1	INQUADRAMENTO	15
	1.1. Le tracce del progresso	16
	1.2. Inquadramento normativo	19
	1.3. L'architettura nel dibattito ambientale	24
	1.4. Architettura a basso consumo	28
2	INVOLUCRO TESSILE	33
	2.1. L'autonomia dell'involucro	34
	2.2. La funzione dell'involucro oggi	46
	2.3. L'intreccio come origine	51
	2.4. L'influenza dell'intreccio	56
	2.5. L'intreccio come involucro	67
3	LA CERAMICA	77
	3.1. Perché la ceramica	78
	3.2. Fasi di lavorazione	83
	3.3. La ceramica come rivestimento	89
	3.4. Ceramica e ambiente	105
	3.5. La stampa 3D	108

4	INTRECCIO E CERAMICA NELL'INVOLUCRO	113
	4.1. La ceramica e l'intreccio	114
	4.2. Casi studio	117
	4.3. Perché utilizzare intreccio e ceramica nell'involucro	150
5	IL PROGETTO	153
	5.1. Concept	154
	5.2. Il modulo	156
	5.3. Componenti del modulo	168
	5.4. Movimenti	185
	5.5. Analisi delle radiazioni	190
6	APPLICAZIONE A UN CASO STUDIO	211
	6.1. Il contesto	212
	6.2. L'edificio	216
	6.3. L'applicazione	221
	6.4. Il montaggio	226
>	CONCLUSIONI	232
>	BIBLIOGRAFIA	238
>	SITOGRAFIA	244
>	ALLEGATI	247

L'arte del tessere e l'arte di modellare la ceramica appartengono ai saperi più antichi dell'uomo. La loro esistenza è attestata da migliaia di anni, e da allora sono giunti fino a noi ricchi di storia, entrando a far parte della nostra quotidianità in forme differenti. Le caratteristiche di questi due saperi, di notevole rilevanza visto il loro utilizzo perpetuato durante le diverse epoche storiche, e la loro versatilità, che li rende adattabili a contesti eterogenei, possono rappresentare oggi una soluzione architettonica innovativa in risposta alle urgenti questioni ambientali, relative allo sfruttamento delle risorse del pianeta e all'inquinamento, due tematiche che hanno una forte ripercussione rispetto alle istanze del progetto, nei confronti delle quali l'architettura deve fornire soluzioni valide.

Oggi il settore edilizio è uno dei maggiori responsabili del consumo di risorse ed emissioni nocive, non solo per quanto riguarda la costruzione, ma anche per il soddisfacimento di esigenze intrinseche al funzionamento di un edificio (climatizzazione, illuminazione, ventilazione), e di conseguenza da qualche decennio il mondo architettonico si sta dirigendo verso strategie che puntano a limitare l'impatto dal punto di vista ambientale. Nel bilancio energetico di un edificio, l'involucro edilizio rappresenta l'elemento capace di filtrare gli impulsi provenienti dall'ambiente esterno, e in particolare di regolare la radiazione solare per garantire un adeguato comfort interno. Tornando indietro nel tempo e analizzandone le origini, si scopre che l'involucro affonda le sue radici proprio nell'arte del tessile, e che da quell'originario intreccio di rami e rafia, che generava il più primitivo elemento protettivo, si è poi sviluppato l'involucro come lo intendiamo oggi. La sua funzione principale rimane sempre quella di rivestimento e protezione, ma con l'evoluzione tecnologica ha acquisito la capacità di interagire con l'ambiente esterno, di adattarsi ad esso e mediare gli impulsi provenienti dall'esterno con quelli provenienti dall'interno dell'edificio.

Il lavoro di Tesi ha come obiettivo quello di proporre un modulo di schermatura innovativo, progettato a partire dal tema del tessile, e quindi estremamente versatile. Non si lavora su un rivestimento unico da applicare a un edificio specifico, ma su un modulo ripetibile un numero indefinito di volte sufficiente per dare forma a una schermatura solare adattabile a differenti situazioni. La protagonista indiscussa del progetto è la ceramica, di origine naturale e con ottime prestazioni, la cui realizzazione viene affidata alle moderne tecnologie della stampa 3D. Le diverse inclinazioni che i pezzi ceramici possono assumere sono pensate per fare in modo che la schermatura, governabile dall'utente, possa modulare l'ingresso della luce all'interno dell'edificio per ciascuna ora del giorno e per ciascuna stagione. Il modulo consente di ottimizzare la produzione dei pezzi e facilitarne il montaggio, oltre che lo smontaggio per poter essere riutilizzato in futuro.

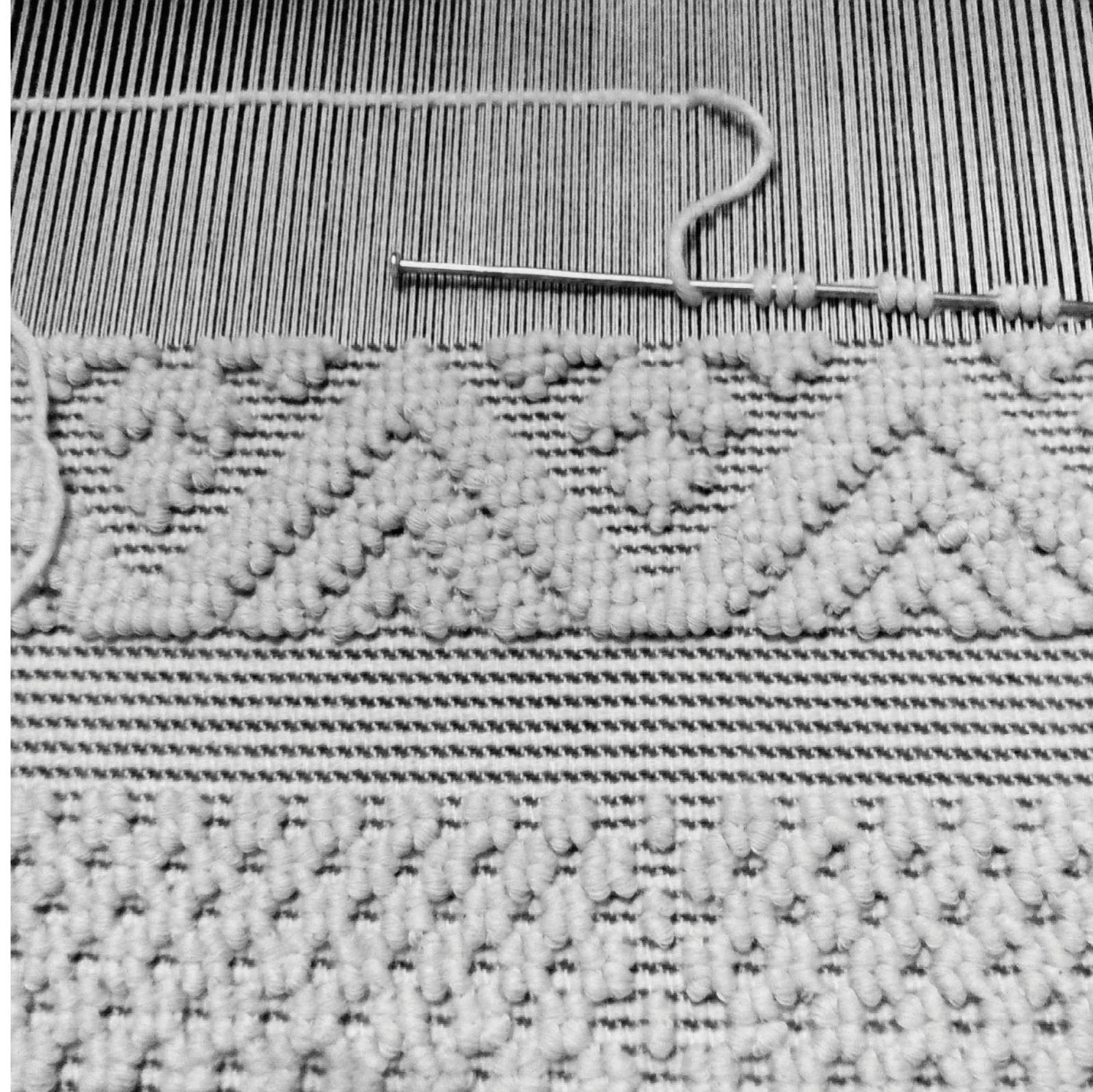
L'ispirazione principale è il tappeto, nel quale l'ordito e la trama si intrecciano per formare una superficie continua, e così il modulo di progetto è costituito dall'ordito della struttura di sostegno verticale e dalla trama di elementi ceramici, che può essere, come nel caso dei tappeti, estremamente variabile.

La Tesi è organizzata in sei capitoli. Dopo una prima introduzione di carattere generale sulle tematiche ambientali e sulla loro relazione con l'architettura, il secondo capitolo affronta il tema dell'involucro attraverso alcuni casi studio, e in particolare viene approfondito il tema dell'involucro tessile, inizialmente per mezzo delle teorie semperiane e dunque partendo dalla capanna come origine dell'abitare, fino alle odierne interpretazioni di intreccio nell'architettura. Il terzo capitolo è dedicato alla ceramica, analizzata innanzitutto nelle sue peculiarità e caratteristiche generali, poi approfondendo l'uso che ne è stato fatto come rivestimento edilizio. Viene inoltre trattato

nello specifico il metodo di foggatura per mezzo della stampa 3D. Il quarto capitolo combina i temi del tessile e della ceramica, proponendo una schedatura di schermature ceramiche esistenti come casi studio, e introducendo così il tema dell'involucro ceramico tessile. Il quinto capitolo è dedicato al progetto del modulo di schermatura ceramica prefabbricato, mentre il sesto, l'ultimo, alla sua applicazione a un caso studio per il progetto della sede del Green Building Council a Valencia, per mostrarne così l'effetto finale.

L'efficacia del modulo è testata con delle analisi sulla radiazione solare incidente, che consentono di quantificare le radiazioni che agiscono sull'edificio con un modulo schermante tipo, e confermarne così la funzionalità. Per le analisi è stato utilizzato il software gratuito Ladybug, un'estensione di Grasshopper.

Intreccio e ceramica si mescolano per dare origine a una tipologia di involucro differente, che agisca sul comfort degli spazi interni e si proponga come un'alternativa valida per il risparmio energetico in campo architettonico.



The weaving art and pottery, whose existence has been attested for thousands of years, belong to the most ancient knowledge of man. Since then, they have come to us rich in history, becoming part of our everyday life. The features of these two arts together with their versatility, that makes them adaptable to heterogeneous contexts, today can represent an innovative architectural solution to give an answer to urgent environmental problems, concerning the exploitation of our planet resources and pollution.

Nowadays the building sector is one of the main causes of toxic emissions and of consumption of resources, consequently, the world of architecture is moving towards strategies that aim to reduce the impact on the environment. In the energy balance of a building, the building envelope represents the element able to filter the impulses coming from the external environment, and to regulate solar radiation in order to ensure adequate internal comfort. Going back in time and analyzing its origins, we find out that the envelope has its roots in the art of weaving, and that from that original interweaving of branches and raffia, the most ancient protective element, the envelope has developed as we know it today.

The thesis work aims to propose an innovative module of solar shading, designed starting from the textile theme, and therefore extremely versatile. You don't work on a single coating to be applied to a specific building, but on a module that you can repeat an indefinite number of times sufficient to give shape to a solar shading, adaptable to different situations. Undisputed protagonist of the project is ceramic, whose production is entrusted to the most advanced 3D printing technologies. The different inclinations that ceramic pieces can take, make sure that the shielding, which can be controlled by the user, can modulate the entrance of light into the building in each season and hour

of the day. The module allows to optimize the production of the pieces and facilitate their assembly and disassembly to be reused in the future.

The main inspiration is the carpet, where warp and weft are woven to create a continuous surface, in the same way the module vertical structure is the weft part, and the weft is composed by the ceramic elements and can be extremely variable, like in real carpets.

The present thesis is organized in six chapters. After a first general introduction on environmental issues and their relationship with architecture, the second chapter analyzes the theme of the building envelope through some case studies, in particular the theme of textile envelope is deepened, from the Semperian theories to today's interpretations of intertwining in architecture. The third chapter is dedicated to ceramic, analyzed both in its peculiarities and characteristics, and as a material used for the external building envelope. The fourth chapter combines the themes of textiles and ceramics, by proposing a cataloguing of existing ceramic sun shields, and introducing the theme of ceramic textile envelope. The fifth chapter is dedicated to the project of the prefabricated module of ceramic solar shading, while the sixth, the last one, to its application to a case study for the project of the new headquarter of the Green Building Council in Valencia. Module effectiveness is tested with analysis on the solar radiation incidence, using the free Ladybug software for Grasshopper.

Interweaving and ceramic are mixed together to create a different typology of envelope, that influences the internal comfort and proposes a valid alternative for the energy-saving in architecture.



1

INQUADRAMENTO

L'uomo ricerca continuamente.

Fin dalla sua comparsa sulla Terra l'uomo è stato spinto dal bisogno di migliorare le proprie condizioni di vita. Un istinto inarrestabile, imprescindibile per il proprio sviluppo, una curiosità innata che lo ha condotto alla costante ricerca del nuovo. Andare avanti è ciò che lo ha portato ad evolversi dallo stato di natura alla civiltà. L'uomo ha imparato ad accendere il fuoco, costruire le prime dimore, a navigare. Ha appreso come lavorare la pietra e i metalli, e ha iniziato a costruire. Poi ha iniziato a scrivere, a comunicare, ha inventato le leggi. Ha scoperto luoghi nuovi, fino ad arrivare alla Luna, quasi a Marte, ha scoperto pianeti distanti anni luce dal nostro. Ha creato ciò che la natura non offre da se per rispondere alle proprie esigenze, soddisfacendole e superandole.

Questa inarrestabile avanzata siamo soliti chiamarla progresso, dal latino *progressus*, che indica un cammino fatto di passi, che invece di percorrere una strada esistente la creano, con solchi profondi, lasciando il segno della storia. Nel progresso è insito il concetto di miglioramento, il cambiamento di una condizione per raggiungerne una più adeguata. Questa esigenza di cambiamento si presenta nel momento in cui una situazione attuale non può più essere considerata funzionale, e iniziano a farsi strada nuove alternative¹, più adeguate alle nuove necessità e ai nuovi stili di vita.

“A ciò a cui è abituato l'uomo, alle sue consuetudini, l'uomo si aggrappa saldamente finché il bisogno, le conoscenze, le capacità innate e l'esercizio non trasformano ciò che è consueto e tramandato. Le conoscenze e le esperienze passano di bocca in bocca, di mano in mano. E in questo passaggio, spesso quasi inavvertitamente, si smarrisce una parte del vecchio ed appare qualcosa di nuovo. Ma il nuovo che appare cresce sempre sul terreno del vecchio.

1. Tamborrini, P., (2014). *Ecoinnovazione – Il design sostenibile per la valorizzazione delle risorse umane, territoriali ed economiche. Towards conscious design. Research, environmental sustainability, local development.. Programma Alcotra 2007-2013, pp.17.*

Se il nuovo è migliore allora c'è progresso. Progresso, come naturale trasformazione di vita, non mutamento per il mutamento, ma trasformazione secondo un corso naturale.”

Schmitthenner, P., (1988). *La forma costruita*. Electa, Milano.

Dunque l'uomo è andato avanti, e avanti, e ancora avanti. È andato talmente avanti che non si è reso conto di ciò che si lasciava dietro. In questa sua avanzata ha sempre mutato l'ambiente che lo circondava per adattarlo alle proprie esigenze, si è inserito negli equilibri della natura e li ha modificati. Non si è posto delle domande sulle conseguenze che tali azioni avrebbero potuto avere a lungo termine, e andando avanti ha dato vita a dei sistemi antropici sempre più complessi, senza avere gli strumenti per poterli gestire².

Se volessimo indicare un momento della storia nel quale l'uomo ha perso il controllo di questa inarrestabile avanzata andrebbe forse ricercato nelle rivoluzioni industriali: l'invenzione delle macchine ha dato il via ad una vera e propria staffetta, più che ad un cammino, ad una produzione e un avanzamento sfrenati, divenuti incontrollabili. Se da un lato venivano raggiunti obiettivi e sviluppi tecnologici strategici, dall'altro si iniziavano a vedere le conseguenze che tale sviluppo stava avendo sul pianeta terra, e le ripercussioni di questi cambiamenti sulla vita dell'essere umano. Se prima gli interventi dell'uomo sull'ecosistema potevano essere considerati reversibili, e di impatto ambientale ridotto, dopo la seconda metà del '700 le sue azioni hanno iniziato a lasciare segni indelebili, tanto che, con il passare del tempo, si è arrivati ad un totale stravolgimento degli equilibri naturali.

Ciò che nel corso della storia ha modificato la situazione di equità tra uomo e natura è riscontrabile in un concetto generale: mentre la natura tende a un bilancio tra produzione e consumo, l'uomo, nel tentativo di incrementare costantemente la produzione e adottando modelli di consumo prevalentemente lineari, ne altera l'equilibrio. Una produzione eccessiva comporta uno sfruttamento delle risorse smisurato, con tutte le conseguenze ad esso legate, ed alla rottura di quegli equilibri precedentemente citati. Non si pensa più al pianeta, non si rispettano più le sue categorie, non si considerano più i suoi principi regolatori. L'inquinamento generato dalle emissioni nocive, il

2. Rosa Romano, (2011). *Smart Skin Envelope: sistemi di involucro "intelligente". Integrazione architettonica di tecnologie dinamiche e innovative per il risparmio energetico. Firenze University Press, Firenze, pp.1.*

surriscaldamento globale, l'innalzamento del livello dei mari, il buco dell'ozono, altro non sono che risultati incontrollati e sempre meno controllabili degli effetti del carico ambientale derivante dalle azioni dell'uomo, che è chiamato, ora più che mai, a correggere i suoi modelli di uso e consumo delle risorse naturali, e i processi che ne alterano l'equilibrio rispetto all'ambiente.

La produzione di massa ha saturato il mondo di rifiuti, prosciugato le risorse del pianeta, basato il nostro pensiero sull'ottica dell'usa e getta. Quello della sostenibilità è senza dubbio un tema molto delicato, la cui applicazione a qualunque campo, in particolare a quello architettonico, risulta estremamente complesso. Si tratta di compiere azioni ad ampio raggio, di stabilire obiettivi comuni, adottare politiche forti e ambiziose volte a cambiare gli stili di vita portati avanti finora, per entrare in una nuova ottica di condizione e rispetto del pianeta.

INQUADRAMENTO NORMATIVO

1.2.

Il documento che per la prima volta ha trattato la necessità di cambiare gli stili di vita sviluppati dal mondo occidentale dopo la ripresa dalla Seconda Guerra Mondiale è stato "I Limiti dello Sviluppo", pubblicato nel 1972. È stato redatto dal Club di Roma, un'associazione fondata nel 1968 e composta da scienziati, umanisti, imprenditori interessati alle tematiche ambientali e convinti dell'importanza di un'inversione di rotta nei nostri costumi e modi di vivere. Il Rapporto sui Limiti dello Sviluppo indaga più nello specifico su quali sarebbero potute essere le conseguenze della crescita demografica sull'ecosistema, che avrebbero comportato un inevitabile aumento dell'industrializzazione, dell'inquinamento e dello sfruttamento delle risorse della Terra. Una crescita invariata e di conseguenza incontrollata porterebbe al raggiungimento dei "limiti dello sviluppo" in un tempo ristretto, all'esaurimento delle capacità della Terra di rispondere alle esigenze di tutti, insomma al raggiungimento di un punto di non ritorno. Già 50 anni fa dunque si parlava dei rischi ambientali legati all'industrializzazione e alla globalizzazione, tuttavia sono trascorsi diversi anni prima di vedere applicate delle vere e proprie misure volte a tutelare l'integrità del pianeta Terra.

La crisi energetica del 1973 contribuì a fare riflettere sulla necessità di orientare lo sviluppo tecnologico-industriale verso una nuova direzione. Fino a quel momento infatti il progresso tecnologico era basato principalmente sui combustibili fossili, considerati una risorsa illimitata: con il rincaro del prezzo del petrolio e dei suoi derivati da parte dei paesi associati all'OPEC ci si è resi conto "della dipendenza dell'uomo moderno da questa fonte di energia"³, e la necessità di trovare nuovi modelli di sviluppo.

Alcuni anni dopo, nel 1983, venne istituita la Commissione mondiale sull'ambiente e lo sviluppo dalle Nazioni Unite, che pubblicò nel 1987 il rapporto Brundtland. Noto anche come "Our common future", il rapporto rappresenta il documento che per la

³ Rosa Romano, (2011). *Smart Skin Envelope: sistemi di involucro "intelligente". Integrazione architettonica di tecnologie dinamiche e innovative per il risparmio energetico.* Firenze University Press, Firenze, pp.1.

prima volta nella storia parla di sviluppo sostenibile:

“Ambiente e sviluppo non sono realtà separate, ma al contrario presentano una stretta connessione. Lo sviluppo non può infatti sussistere se le risorse ambientali sono in via di deterioramento, così come l'ambiente non può essere protetto se la crescita non considera l'importanza anche economica del fattore ambientale. Si tratta, in breve, di problemi reciprocamente legati in un complesso sistema di causa ed effetto, che non possono essere affrontati separatamente, da singole istituzioni e con politiche frammentarie [...]. L'umanità ha la possibilità di rendere sostenibile lo sviluppo, cioè di far sì che esso soddisfi i bisogni delle generazioni presenti senza compromettere la possibilità di soddisfacimento dei bisogni di quelle future”.

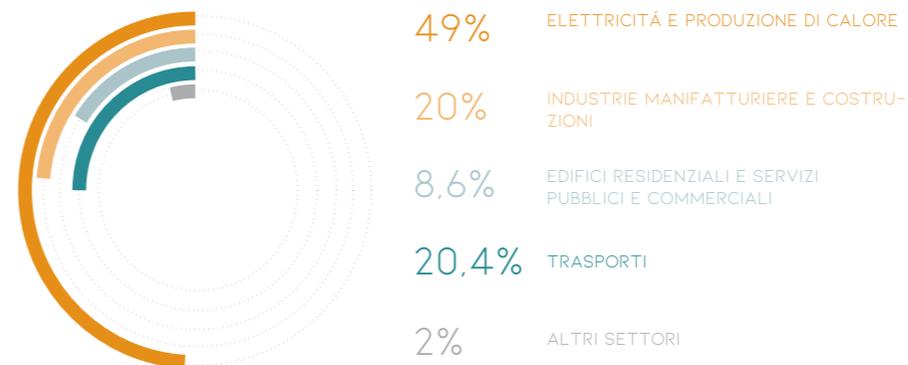
Rapporto Brundtland, 1987.

Entra in gioco una visione ad ampio raggio che guarda al futuro, “il futuro di tutti noi”⁴, imponendo un cambiamento nel presente e che si prefissa come un dovere etico. Il benessere delle persone diventa il centro della riflessione, e può essere definito tale solo se garantito dal benessere dell'ambiente; non si tratta più di un'azione fine a se stessa ma volta alla prosperità comune. Gli abitanti del pianeta stanno bene solo se il pianeta sta bene, preservandone le risorse e mantenendo vivi gli equilibri ambientali.

Con il passare degli anni però, alla crescente consapevolezza che le risorse non sono illimitate e alla gravità di una situazione di inquinamento persistente, si è aggiunta un'altra tematica spinosa: il riscaldamento globale. L'aumento delle temperature causato dalle emissioni incontrollate di CO₂ è stato un forte segnale che ha fatto prendere coscienza sui pericoli nei quali si sarebbe potuti incorrere, e nei quali tuttavia ancora oggi si incorre, se non si fosse iniziato a porre un freno alle emissioni dei gas serra.

Già nel 1992, durante la Conferenza sull'Ambiente e sullo Sviluppo delle Nazioni Unite svoltasi a Rio de Janeiro, nota come Summit della Terra, era stata trattata la tematica della riduzione delle emissioni di gas serra, affrontando tuttavia l'argomento dal punto di vista di una presa di coscienza da parte dei paesi partecipanti, e non come di un obbligo da adempiere quanto prima, non vincolando dunque gli Stati a partecipare alle riduzioni.

4. Traduzione di “Our common future”, Rapporto Brundtland, 1987.



Dati relativi alle emissioni di CO₂ nel mondo per settore, dati del 2014 presi da: The World Bank, World Development Indicators: Carbon dioxide emissions by sector, wdi.worldbank.org

Fu solo a partire dall'11 dicembre 1997, data nella quale venne stipulato il Protocollo di Kyoto, che le tematiche da tanto discusse acquisirono un carattere ineluttabile. Più di 180 paesi presero parte alla redazione del Protocollo, la più importante delle “branchie” della Conferenza di Rio precedentemente citata, chiamati in causa dalle situazioni irreversibili venutesi a creare in tema di riscaldamento globale. Il Protocollo entrò in vigore solo del 2005, dopo la ratifica da parte della Russia e del Canada, poiché era necessario che prendessero parte un numero di paesi responsabili, nel complesso, di almeno il 55% delle emissioni dei gas nocivi⁵, al fine di garantire l'efficacia dei provvedimenti presi.

Gli obiettivi del trattato prevedevano, per i paesi industrializzati, l'obbligo di ridurre le emissioni degli elementi inquinanti di almeno il 5% nel periodo tra il 2008 e il 2012 rispetto ai dati delle emissioni del 1990; nel caso dei paesi aderenti all'UE di almeno l'8%⁶. I gas inquinanti in questione comprendono l'anidride carbonica e i cinque gas serra (metano, protossido di azoto, idrofluorocarburi, perfluorocarburi, esafluoruro di zolfo), prodotti principalmente dall'impiego dei combustibili fossili in attività energetiche industriali, in edilizia, nel trasporto, nel settore agricolo, nelle industrie chimiche e manifatturiere. Il principale responsabile del cambiamento climatico è la CO₂, in

5. Dati ricavati dal sito ufficiale ENAC (Ente Nazionale Aviazione Civile) – enac.gov

6. Dati ricavati dal sito ufficiale dell'Unione Europea – eur-lex.europa.eu

quanto prodotta in maggiori quantità, mentre gli altri gas serra, che risulterebbero più dannosi dell'anidride carbonica, sono meno presenti nell'atmosfera. I provvedimenti del Protocollo di Kyoto sono dunque indirizzati principalmente alla riduzione della produzione di CO₂ e alla promozione di politiche per efficienza energetica e per uno sviluppo in chiave di risorse rinnovabili.

Il primo accordo universale sul clima è stato firmato anni dopo, nel dicembre del 2015, da parte di 195 paesi ed è noto come Accordo di Parigi. Il testo dell'accordo sancisce un obiettivo fondamentale: fissare un limite per l'aumento delle temperature al fine di ridurre al minimo i cambiamenti climatici e il riscaldamento globale. I governi hanno stabilito che l'aumento delle temperature deve mantenersi "ben al di sotto dei 2°C"⁷, fissando però il margine a 1,5°C in modo da ridurre i rischi derivanti da un aumento spropositato. L'applicazione dell'accordo è prevista a partire dal 2020, iniziando una riduzione delle emissioni già dal 2018, con riunioni ogni cinque anni per verificare l'adempimento degli obiettivi fissati e stabilire ulteriori obiettivi.

7. *Accordo di Parigi, 2015.*

8. *Dati ricavati dal sito ufficiale delle Nazioni Unite – Agenda 2030 – unric.org*

9. *Tamborrini, P., (2014). Ecoinnovare – Il design sostenibile per la valorizzazione delle risorse umane, territoriali ed economiche. Towards conscious design. Research, enviromental sustainability, local development.. Programma Alcotra 2007-2013, pp.19.*

10. *Carlo Petrini (2007). La saggezza della Terra; Il pianeta impazzito. Atlante de La Repubblica, pp. 3.*

Il mondo si sta muovendo, almeno sul piano degli intenti, verso uno sviluppo sempre più sostenibile. Gli enunciati precedentemente citati sono solo alcuni, o meglio i più rappresentativi, degli innumerevoli incontri svolti con l'obiettivo di salvare il pianeta. I 193 paesi aderenti all'ONU, nel settembre 2015, hanno sottoscritto l'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile, un grande programma d'azione che ingloba i 17 Obiettivi per lo Sviluppo Sostenibile (SDGs)⁸ che gli Stati si impegnano a rispettare entro appunto il 2030. Si tratta di traguardi comuni, che riguardano tutti i paesi aderenti indifferentemente rispetto alla collocazione geografica, all'economia, al livello di industrializzazione, al numero di abitanti: obiettivi comuni per il bene comune.

È fondamentale una repentina presa di coscienza accompagnata da un totale ripensamento della relazione tra uomo industrializzato e natura, operazione tutt'altro che indolore per le società avanzate⁹. Carlo Petrini parla di alfabetizzazione ecologica¹⁰, un concetto che ritiene necessaria la formazione di una società sostenibile, prima ancora di portare avanti uno sviluppo sostenibile, partendo dunque dalla coscienza del singolo per ottenere dei risultati a grande scala. Il concetto finora iperabusato di sostenibili-

tà, svuotato ormai del suo significato e preso in prestito dal mercato che ne ha fatto un marchio, deve essere applicato invece con rigore e fermezza, e con la consapevolezza che non rappresenta un accessorio verde ma un'inevitabile direzione che bisogna fare prendere al nostro progresso.

Solo una volta che si è presa coscienza della questione ambientale, che significa affrontare il tema della sostenibilità come una scelta culturale, si può iniziare a progettare, a pensare l'architettura in maniera tale che porti a dei risultati sostenibili¹¹. La sostenibilità, così, diventata irrinunciabile nell'elaborazione del progetto, entrerebbe a far parte di quei valori che l'architettura contribuisce a formare¹².

“Sostenibilità, ripetuta come un mantra, dovrebbe affermarsi come la keyword di un futuro più eco-compatibile, un futuro in cui l'abitare non si pone in alternativa con la preservazione dell'ecosistema, ma si fa compatibile, gli diventa omogeneo.”

Albanese, F., (2010). *Equivivere: per un'architettura sostenibile*. Il Poligrafo, Padova.

11. *Simonetto, P., (2010). Equivivere: per un'architettura sostenibile. Il Poligrafo, Padova, pp.12.*

12. *Pollo, R., (2015). Progettare l'ambiente urbano. Riflessioni e strumenti. Carocci editore, Roma., pp. 14-15.*

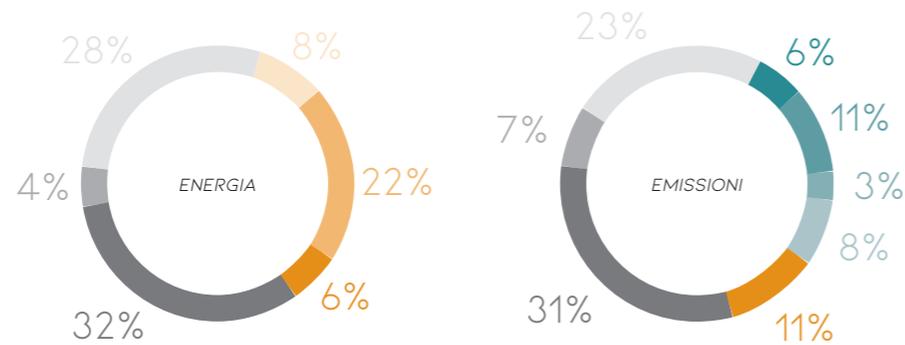
1.3.

L'ARCHITETTURA NEL DIBATTITO AMBIENTALE

Dati relativi all'energia e alle emissioni prodotte nel settore dell'edilizia e delle costruzioni, dati del 2018 presi da: 2019 Global Status Report for Buildings and Construction. Global Alliance for Buildings and Construction. IEA, UN environment programme, pp.12.

Il processo di sviluppo dell'edilizia è stato continuamente influenzato dai progressi tecnologici e industriali. Da quando l'uomo è passato da uno stile di vita nomade a quello sedentario, ha sentito la necessità di delimitare fisicamente i propri spazi vitali, costruendoli, separandoli dall'ambiente esterno e creando dei microclimi artificiali col tempo sempre più complessi¹³. Così, nel corso dei secoli, i piccoli insediamenti urbani sono stati lentamente sostituiti dalle estensioni urbane dei piani di ingrandimento ottocenteschi e dei piani regolatori del '900, fino a lasciare il posto alle metropoli. Contemporaneamente, le piccole abitazioni in legno e pietra si sono trasformate in grandi edifici a più piani.

- Industria di costruzione
- Residenziale
- Non residenziale
- Altre industrie
- Altro
- Trasporti
- Residenziale (diretto)
- Residenziale (indiretto)
- Non residenziale (diretto)
- Non residenziale (indiretto)

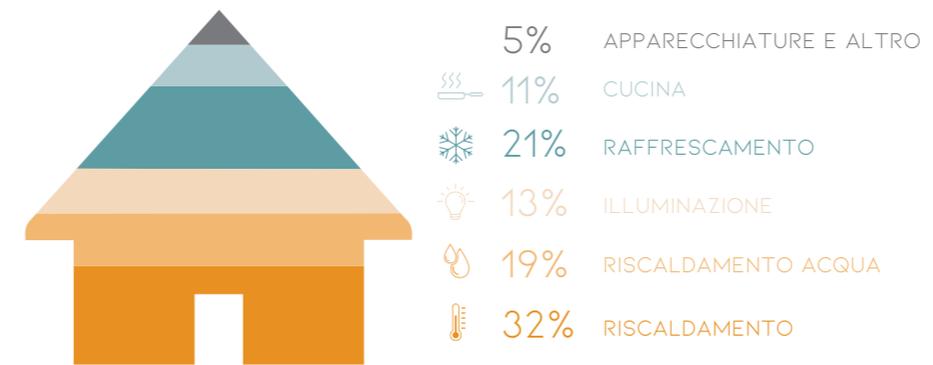


¹³ Rosa Romano, (2011). *Smart Skin Envelope: sistemi di involucro "intelligente". Integrazione architettonica di tecnologie dinamiche e innovative per il risparmio energetico.* Firenze University Press, Firenze, pp. 23.

Fino all'epoca delle rivoluzioni industriali l'architettura ha sempre sfruttato le risorse offerte dalla Terra in maniera controllata, progettando in relazione alla conformazione del luogo, al clima, all'offerta dei materiali, interferendo limitatamente sul ciclo natura-

le degli ecosistemi, anche in relazione al soddisfacimento delle esigenze di una popolazione numericamente molto inferiore rispetto a quella attuale. Tuttavia, con il passare dei secoli, la possibilità di utilizzare anche nell'edilizia le nuove risorse disponibili e nuovi metodi di produzione all'avanguardia ha dato il via ad un boom di costruzioni, accelerando la produzione e complicandola, influenzando negativamente gli equilibri degli ecosistemi e non rispondendo più alle reali esigenze degli abitanti, ma entrando nell'ottica del profitto che ha segnato indelebilmente la nostra epoca. La conseguenza di uno sviluppo perpetuato in questa direzione è che oggi uno dei settori più impattanti dal punto di vista ambientale è proprio quello delle costruzioni. Risulta secondo solo al settore industriale per consumi di energia, emissioni nocive e sfruttamento di risorse, in riferimento soprattutto all'introduzione massiva dei combustibili fossili per la climatizzazione invernale, avvenuta con un uso generalizzato del carbone nell'800 che ha reso obsolete strategie bioclimatiche¹⁴.

I principali responsabili del consumo energetico in edilizia sono prevalentemente climatizzazione, illuminazione, produzione di acqua calda e consumo di gas, i frutti sia di architetture che non rispondono alle esigenze dei fruitori, e sia dell'illusione di poter vivere in eterno in spazi iperartificiali e controllabili con le tecnologie all'avanguardia. Il bisogno esasperato di comfort, infatti, ha portato alla realizzazione di microclimi interni totalmente indipendenti dall'ambiente esterno e di conseguenza ad uno scollamento delle due realtà che non comunicano più tra loro.



Dati relativi ai consumi di energia per uso nel settore edilizio, dati del 2018 presi da: 2019 Global Status Report for Buildings and Construction. Global Alliance for Buildings and Construction. IEA, UN environment programme, pp.13.

¹⁴ Pollo, R., (2015). *Progettare l'ambiente urbano. Riflessioni e strumenti.* Carocci editore, Roma., da pp. 42.

In questa grande staffetta al progresso ci è stato passato un testimone che è il risultato di una cultura di grande trasformazione industriale, e che porta con se da un lato tecnologia, sviluppo e miglioramento della qualità della vita, dall'altra un totale stravolgimento degli equilibri ambientali¹⁵. Poiché l'architettura altro non è che il riflesso della nostra società, dei nostri costumi, del nostro tempo in continuo cambiamento, allora è necessario che anch'essa cambi, allontanandosi dall'influenza del consumismo che caratterizza la logica del mondo moderno e che la conduce verso una strada tutt'altro che sostenibile. Il sentito comune è quello di tornare ad una architettura del bisogno, che risponda alle vere esigenze delle persone, allontanandosi dalla piatta omologazione dell'ultimo secolo, che spesso ha trasformato le necessità del vivere in mera produzione di capitale¹⁶.

"[...] un mondo che guarda con troppa attenzione alla logica dei profitti, dello sviluppo e del successo, ma a cui sfugge la sottile differenza con il progresso".

Mario Cucinella architects studio, (2016). Mario Cucinella architects. Creative empathy. Skira, Milano.

Si può così tornare a parlare di progresso in una nuova ottica, più conforme alle esigenze odierne, e intenderlo come un avanzamento consapevole delle responsabilità che l'uomo ha nei confronti del pianeta, differenziandosi in questo senso dall'evoluzione che ha segnato le ultime epoche. Un progresso responsabile e sostenibile che consenta di rivedere il modo con il quale ci si appropria all'architettura, rivalutando l'importanza del contesto nel quale è inserita la sua relazione con esso, e progettando nel rispetto dell'ambiente. Riprendendo le parole di Mario Cucinella, gli edifici devono essere in questo senso sempre più empatici e trasformarsi nella soluzione al problema energetico, diventando luoghi dove si celebrano il rispetto e la riconciliazione con la natura¹⁷ senza rinunciare al comfort ma anzi enfatizzandolo in una nuova ottica.

L'architettura è il riflesso della nostra società, e la nostra società in questo momento sta

15. Mario Cucinella architects studio, (2016). Mario Cucinella architects. Creative empathy. Skira, Milano, pp.14.

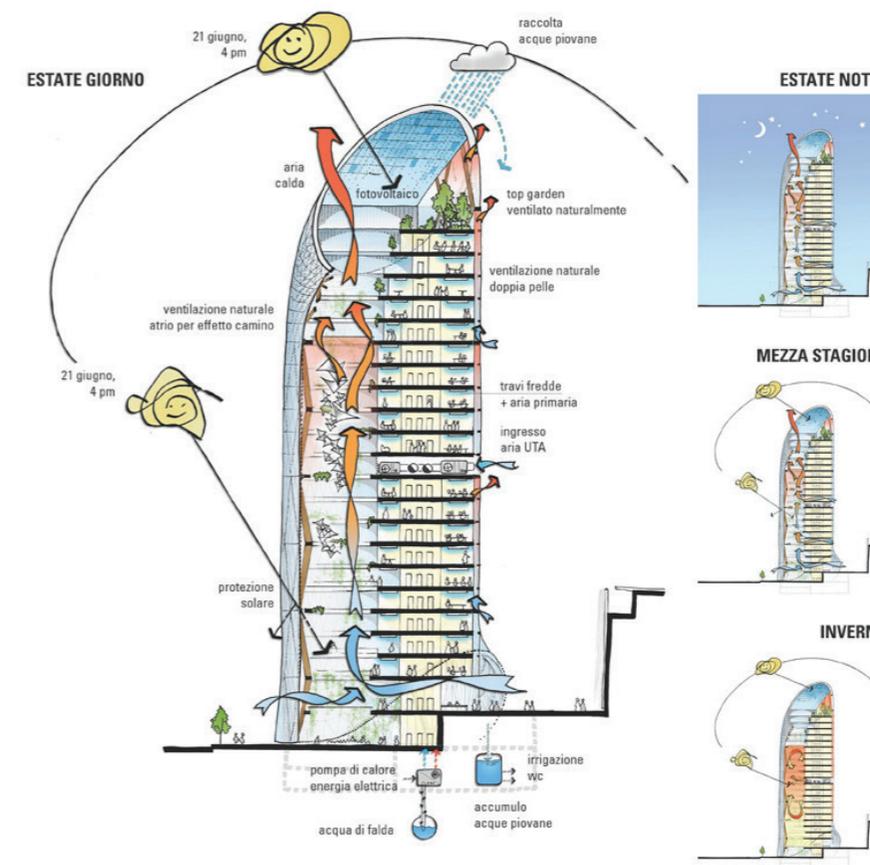
16. Caravatti, E., (2010). Verso un'architettura del bisogno. Equivivere: per un'architettura sostenibile. Il Poligrafo, Padova pp. 51.

17. Mario Cucinella architects studio, (2016). Mario Cucinella architects. Creative empathy. Skira, Milano, pp.17.

percorrendo la via del cambiamento per forgiare una nuova forma di vivere e di pensare. Non ci sarà il progresso così inteso se non si inizia il cambiamento verso questa nuova ottica, iniziando a convivere con l'ambiente e con la natura.

"Immaginare gli edifici sostenibili vuol dire aprire una profonda relazione con il luogo e con il suo clima. [...]. Edifici con alto grado d'empatia, un'empatia creativa".

Mario Cucinella architects studio, (2016). Mario Cucinella architects. Creative empathy. Skira, Milano.



Schizzo sulle strategie sostenibili nel progetto Centro Direzionale del gruppo UnipolSai, altrimenti noto come "Il nido verticale", di Mario Cucinella Architects, Milano - niiprogetti.it

Con la presa di coscienza degli anni '70 riguardo alle tematiche energetiche e ambientali si è iniziato a pensare all'architettura in maniera sostenibile, e si è tornati dunque a dare importanza, nel progetto, alla natura e al clima, e in generale al contesto. Tali aspetti, legati al modo di costruire in accordo coi principi della bioclimatica, che spesso nel corso dei secoli ha ispirato la forma degli insediamenti urbani e rurali, erano stati da tempo abbandonati per lasciare spazio alle possibilità realizzative consentite dalle nuove tecnologie. Oggi i nuovi modelli che vengono proposti offrono un'ampia gamma di soluzioni che si confrontano con l'ambiente nel quale sono inseriti, e che puntano all'utilizzo di energie rinnovabili e materiali naturali o di riciclo, senza rinunciare al comfort interno dei fruitori ma anzi sviluppando soluzioni sempre più accattivanti.

Il modo nel quale ci si approccia a questi nuovi modelli è un tema molto discusso, poiché la sostenibilità, intesa come un processo, deve essere inserita in ciascuna fase di sviluppo dell'edificio, della progettazione, della produzione, dell'esecuzione, della manutenzione fino al suo smaltimento o al suo riutilizzo, gestendo le risorse ad un ritmo tale che queste possano rigenerarsi¹⁸. Si parla, in tal senso, di *Life Cycle Assessment* (LCA), una metodologia sviluppata negli ultimi decenni per analizzare gli impatti ambientali su scala globale di un prodotto durante tutto il suo ciclo di vita, dall'estrazione alla trasformazione, al trasporto, allo smaltimento. Dunque un edificio per essere considerato sostenibile non si può limitare ad una progettazione responsabile, ma bisogna considerare tutte le fasi che lo accompagnano e le parti che lo compongono, realizzando architetture che massimizzino il benessere dei fruitori e allo stesso tempo garantiscano alle generazioni future la possibilità di ottenere i medesimi benefici. In poche parole il *Life Cycle Thinking*, valutando gli input di energia necessari alle fasi di vita del bene e gli output in termini di emissioni, rappresenta uno strumento per

18. Luigi Scolari, (2010). *Equivivere: per un'architettura sostenibile*. Il Poligrafo, Padova, pp. 20.

applicare i principi del Rapporto Bruntland in campo architettonico. I nuovi orizzonti dell'architettura sono garantire il maggior comfort ai fruitori degli spazi progettati considerando l'aspetto fondamentale che giocano l'ambiente, la geografia e il clima, puntando alla riduzione del fabbisogno energetico degli edifici e quindi di conseguenza dei consumi, dei costi, degli sprechi.

Le prime risposte a tali necessità sono riscontrabili in una serie di sperimentazioni iniziate a partire dagli anni '80 che hanno posto le basi dell'architettura sostenibile. Tra le più importanti la *Passivhaus*, nata in Germania nel 1988, che consiste in una casa capace di coprire il fabbisogno energetico, principalmente per riscaldamento ma anche per raffrescamento, attraverso l'impiego di dispositivi passivi. La *Passivhaus* è capace di soddisfare la bassa richiesta energetica tramite strategie quali lo sfruttamento del calore prodotto sia dal sole che dalle fonti interne (elettrodomestici, calore umano), il superisolamento, l'orientamento, la distribuzione interna della casa, senza l'impiego di fonti energetiche convenzionali se non in minima parte. Successivamente in Francia è stata sviluppata la *Maison autonome en énergie*, nota anche come *Off grid home*¹⁹, che consiste in un modello di edificio sempre ad uso residenziale però totalmente autosufficiente, capace di produrre il proprio fabbisogno energetico senza essere collegato a nessuna infrastruttura energetica. Una tipologia più completa è riscontrabile invece nel *Green Building*, con una destinazione d'uso più varia che include oltre al residenziale anche il terziario di varie tipologie, da uffici a ospedali. Oltre oltre a garantire il sostentamento energetico tramite l'utilizzo di fonti rinnovabili, il *Green Building* punta all'integrazione con l'ambiente circostante, nel rispetto della natura, riducendo le emissioni, utilizzando materiali di riciclo e puntando inoltre al raggiungimento di un alto livello di qualità dell'ambiente interno. Questa tipologia di edifici viene riconosciuta tramite dei protocolli di qualità ambientale (sia a scala di edificio che di quartiere) quali il *Green Building Challenge*²⁰, il *LEED* o il *BREEAM*²¹.

Oggi è importante considerare che le persone trascorrono circa il 90% del loro tempo in spazi chiusi, il che significa che il loro benessere dipende soprattutto da come si confrontano con l'ambiente interno; di conseguenza, trascorrendo tanto tempo al chiuso, all'interno degli edifici si consuma in media, a livello europeo, il 40% dell'ener-

19. Filippi M., Fabrizio E., (2011). *Il concetto di Zero Energy Building*. pp. 1-14.

20. *Il progetto per il Green Building Challenge (GBC) nasce nel 1995 come una competizione internazionale per i green buildings, con lo scopo di fornire uno strumento che potesse valutare le prestazioni ambientali degli edifici*. In: Larsson N. K., Cole R. J., (2001). *Green Building Challenge: the development of an idea*. *Building Research and Information*, n. 29 (5), pp. 336-345.

21. *Il LEED, Leadership in Energy and Environmental Design, è stato sviluppato nel 1998 dal Green Building Council degli Stati Uniti (USGBC) e ha una valutazione che va da Platino, Oro, Argento e certificato*. Il *BREEAM, Building Research Establishment Environment Assessment Method*, è nato nel 1990 nel Regno Unito e rappresenta uno dei primi strumenti con scopo di valutazione delle performance ambientali degli edifici. In: Ashraf Fauzi M., Nurhayati A. M., (2013). *Green Building assessment tools: evaluating different tools for green roof system*. *International Journal of Education and Research*, vol.1 n.11, pp. 1-14.

gia primaria²². Va considerato inoltre che nel ciclo di vita di un edificio terziario l'80% del fabbisogno energetico è richiesto da climatizzazione, ventilazione, illuminazione e apparecchi elettronici. Si stima che nei prossimi 15 anni la richiesta energetica sia destinata ad aumentare del 50% conseguentemente allo sviluppo di nuovi stili di vita sempre più legati agli apparecchi elettronici²³. Questi dati rimarcano quanto il livello di comfort interno vada di pari passo con la domanda energetica, e quanto sia dunque fondamentale un ripensamento dei nuovi modelli architettonici in termini di risparmio energetico. È per far fronte a queste necessità che nel 2010 il Parlamento Europeo ha emesso un mandato EPBD – European Performance of Buildings Directive – lo strumento legislativo più importante in campo edilizio europeo che introduce il tema dei NZEBs, sigla che può essere intesa sia come Net Zero Energy Buildings sia come Near Zero Energy Buildings. In entrambi i casi si tratta di edifici collegati alle infrastrutture energetiche, che hanno una richiesta e una produzione energetica: quando la produzione di energia in situ soddisfa o supera la richiesta allora si tratta di Net Zero Energy Buildings, nel caso in cui invece la domanda non dovesse essere coperta dalla produzione propria si parla di Near Zero Energy Buildings. La Direttiva europea 2010/31/UE impone a tutti gli Stati membri di elaborare dei piani nazionali per aumentare progressivamente il numero dei NZEBs, e dal 1 gennaio 2021 realizzare tutti gli edifici di nuova costruzione seguendo questa tipologia, con un calcolo delle prestazioni energetiche in base alla destinazione d'uso che deve soddisfare i requisiti minimi. Nella progettazione di un NZEB è fondamentale agire innanzitutto sulla riduzione della domanda di energia per poi valutare la maniera più adatta di produrre energia in situ, sfruttando le condizioni climatiche e locali, utilizzando chiaramente solo risorse rinnovabili. I nuovi modelli edilizi ad altissime prestazioni energetiche contribuiscono così al raggiungimento degli obiettivi di riduzione delle emissioni di CO₂ e quindi di mitigazione del cambio climatico.

22. Aelenei, D., Aelenei, L., & Pacheco Vieira, C. (2016). *Adaptive Façade: concept, applications, research questions*. SHC 2015, International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry. *Energy Procedia*, 91, pp.269-275.

23. Panopoulos K. & Papadopoulos A. M. (2017). *Smart facades for non-residential buildings: an assessment*. *Advances in Building Energy Research* 11:1, pp.26-36.

Ulteriori specificazioni vengono introdotte con la Direttiva europea del 2018 che amplia e modifica la EPBD 2010/31/UE. Le novità riguardano la necessità di elaborare strategie per decarbonizzare il parco immobiliare entro il 2050, con tappe intermedie di verifica al 2030 e 2040, con l'obiettivo di avvicinarsi sempre di più al concetto di Zero Energy Buildings e dunque di edifici la cui domanda energetica, estremamente

ridotta, viene totalmente soddisfatta dalla produzione di energia da fonti rinnovabili in situ. Le prestazioni energetiche sia degli edifici nuovi sia di quelli esistenti pubblici e privati sono volte a migliorare considerevolmente grazie all'impiego di indicatori che ne monitorano costantemente i progressi, dando vita a sistemi edilizi sempre più avanzata e sofisticata che garantisce alti livelli di comfort soprattutto in termini di qualità dell'aria interna. Altre novità introdotte dalla Direttiva riguardano anche la messa in sicurezza degli edifici esistenti in caso di incendi e in caso di rischi derivanti dall'attività sismica, che minacciano gli interventi di efficientamento energetico e il ciclo di vita degli edifici. Infine, l'inserimento di punti di ricarica per promuovere lo sviluppo di una mobilità sostenibile dimostra come gli interventi delle normative siano volti non solo prettamente al campo edilizio, ma puntino ad un miglioramento di tanti altri aspetti in accordo con i nuovi stili di vita a zero emissioni di CO₂.

“Ladesione ai principi dello sviluppo sostenibile identifica un pensiero culturale, uno stile di vita. Si traduce in una pratica progettuale quotidiana che mette al vaglio ogni scelta in funzione della compatibilità ambientale, impone rinunce e pertanto è poco diffusa.”

Luigi Scolari, (2010). *Equivivere: per un'architettura sostenibile*. Il Poligrafo, Padova.

Ciò che rende un edificio sostenibile non sono i pannelli solari o le turbine eoliche sulle coperture, né le vetrocamere con infissi all'avanguardia, o i materiali da riciclo in facciata, aspetti che limitano il ruolo della sostenibilità ad una cerchia ristretta di pochi interventi puntuali e isolati. Fare architettura sostenibile significa entrare in una nuova ottica, in un circolo di reazioni causa effetto, considerare ciascun organo che compone il corpo edilizio e indagare su di esso, sulla sua origine, sul suo utilizzo, pensando a cosa era e a cosa diventerà in futuro. Pensare alle conseguenze che gli interventi attuali avranno sul futuro significa sostenibilità, accettando nuove sfide e affacciandosi su nuovi orizzonti.



2

INVOLUCRO
TESSILE

©Irene Friggia - 2019 - copertura a San Giovanni di Sinis, Sardegna

Se l'obiettivo oggi è la realizzazione di edifici sempre più sostenibili e performanti energeticamente, è essenziale specificare che l'elemento al quale bisogna prestare più attenzione è, senza dubbio, l'involucro. Si tratta di una componente il cui concetto ha origini recenti¹, frutto delle nuove possibilità architettoniche sviluppate a partire dai traguardi industriali sette-ottocenteschi. L'introduzione di nuove tecniche produttive e nuovi materiali, infatti, ha consentito un'ampia sperimentazione nel campo dell'architettura, e ha portato ad una vera e propria evoluzione del concetto di chiusura, tradizionalmente intesa come le parti verticali e orizzontali che connesse tra loro delimitano il perimetro dell'edificio. Si è passati così al concepimento dell'involucro come di un *unicum* che non fa più distinzione tra parete e copertura, ma che racchiude l'edificio assumendo nuove forme e perdendo le sue originarie capacità strutturali. Oggi quando si parla di involucro si intende un'entità a se stante, tridimensionale, che avvolge l'edificio separandosene e acquisendo indipendenza e caratteristiche molto più complesse.

L'involucro nel tempo ha quasi sempre rispecchiato gli sviluppi tecnologici distintivi di ciascuna epoca, e così anche quelli sociologici di ciascuna area geografica, rappresentando le peculiarità culturali locali: alle evoluzioni di pensiero e alle innovazioni in campo tecnologico è sempre corrisposto un'evoluzione del linguaggio architettonico. L'involucro così ha progressivamente assunto diverse funzioni fino a separarsi dal corpo edilizio e acquisire una sua indipendenza. Oltre al ruolo protettivo, l'involucro svolge un ruolo percettivo, rappresentando il volto dell'edificio nella scena urbana, e quindi il modo con il quale questo si mostra all'osservatore, una sorta di parete espositiva nella quale gli architetti hanno sempre concentrato i maggiori sforzi nel voler mostrare gli avanzamenti tecnologici e artistici distintivi di ciascuna epoca.

1. "Il termine 'involucro edilizio', il cui significato è abbastanza recente, ha sostituito il termine 'chiusura', utilizzato nella scomposizione del sistema tecnologico nella UNI8290, a sottolineare il concetto di globalità delle parti che definiscono un ambiente interno (caratterizzato da condizioni 'climatico/ambientali' stabili) rispetto ad un ambiente esterno."- Rosa Romano, (2011). *Smart Skin Envelope: sistemi di involucro "intelligente". Integrazione architettonica di tecnologie dinamiche e innovative per il risparmio energetico.* Firenze University Press, Firenze, pp. 31.

Per capire come si è arrivati alle caratteristiche che ha assunto oggi l'involucro è necessario ripercorrere alcune delle tappe fondamentali della sua evoluzione. Tornando parecchio indietro nel tempo, alle origini dell'abitare, l'uomo per proteggersi dall'ambiente esterno ha iniziato a realizzare le prime costruzioni. Si trattava di capanne e tende, la cui funzione portante veniva affidata a una struttura lignea, mentre quella di chiusura a rami, pelli o tessuti, elementi leggeri e facilmente trasportabili da quelle popolazioni che ancora vivevano allo stato nomade.

Con il passaggio ad una vita sedentaria e la scoperta di nuove tecniche e nuovi materiali, tra cui l'argilla e la pietra, compaiono nuove costruzioni nelle quali si perde la separazione tra elemento strutturale e elemento di chiusura. Nascono così i primi edifici a muratura portante, con aperture piccolissime o inesistenti sia per difficoltà strutturali nella realizzazione sia per ridurre le dispersioni di energia, considerato inoltre che il vetro era un materiale costosissimo e poco utilizzato. Uno degli aspetti che tuttavia l'uomo ha sviluppato fin da subito è il carattere ornamentale nelle costruzioni, nelle abitazioni ma in particolare negli edifici pubblici e rappresentativi, una modo per distinguerli e renderli subito riconoscibili.

Con l'avvento del periodo Gotico si verificano dei cambiamenti sostanziali nelle caratteristiche dell'involucro edilizio. È con il Gotico, infatti, che si verifica un primo distacco tra involucro e corpo edilizio², in quanto il peso della struttura non viene più assorbito dalle spesse pareti che avevano caratterizzato, ad esempio, le architetture romaniche dei secoli precedenti, ma viene distribuito su un innovativo sistema di pilastri, archi rampanti, archi a sesto acuto. L'impiego di enormi vetrate diventa un aspetto essenziale delle nuove cattedrali gotiche, una rivoluzione rispetto agli stili architettonici precedenti. L'involucro si carica di nuovi significati, simbolici, come nel caso delle vetrate, che consentono l'ingresso sacrale della luce divina, ed estetici, diventando parete espositiva per sculture e decorazioni. Successivamente l'impiego delle vetrate si è diffuso anche nelle abitazioni borghesi, dove le finestre iniziano ad acquisire un ruolo sempre più importante in quanto il mezzo per aumentare l'illuminazione interna. Con il Rinascimento i cambiamenti in tema di involucro si riducono alla facciata, che assume un'importante funzione espositiva e di affaccio sulla città, diventano al contempo la pioniera del recupero e della diffusione degli ordini classici. 01

2. Giovine F., (2013). *Nascita ed evoluzione dell'involucro. L'involucro edilizio.* Architettura, NF 388, pp. 61-62.

Solo a partire dal XVIII secolo e a seguire con il XIX, dopo le Rivoluzioni Industriali, iniziano ad aprirsi nuove possibilità per l'involucro edilizio. L'avvento del ferro, della ghisa, dell'acciaio, e lo sviluppo di nuove tecniche produttive industriali, consentono la produzione di sistemi modulari in fabbrica e il loro assemblaggio in cantiere. Alle grandi masse murarie che hanno caratterizzato i periodi precedenti si sostituisce un'architettura sempre più leggera e trasparente, che si distingue per l'uso del ferro e del vetro, e così di conseguenza anche il ruolo dell'involucro si trasforma, smaterializzandosi all'estremo. I nuovi materiali e le nuove tecnologie venivano inizialmente utilizzati per la costruzione di edifici destinati ad attività produttive, commerciali o nelle serre, luoghi dove era necessario avere grandi spazi liberi da elementi portanti e grandi aperture. **02**

L'acciaio, il vetro, e in seguito il cemento armato, uniti alle produzioni standardizzate e serializzate, si rivelano essere particolarmente idonei per la realizzazione dei grattacieli, che iniziano a diffondersi dalla fine del XIX negli USA in risposta all'aumento demografico. La realizzazione di questa tipologia edilizia è resa possibile dallo sviluppo della struttura a telaio che fa perdere alla parete le sue funzioni statiche e consente la realizzazione della struttura portante prima e dei tamponamenti dopo. **03**

Si verifica in questo periodo un progressivo distacco tra la parte strutturale e l'involucro, arrivando ad una totale scissione nel momento in cui ci si rende conto che è possibile avanzare il piano della facciata rispetto a quello dello scheletro portante. L'involucro diventa così un'entità separata, libera, che può essere completamente vetrata. Nasce il *curtain wall*, una grande superficie vetrata continua che viene messa in pratica inizialmente solo negli edifici destinati ad attività commerciali o produttive, il cui uso verrà poi esteso anche ad altre tipologie edilizie. **04**

Nel corso del XX secolo queste tecnologie si vanno ampliando e diffondendo, assumendo caratteri sempre più innovativi e performanti. Oltre agli sviluppi in campo tecnologico in questo periodo si comincia a dare importanza anche alla qualità abitativa, quella che poi col tempo verrà denominata comfort interno, e dunque si inizia a progettare edifici che consentano l'ingresso di quanta più luce naturale, e che garantiscano il ricambio d'aria. Frutto di queste nuove intenzioni sono le così dette finestre a

nastro, intere fasce finestrate realizzabili solo per mezzo di un involucro libero, ovvero indipendente, vedi la "facciata libera" lecorbuseriana³, che iniziano ad essere sempre più utilizzate sia negli edifici ad uso pubblico che nelle abitazioni private. **05**

Si inizia a dare sempre più importanza al linguaggio formale dell'edificio, alla semplicità che deve esprimere, ai dettagli che lo compongono, portando avanti una battaglia al decorativismo che aveva caratterizzato i secoli precedenti ed evidenziando anzi gli elementi tecnico-strutturali delle architetture. Il vetro è uno dei protagonisti indiscussi di questo periodo, grazie soprattutto allo sviluppo di nuovi materiali per le guarnizioni, e per l'introduzione del metodo produttivo *float* per le grandi lastre vetrate, che consentiva un consistente risparmio economico e una maggiore qualità del prodotto⁴. Le facciate vetrate conoscono così un periodo di enorme sviluppo, diventando uno status symbol delle città economicamente più fiorenti, e così anche l'uso del *curtain wall* viene ampliato e, a partire dagli anni 50 del '900, il suo utilizzo viene esteso anche ai grattacieli. **06**

È in questo momento della storia che gli edifici iniziano a non rapportarsi più con il contesto e con le caratteristiche geomorfologiche e climatiche di un determinato luogo. A domande edilizie sempre differenti, legate a richieste ambientali specifiche, si risponde sempre allo stesso modo utilizzando un nuovo linguaggio architettonico universale che risulta poco adeguato al soddisfacimento delle diverse necessità⁵. Con la ricostruzione avvenuta dopo il secondo conflitto mondiale l'Europa vive un vero e proprio boom edilizio, durante il quale viene favorito ulteriormente il distacco dal contesto urbano: l'architettura si internazionalizza e diventa oggetto di imitazione seriale.

Per far fronte all'inefficienza in termini di isolamento termico causata da involucri che non rispondono più adeguatamente alle condizioni climatiche esterne, vengono inseriti all'interno degli edifici sistemi di riscaldamento e raffrescamento. È in questo momento di grandi cambiamenti hanno inizio i problemi ambientali. L'involucro edilizio non risponde più alle condizioni climatiche esterne, e l'interno degli edifici diventa luogo di discomfort, con un forte irraggiamento nei mesi estivi e una eccessiva

⁴. Il metodo produttivo *float glass*, o vetro galleggiante, iniziò ad essere utilizzato a livello industriale a partire dalla fine degli anni '50 del '900. La nuova tecnica sostituì quella precedentemente utilizzata della tiratura, un procedimento molto costoso che consentiva di realizzare le lastre vetrate per colata, estrusione o laminazione. Le superfici di conseguenza venivano imperfette e davano origine a distorsioni visive, che potevano essere eliminate solo con una lucidatura meccanica che aumentava notevolmente i costi finali. - educazionetecnica.dantect.it

⁵. Rosa Romano, (2011). *Smart Skin Envelope: sistemi di involucro "intelligente"*. Integrazione architettonica di tecnologie dinamiche e innovative per il risparmio energetico. Firenze University Press, Firenze, pp. 25.

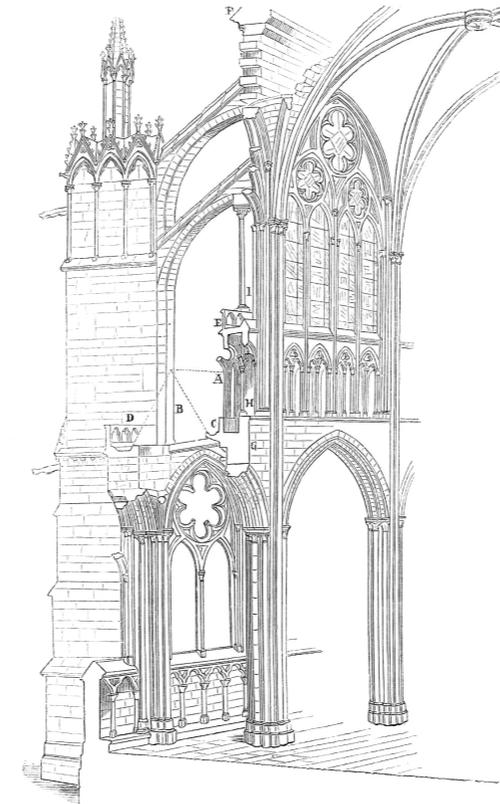
³. "Nel 1926 Le Corbusier indica la 'facciata libera' come uno dei suoi cinque punti della nuova architettura, definendo così la 'pelle' dell'edificio come una leggera membrana indipendente dalla struttura". In: Rosa Romano, (2011). *Smart Skin Envelope: sistemi di involucro "intelligente"*. Integrazione architettonica di tecnologie dinamiche e innovative per il risparmio energetico. Firenze University Press, Firenze, pp. 26.

BASILICA DI SAINT-DENIS

ABATE SUGERIO, PIERRE DE MONTREUIL
PARIGI, FRANCIA
1136 – 1270

dispersione di calore nei mesi invernali. Come detto precedentemente, questi aspetti possono essere bilanciati solo dai nuovi impianti di climatizzazione, che costituiscono un enorme consumo energetico per gli edifici e di conseguenza creano un enorme disagio ambientale. Con la prima crisi energetica degli anni '70, a causa della limitatezza dei combustibili fossili, gli impianti iniziano a non soddisfare più le esigenze di climatizzazione e si inizia così a dare importanza alla tematica dell'isolamento termico. Si verifica così uno sviluppo di nuovi modelli dell'abitare guidato da un ritorno a quelle soluzioni tecnologiche del passato che consentono di sfruttare le fonti energetiche naturali e che, rilette in chiave moderna, hanno portato ad un totale ripensamento dell'involucro edilizio, non solo nella forma ma anche nelle funzioni. Verso la fine del '900 si sviluppano così nuove tipologie di involucro tra cui le facciate a doppia pelle, caratterizzate da un'intercapedine d'aria tra uno strato e l'altro che funge da separatore mediatico, isola termicamente e acusticamente, regola i flussi luminosi, talvolta garantisce ventilazione naturale. **07**

Oggi esistono moltissime tipologie di involucro differenti, con molteplici funzioni, di cui vengono affrontati i tratti principali nel prossimo paragrafo.



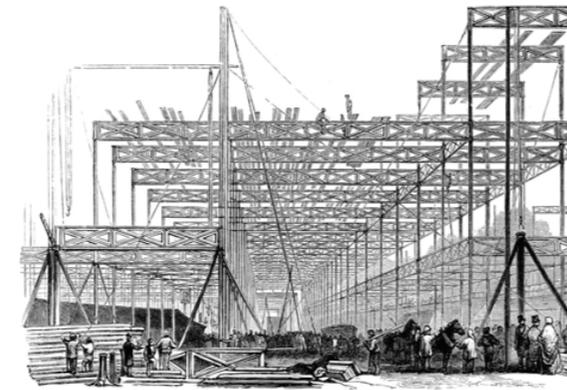
August Ottmar von Essenwein - 1859 - wikipedia.com ▲

La Basilica di Saint-Denis è uno dei esempi più rappresentativi dello stile gotico, oltre che uno dei più antichi, in quanto considerata la prima cattedrale costruita in questo stile. Il volere dell'abate Sugerio era quello di realizzare un'opera sontuosa, che consentisse l'ingresso della luce al suo interno come segno della presenza divina, e decise così di avvalersi del nuovo stile gotico, che stava vivendo il suo primo periodo di vita. Dopo la morte di Sugerio, i lavori si bloccarono per un lungo periodo, e vennero poi proseguiti dall'architetto Pierre de Montreuil. Quest'ultimo apportò delle modifiche al progetto originario con tecniche più avanzate sviluppate in quel lungo periodo sullo stile gotico, ormai divenuto maturo, tra cui l'uso dell'arco rampante, che gli consentì di elevare ulteriormente l'altezza delle volte. La marcata verticalità, la presenza costante dell'arco a sesto acuto, le grandi vetrate, sono tutti aspetti visibili principalmente dall'interno, mentre l'esterno della chiesa rimane ancora legato al precedente stile romanico, e rende evidente il passaggio da uno stile all'altro ancora non propriamente compiuto. Il gotico continuerà ad essere utilizzato per i due secoli seguenti, imponendosi come uno degli stili più utilizzati per la realizzazione di chiese e cattedrali, oltre che ad influenzare l'architettura futura.

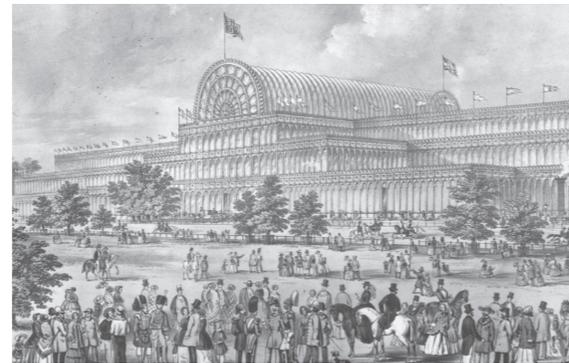
CRYSTAL PALACE

JOSEPH PAXTON
LONDRA, REGNO UNITO
1851

Il Palazzo di Cristallo venne realizzato in occasione della prima Esposizione Universale, e rappresenta un edificio innovativo sotto ogni punto di vista. Il progettista Joseph Paxton non era un architetto, ma un costruttore di serre, alle quali si ispirò per il progetto dell'edificio. L'intero fabbricato era composto con elementi modulari aggregabili, di cui vennero accuratamente studiati la produzione, la fornitura e il sistema di montaggio. L'effetto finale di ampiezza e leggerezza è stato reso grazie all'impiego del ferro e del vetro, un sistema al quale si sono ispirati poi i progettisti per realizzare gallerie pedonali, coperture di stazioni ferroviarie, e altre strutture simili. La navata centrale dell'edificio è lunga più di mezzo chilometro, ed è sormontata da un'altissima volta a botte interamente in vetro e ghisa, le cui dimensioni servirono per non abbattere gli alberi secolari presenti su Hyde Park. Questo sistema di elementi modulari ha consentito poi di smontare l'edificio per spostarlo nella periferia di Londra, una possibilità del tutto innovativa per l'epoca. L'estetica del Crystal Palace si basa sulla prevalenza dei vuoti, e quindi del vetro, sui pieni, e quindi sugli elementi metallici, intendendo lo spazio interno e lo spazio esterno come un unicum.



architonic.com



passionepremiere.com

HOME INSURANCE BUILDING

WILLIAM LE BARON JENNEY
CHICAGO, USA
1885



foto disponibile presso la National Digital Library Program della Biblioteca del Congresso

L'Home Insurance Building è considerato il più antico grattacielo della storia. La sua altezza raggiunge i dieci piani, e la sua struttura è composta da un telaio metallico rivestito da un materiale resistente al fuoco. Edifici con ossatura in acciaio comparvero solo dopo il 1880, e se ne fece ampio uso durante la ricostruzione del centro della città di Chicago, distrutto da un violento incendio. In questo periodo si lavorava sull'altezza degli edifici grazie all'invenzione del telaio metallico, che consentiva di costruire molti più piani rispetto alle tecniche utilizzate fino a quel momento, tanto che i dieci piani dell'Home Insurance Building risultavano sorprendenti per quel periodo. L'ingegnere Le Baron Jenney fu il maestro di quelli che divennero architetti di spicco, quali Sullivan, Adler, Burnham, e altri che facevano parte della così detta "scuola di Chicago", e che portarono avanti gli studi del loro predecessore, alla ricerca di sempre maggiori possibilità in termini di altezza, di forma, di struttura. Inizialmente l'altezza era una necessità dettata dagli elevati prezzi delle aree fabbricabili, che costringeva a stipare funzioni diverse nel medesimo spazio. In seguito, tuttavia, divenne una questione di prestigio, divenendo un biglietto da visita per società e imprese.

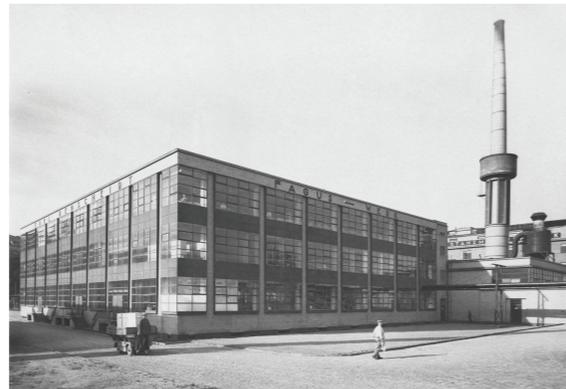
OFFICINE FAGUS

WALTER GROPIUS, ADOLF MEYER
ALFELD (LEINE), GERMANIA
1911

Per la realizzazione delle Officine, Gropius e Meyer si ispirarono alla Fabbrica di turbine AEG, realizzata due anni prima da Peter Behrens. È una delle prime volte nelle quali agli edifici industriali viene riconosciuto un valore estetico, gli viene conferita una dignità, abbandonando l'idea di sconforto tipica della fabbrica-caserme. Il vetro diventa il protagonista dell'edificio, e lascia vedere il lavoro delle catene di montaggio svolto all'interno. Gli elementi portanti sono ridotti a sottili aste d'acciaio che danno origine alla tipologia del *curtain wall*, di cui l'edificio rappresenta uno dei primi esempi. La struttura portante interna è realizzata in cemento armato con pilastri interni, grazie alla quale gli architetti sfatano il mito secondo il quale gli spigoli garantiscono il sostegno dell'edificio, e li svuotano, lasciando solo un contorno vetrato, aspetto estremamente innovativo per quell'epoca. Per quanto l'ispirazione principale fosse quella della Fabbrica di Behrens, il risultato si può dire fosse l'esatto opposto: alla massa e pesantezza del modello behrensiano, Gropius e Meyer contrappongono trasparenza e leggerezza, con spazi vetrati senza limiti di contorno e con un costante dialogo tra interno ed esterno, aspetto innovativo ma di fondamentale importanza per il benessere dei lavoratori.



archdaily.com



archdaily.com

VILLA SAVOYE

LE CORBUSIER
POISSY, FRANCIA
1928 - 1931



archdaily.com



archdaily.com

Villa Savoye è uno degli esempi più compiuti e rappresentativi dell'architettura moderna, oltre che l'incarnazione a 360 gradi dei 5 principi dell'architettura scritti da Le Corbusier. Il bianco parallelepipedo, purissimo nella forma e privo di un qualunque ornamento, poggia su una struttura a pilotis, frutto delle nuove possibilità tecnologiche del calcestruzzo armato. La costruzione viene così elevata e separata dall'umidità del terreno, e il piano terra diventa un giardino. L'attenzione ai temi relativi al benessere si può riscontrare nel tetto a terrazza, per il verde, e nell'uso delle finestre a nastro, che consentono una straordinaria illuminazione e un continuo contatto con l'esterno, oltre che facilitare enormemente il ricambio di aria, altra tematica che iniziava ad acquisire sempre più importanza. Infine, la pianta libera e la facciata libera, anch'esse realizzabili grazie agli ultimi sviluppi tecnologici. La possibilità di basare l'intera struttura su pilotis e solai in calcestruzzo armato consentiva infatti di ottenere spazi molto più ampi, conseguentemente all'eliminazione delle pesanti e ingombranti murature, ma soprattutto di realizzare la facciata indipendente dal fabbricato edilizio, e da qui libertà dell'architetto di concepirla in base ai propri canoni estetici, senza vincoli.

SEAGRAM BUILDING

LUDWIG MIES VAN DER ROHE
NEW YORK, USA
1958

Il Seagram Building rappresenta uno dei primi esempi di applicazione del *curtain wall* nei grattacieli. La struttura, in acciaio e calcestruzzo armato, a maglia quadrangolare, arriva a toccare i 157 metri, organizzati in 58 piani. La sensazione di verticalità è incrementata dalla collocazione dei profili metallici esternamente rispetto al piano delle finestrate, che correndo ininterrottamente tra un piano e l'altro riflettono la scelta puramente estetica ma particolarmente d'effetto. Anche la scelta dei materiali è frutto della ricerca di semplicità formale dell'architetto. La struttura di ferro è interamente rivestita da un *curtain wall* di bronzo e vetri scuri di colore marrone, per proteggere dall'incidenza dei raggi solari. L'aspetto finale è tutt'altro che quello di trasparenza che caratterizzava i grattacieli dei decenni precedenti, quanto piuttosto una ricerca del dettaglio, della semplicità complessiva, dove la facciata doveva essere quanto più uniforme ed omogenea. Si può affermare che il Seagram Building rappresenti una delle più compiute realizzazioni di *curtain wall* su grattacieli, e la qualità complessiva, l'eleganza, la creatività, lo contraddistinguono dalle altre applicazioni di *curtain wall* avvenute negli anni seguenti, che hanno dato origine a facciate anonime e decontestualizzate.



▲ aparthistory2015.blogspot.com

GRATTACIELO INTESA
SAN PAOLO

RENZO PIANO
TORINO, ITALIA
2011 - 2015



teknoring.com ▲



archdaily.com ▲

Alto 167,25 metri e 38 piani fuori terra, esempio di costruzione alta a doppia pelle, il Grattacielo San Paolo rappresenta un edificio estremamente innovativo, non solo dal punto di vista estetico, estremamente lineare e trasparente, ma soprattutto per il funzionamento tecnologico che sposa perfettamente le filosofie *green*. In primis, la facciata a doppia pelle nelle esposizioni est e ovest, con lamelle esterne mobili, che garantiscono una serie di vantaggi tra cui il controllo della radiazione solare, la ventilazione naturale, un maggiore isolamento termico e acustico, e la parte meridionale interamente rivestita da pannelli solari. Poi, l'alimentazione geotermica, la serra bioclimatica sulla sommità, l'illuminazione a led che si accende in modo graduale, in relazione all'illuminazione esterna e, giorno per giorno, regolandosi sul tramonto. È presente inoltre un sistema di raccolta dell'acqua piovana, utilizzata per i wc e per l'irrigazione delle piante, che consente un risparmio dell'uso di acqua potabile fino al 48%. L'architetto ha dichiarato che l'edificio "respira", si relaziona con l'ambiente esterno, e punta a consumare pochissima energia. Il grattacielo ha come obiettivo quello di ottenere un punteggio tra i più elevati al mondo con la certificazione di sostenibilità ambientale *Leed*.

Oggi quando si parla di involucro edilizio non si intende esclusivamente l'elemento di separazione tra interno ed esterno, ruolo che rappresentava in passato. Si inizia a parlare di interfaccia, di un filtro che acquisisce prestazioni sempre più specifiche ed evolute tanto da essere paragonato ad una pelle, simile a quella umana. L'edificio viene così concepito come un organismo vivente il cui involucro riceve i flussi energetici variabili provenienti da ambiente esterno e microclima interno, mediandoli, e garantendo una comunicazione tra loro in modo da determinare il raggiungimento di un alto livello di comfort interno. La necessità di efficienza energetica ha portato alla declinazione della funzione dell'involucro in un'entità capace di convertire l'irraggiamento solare in energia, di sfruttare la forza del vento per ventilare naturalmente gli spazi chiusi, di garantire il corretto apporto luminoso, insomma di una nuova generazione di sistemi di chiusura che, adattandosi con l'ambiente nel quale sono inseriti e interagendo con esso, puntano ad eliminare la domanda energetica dell'edificio, e contribuiscono alla realizzazione di città sempre più sostenibili. L'involucro edilizio si scinde dalla struttura architettonica e oltre a prefissarsi come l'elemento che protegge l'edificio, rivestendolo, diviene anche lo strumento che garantisce comunicazione tra l'uomo e l'ambiente circostante.

“Se intendiamo l'involucro come “pelle” dell'edificio che protegge l'interno dagli agenti atmosferici ma che allo stesso tempo ne sfrutta in modo funzionale la potenza, allora possiamo pensare alla creazione di uno spazio protetto controllabile. In questo caso le condizioni ambientali esterne diventano una risorsa e non una forza contro cui lottare, mentre l'involucro una “pelle reattiva” che migliora il benessere interno ed evoca molte possibilità di cambiamento.”

Herzog T., (2005). Atlante delle Facciate. Grande Atlante di Architettura, UTET, Torino.

Le funzioni dei nuovi involucri edilizi possono essere così riassunte: la capacità di ridurre l'impatto ambientale dell'edilizia contribuendo alla riduzione delle emissioni di CO₂ nell'atmosfera e perpetuando un uso consapevole delle risorse; rappresentare un sistema evoluto capace di garantire comfort interno per mezzo di buone prestazioni visive, termiche, acustiche e una buona qualità dell'aria tenendo conto dei cambiamenti e sbalzi termici che influiscono durante l'arco della giornata; la capacità di integrarsi con l'intorno, nel rispetto dell'ambiente e della natura, rispondendo anche a determinati canoni estetici.

Le nuove chiusure diventano così capaci di controllare i flussi di energia termica, luminosa, sonora, di produrre energia da fonti rinnovabili, e in alcuni casi di trasformarsi in sistemi dinamici in grado di modificare la loro configurazione spaziale, proponendo nuovi modelli del vivere sempre più avanzati. Nella fase di progettazione dell'involucro è imprescindibile un'analisi dei fattori esterni caratteristici di ciascun luogo di progetto, poichè influiscono direttamente sul comfort dei fruitori. Oltre ai fattori climatici locali vanno considerati anche altri aspetti, ad esempio la vicinanza con fonti di rumore, come una strada particolarmente trafficata, o con fonti inquinanti, come un'industria, o la presenza di movimenti sismici nell'area di progetto. Una conoscenza precisa dell'azione di questi fattori consente la progettazione dell'involucro, oltre che dell'intero organo edilizio, volta ad avere esiti più favorevoli. I principali sono:

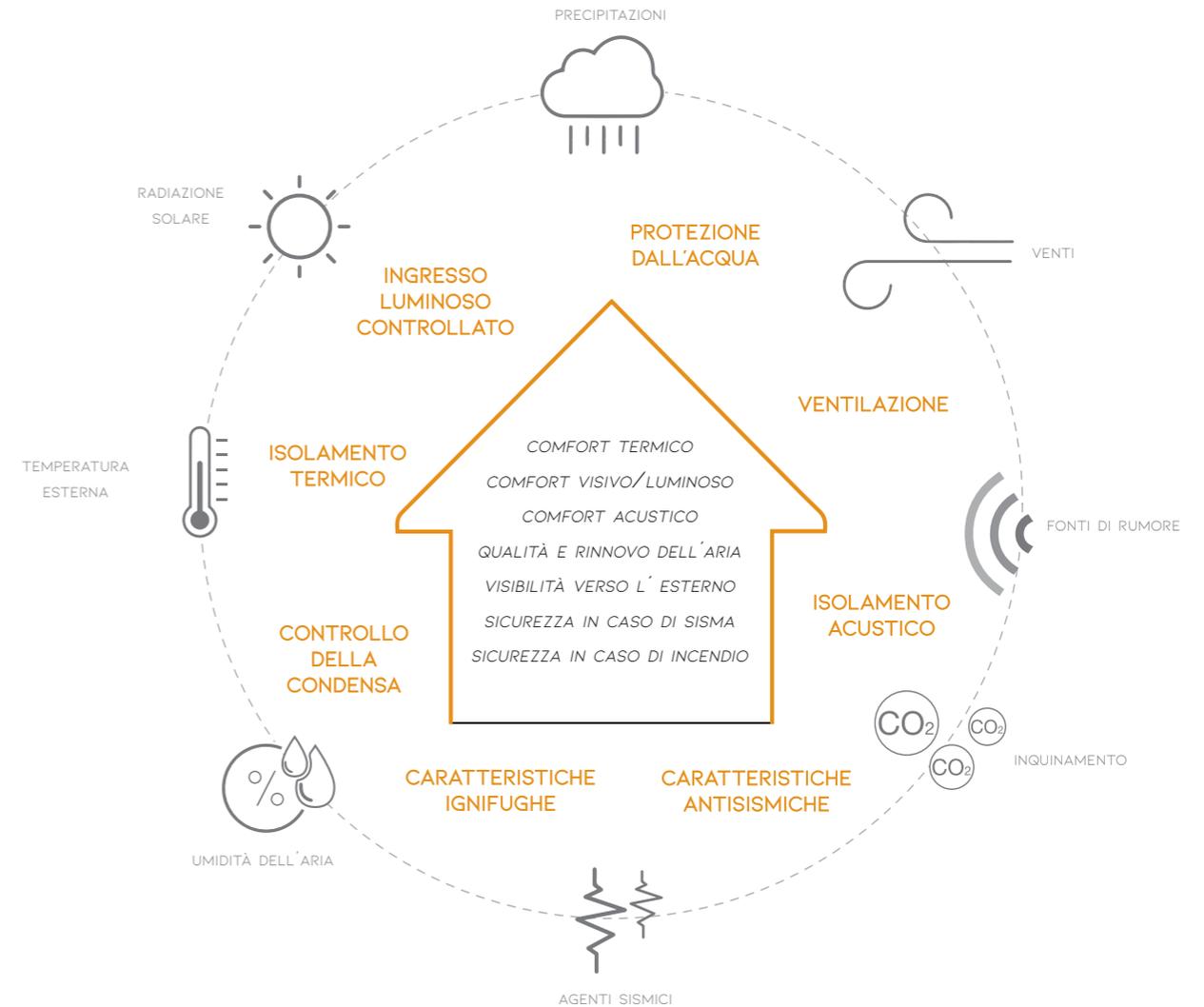
- *radiazione solare*, è la sorgente di energia più importante e fonte di vita. È necessario fare uno studio del percorso solare per valutare l'intensità e la durata dell'irraggiamento nell'arco della giornata e delle diverse stagioni, in relazione a come è orientato l'involucro edilizio per poterne favorire l'ingresso e sapere quando schermarla. Deve essere continuamente bilanciata tra un adeguato comfort termico e comfort visivo;
- *temperatura esterna e umidità*, che variano continuamente durante l'arco della giornata e delle stagioni e sono fondamentali per la progettazione di sistemi di riscaldamento e raffrescamento passivi;
- *il vento*, del quale anche in questo caso è necessario fare uno studio dell'intensità e della direzione prevalente; si dovrebbe cercare di favorire quanto più una ventilazione naturale degli spazi, che deve sempre essere regolata per evitare temperature e

umidità inadeguate per ambienti interni, correnti d'aria interne, ventilazione scarsa in assenza di vento;

- *le precipitazioni*, in quanto fattori meteorologici che influiscono in maniera diretta sull'involucro;
- *il rumore*, poiché gli edifici sono sempre soggetti al rumore delle città e soprattutto del traffico, che subisce continue variazioni nel corso della giornata e deve essere considerato per garantire comfort acustico all'interno;
- *altri fattori*: qualunque altro fattore esterno che possa influire sulla progettazione dell'involucro deve essere tenuto presente. Si consideri ad esempio l'inquinamento che può essere causato dalla vicinanza con un'industria o con collegamenti stradali particolarmente trafficati, o l'azione sismica in una particolare zona geografica.

A seconda della localizzazione e della destinazione d'uso dell'edificio si prediligeranno diverse performance dell'involucro, relative prevalentemente al grado di illuminazione naturale, al comfort acustico, alla protezione da incendi, così come si avranno diversi gradi di libertà nella progettazione se si tratta di un edificio nuovo, di un rinnovo o di un restauro. È importante inoltre valutare la tipologia costruttiva che si intende utilizzare, la tipologia strutturale, il numero di strati di cui è composto l'involucro e anche il numero di involucri previsti.

Risulta complesso fare una classificazione esatta delle tipologie di involucro che oggi vengono utilizzate, tuttavia se ne possono citare alcune: la *curtain wall* o facciata continua, un sistema di intelaiatura di metallo, legno o PVC con elementi verticali e orizzontali fissati tra loro e ancorati alla struttura portante dell'edificio, consistono in grandi superfici trasparenti a se stanti, il cui unico carico che apportano consiste nel loro peso e nella spinta del vento; la facciata ventilata, che per mezzo di un'intercapedine tra il rivestimento della facciata e la parete consente un flusso continuo di aria migliorando le prestazioni termo-energetiche dell'edificio; le facciate a doppia pelle, ovvero un doppio involucro che tra la pelle esterna, che rimane sempre chiusa, e la pelle interna, apribile, forma uno spazio buffer lungo tutto il perimetro dell'edificio che aumenta le prestazioni di comfort termico, acustico, luminoso, e permette la ventilazione (naturale o meccanizzata); involucro che integra elementi per la produzione di energia,



Interpretazione dello schema presente in: Herzog T., Krippner R., Lang W., (2005). Atlante delle Facciate. Grande Atlante di Architettura, Torino, pp.18.

che consente l'inserimento di pannelli fotovoltaici per trasformare l'irradiazione in energia; l'involucro mediatico o multimediale, che può riprodurre immagini fisse o in movimento sulla superficie dei pannelli che lo compongono, molto utilizzato a scopi pubblicitari; involucro interattivo o adattivo, capace di modificarsi con le variazioni climatiche esterne, interagendo con esse tramite dispositivi automatizzati di controllo e garantendo così un maggior controllo del comfort interno; le schermature per il sole, che consistono in un secondo strato con la funzione di regolare l'irraggiamento, o per la pioggia, che protegge dalla pioggia battente e dall'umidità e presenta un'intercapedine nello spazio retrostante allo strato esterno che può non contribuire al comfort termoigrometrico dell'edificio.

L'INTRECCIO COME ORIGINE

2.3.

Si è parlato dell'importanza dell'involucro nella protezione del corpo edilizio, nella sua mediazione con l'ambiente esterno, e del ruolo importante che gioca nella realizzazione di edifici a basso consumo energetico. Una fra le tante tipologie di involucro oggi esistenti è quella dell'involucro tessile, in cui l'aggettivo "tessile" in questo caso non denota l'aspetto materico, ma definisce il metodo compositivo del rivestimento. L'argomento di interesse in questo lavoro, infatti, è l'intreccio di elementi che danno origine a una superficie continua, iniziando con una breve analisi delle varie declinazioni che ci sono state in architettura di questo concetto. Alla base della composizione dell'intreccio ci sono l'ordito e la trama, quindi una base fissa attorno alla quale si infila, si incastra, si annoda una parte mobile. Indagando le origini di questa tecnica antichissima si torna a trattare il tema dell'abitare nella sua forma più primitiva, la nascita delle prime edificazioni, e quindi la capanna e la sua composizione.

“Quindi essendo nato grazie alla scoperta del fuoco l'inizio dell'aggregazione presso gli uomini e il riunirsi e la convivenza, e radunandosi numerosi in un solo luogo avendo dalla natura il pregio rispetto gli altri animali, che non camminavano chini ma eretti e guardavano la bellezza del mondo e degli astri, maneggiavano anche facilmente con le mani e le articolazioni ciò che volevano, in questo contesto alcuni cominciarono a fare tetti con la fronda, altri a scavare caverne sotto i monti, alcuni imitando i nidi delle rondini e le loro costruzioni di fango e a fare con i ramoscelli luoghi che riparassero.”

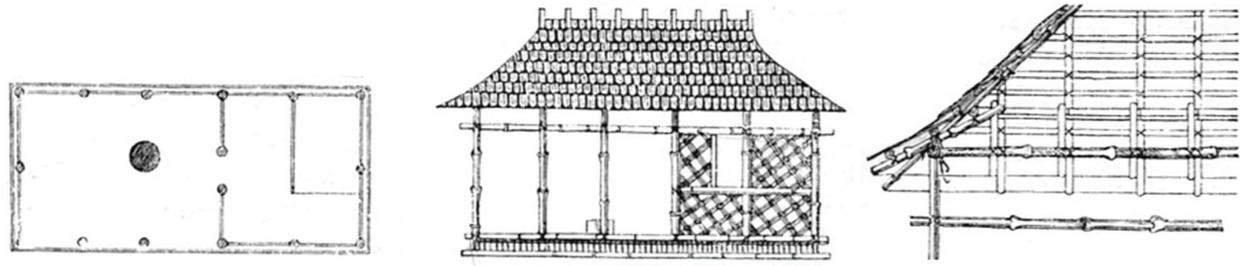
Vitruvio, De Architectura, Libro 10, 02, 1.15

Nel V secolo a.C. Eraclito fece coincidere il principio di tutte le cose, l'ἀρχή (archè), nel fuoco, la forza primigenia del mondo, da cui tutto proviene e a cui tutto torna. Intorno al 15 a.C. Vitruvio scrisse il De Architectura, nel quale considerava il focolare come simbolo della nascita della comunità, attorno al quale gli uomini hanno fondato i pri-

mi gruppi, le prime alleanze, e in seguito i primi ripari. Nel 1852 Gottfried Semper, nel testo *I Quattro Elementi dell'Architettura*, riprende questi concetti ed elabora una teoria secondo la quale a protezione del fuoco, considerato il primo elemento dell'architettura, si sono sviluppati gli altri tre elementi, il tetto, il recinto e il terrapieno. Semper sostiene che dal fuoco abbia origine la struttura della casa, e di conseguenza l'abitare.

Il suo approccio a questa teoria parte dall'analisi delle necessità dell'uomo, e quindi delle funzioni basilari che hanno dato origine alle prime forme dell'abitare comuni a tutti i popoli. Il fuoco deriva dalla necessità di calore e cibi caldi, il recinto da quella di difendersi dall'esterno, il tetto rappresenta la protezione dalle intemperie, il terrapieno la base su cui tutto questo si sviluppa. Questi quattro principi hanno dato origine alla capanna, considerata la prima forma costruita dall'uomo e base dell'architettura di tutti i tempi. Il modello al quale l'architetto fa coincidere in parte la sua idea di capanna primitiva è la capanna caraibica che vede esposta all'interno del Crystal Palace durante l'Esposizione Universale del 1851, realizzata con canne di bambù intrecciate tra loro. Proprio la capanna infatti, in quanto modello ricorrente in moltissime etnie e in differenti località, rappresenta per Semper il punto di partenza per l'analisi delle forme del costruire.

Capanna caraibica nella Grande Esposizione del 1851 (Gottfried Semper, *Der Stil*) - vg.hortus.it



L'origine della capanna può essere ricercata nel rivestimento, che è nato quando l'uomo ha sentito la necessità di un riparo per proteggersi dall'ambiente esterno. Il rivestimen-

to rappresenta il punto di partenza del costruire, non la struttura solida di colonne e pilastri, ma quel primitivo elemento nato legando e intrecciando insieme elementi, in modo da dare origine ad una superficie continua. Così il più antico elemento architettonico è identificabile nella copertura, il più primitivo riparo dell'uomo, a sostegno della quale è stata realizzata la struttura. L'abitare trova la sua origine nell'arte dell'intreccio. "Per quanto non se ne debba concludere in modo assoluto che fosse dovunque questo il corso della civilizzazione, rimane accertato che gli inizi dell'uso di costruire coincidono con l'avvio della tessitura"⁶. Dunque dall'intreccio di rami, rafia, e più avanti fibre in tessuto ha origine il tappeto, la stuoia, l'arazzo: questi elementi rappresentano il gesto primario dell'architettura.

Basandosi sulla teoria dei quattro elementi, classifica l'arte del costruire su due procedimenti principali: la tettonica dell'intelaiatura, che consiste nell'assemblaggio degli elementi più leggeri, e la stereotomia del basamento, che rappresenta gli elementi pesanti.

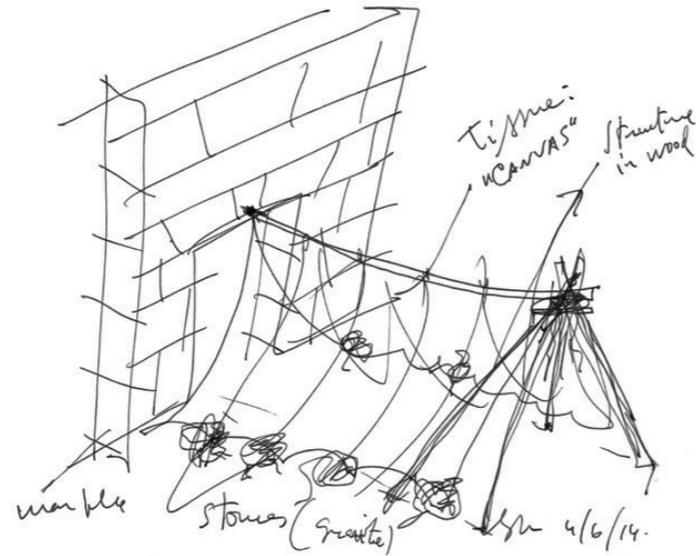
I tappeti e le stuoie venivano appesi e utilizzati come tamponamenti per proteggersi dall'esterno, ma anche come divisioni interne degli spazi della capanna: le pareti della capanna dunque non erano un apparato strutturale, ma è da questi, sostiene Semper, che hanno origine le pareti in muratura. Da questa concezione si sviluppa la Teoria del rivestimento semperiana, trattata nel libro *Der Stil*, nella quale viene specificato come la trama e l'ordito degli intrecci rivelino il carattere strutturale dell'ornamento, e anticipino la funzione che hanno svolto nei secoli successivi pietre e mattoni nelle murature.

Nella capanna Semper ritrova così le origini dei due sistemi costruttivi fondamentali: il telaio e la muratura portante, il tettonico e lo stereotomico, la "costruzione di filigrana" e la costruzione solida. Il principio tettonico della filigrana rappresenta l'origine, il tessere, annodare, intrecciare che Semper descrive come le più antiche abilità dell'uomo. In seguito, le esigenze di dimore più resistenti e durature hanno portato a sviluppare la tipologia stereotomica, la costruzione solida. In queste due tipologie risiedono le origini di tutte le forme del costruire⁷.

6. Biraghi, M., (2008). *Storia dell'architettura contemporanea I, 1750-1945*. Einaudi, Torino, pp. 50.

7. Deplazes A., (2005). *Constructing Architecture. Material processes structures. A handbook*. Birkhäuser, Basilea, pp.14.

Schizzo di Eduardo Souto de Moura per il padiglione Pibamarmi al Marmomacc 2014 - "Secondo l'intento dell'architetto il contrasto tra i setti stereotomici di facciata e gli ambiti tettonici retrostanti, vuole attivare una riflessione sulla dualità muro solido / muro effimero" - Davide Turrini (2014) - architetturadi-pietra.it



"L'architetto, mettiamo, ha il compito di creare uno spazio caldo, accogliente. Caldi e accoglienti sono i tappeti. [...] Ma non si può costruire una casa con i tappeti. I tappeti, che li si tengano stesi sul pavimento o appesi alle pareti, richiedono una struttura che li mantenga nella giusta posizione. Inventare questa struttura è il secondo compito dell'architetto. Questa è la via giusta, logica, che si deve seguire in architettura. Ed è così, secondo questa successione che l'uomo ha imparato a costruire. In principio fu il rivestimento. [...] Il tetto è il più antico elemento architettonico."

Adolf Loos, 1898. Parole nel vuoto. Adelphi, Milano (1972) pp.79.

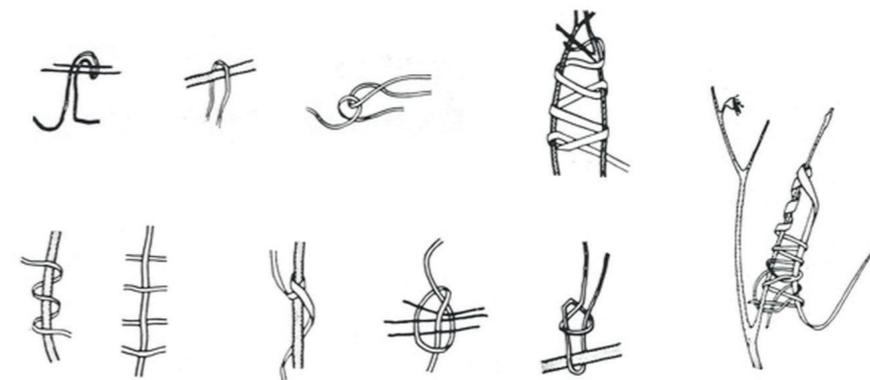
Adolf Loos condivide le teorie semperiane e sostiene che il principio sta nel rivestimento: il rivestimento è più antico della costruzione. Sostiene che al tetto, sistemato in modo tale da fornire riparo all'intera famiglia, sono state aggiunte le pareti, per fornire riparo sui lati. È in questo modo, sostiene Loos⁸, che si è sviluppato il pensiero architettonico, ed è in questo modo che deve operare l'architetto, creando prima spazi e poi strutture. Da queste considerazioni, senza andare ad approfondire il pensiero

8. Loos A., (1972). Parole nel vuoto. Adelphi, Milano, da pp.79.

loosiano sul tema del rivestimento, si può percepire il carattere di assoluta rilevanza dell'involucro, non solo dal punto di vista della funzione primaria che svolge, ma anche per l'aspetto storico-culturale che rappresenta, in quanto origine dell'abitare e del costruire. Fondamentale in questo senso il ruolo della tessitura, il mestiere primordiale grazie al quale, a partire dalla coperta e dal tappeto, è stato possibile dare vita alle più antiche forme di rivestimento.

Per supportare molte sue ipotesi Semper utilizzava spesso lo studio del linguaggio. Così scrisse come nelle lingue germaniche la parola *dache*, tetto, avesse la medesima radice di *dacke*, coperta, e come la parola *wand*, parete, fosse in stretta assonanza fonetica con *gewand*, abito, probabilmente derivanti da *winden*, che significa ricamare⁹. Dunque, come il vestito è costituito da un intreccio di fili, così la parete era costituita da un intreccio di rami prima, e da tappeti dopo. L'involucro, se inteso come un unico elemento tridimensionale di rivestimento, può essere paragonato a un vestito che, tessuto sul corpo dell'edificio, garantisce protezione e svolge al tempo stesso una funzione estetica. Così come un abito, a seconda dei fattori esterni, avrà una struttura e una composizione differenti a seconda della funzione che deve svolgere, del clima, del luogo, della forma del corpo edilizio.

È da questo filo che lega insieme che ha origine la civiltà, le primordiali forme di comunità che si sono unite attorno ad un fuoco e hanno tessuto le basi del convivere e dell'abitare.



◀ Nodi e intrecci (Gottfried Semper, *Der Stil*)- vg.hortus.it

9. Sabatini F., (2007). La decorazione in Semper. Un momento della storia della cultura architettonica nell'Ottocento. Hortus 1, pp. 2.

Come specificato precedentemente, ciò che viene ripreso del tessile è l'aspetto dell'intreccio, ovvero la combinazione dei fili dell'ordito e della trama che originano una superficie continua. Questi gesti, di un saper fare antichissimo e tramandato nei secoli, hanno consentito di realizzare nel tempo una varietà di elementi e forme illimitata. Uno dei caratteri più distintivi del tessile, infatti, è proprio la versatilità, che consente di originare molteplici composizioni per mezzo di materiali eterogenei, dai più tradizionali a quelli di più recente acquisizione. Fin dalle sue origini la tessitura ha mostrato una grande varietà di utilizzi, distaccandosi dalla tradizionale arte tessile artigianale e esplorando nuove possibilità e nuovi ambiti di espressione. Ciò che interessa affrontare in questo paragrafo è, per mezzo di alcuni esempi significativi, come l'intreccio ha influenzato il mondo dell'architettura, e come viene declinato il suo uso in questo ambito così vario e complesso. Anche in campo architettonico, infatti, l'intreccio è stato declinato in modo estremamente eterogeneo, dal suo utilizzo come base strutturale, al suo impiego come elemento di rivestimento, alle due cose insieme.

Partendo ancora una volta dalla prima forma costruita dall'uomo, la capanna, si può dire che l'antico intreccio di rami in molti casi abbia mantenuto la sua identità invariata, modificandosi sicuramente nel corso del tempo in relazione alle evoluzioni tecnologiche e sociologiche, ma mantenendo comunque le sue caratteristiche più distintive. Non si tratta solo della capanna come generalmente intesa, ma di tutti quei sistemi che si sono sviluppati ed evoluti basandosi su questo concetto, come ad esempio la tenda. L'impiego della capanna e della tenda come modelli abitativi non si ferma, come ben si sa, alla preistoria, ma ha accompagnato l'evoluzione dell'uomo fino ad oggi, dove ancora molte popolazioni continuano a condurre stili di vita strettamente legati a queste tipologie edilizie. Ecco di seguito tre esempi di come la capanna è stata declinata nel tempo, non solo in relazione alla forma ma anche per le funzioni che svolge.



CASA A WEE LEWO

ISOLA DI SUMBA, INDONESIA

Un primo esempio di capanna ancora oggi utilizzato è la casa tradizionale dell'Isola di Sumba, nel piccolo villaggio di Wee Lewo, dove oggi è possibile osservare nove esemplari di case tradizionali. La realizzazione delle capanne è diretta da un Maestro spirituale che, oltre a dirigere i rituali tipici condotti durante la costruzione, garantisce che ogni fase costruttiva, dall'estrazione dei materiali alla composizione degli elementi, avvenga nel rispetto delle leggi della natura. La casa è composta da elementi di sostegno alla base e da due orditure sovrapposte. Per sopportare il carico dell'enorme copertura vengono utilizzate quattro colonne centrali, ancorate al suolo grazie a fondazioni di pietra. Alle colonne è ancorata la struttura principale fatta di travi legate tra loro, alle quali viene sovrapposta una struttura secondaria di canne di bambù intrecciate. Il piano di calpestio è anch'esso ancorato alla struttura principale e realizzato in bambù. L'intera struttura è simbolicamente associata al corpo umano, dove i pilastri di sostegno sono le gambe, che mantengono il contatto con il terreno, il tetto in paglia e i rivestimenti della pareti rappresentano la pelle, il punto più alto della copertura la testa. Le travi sono i nervi, il pavimento in bambù sono le braccia. L'elemento più importante è il cuore, rappresentato da un fuoco collocato al centro, che deve essere tenuto costantemente acceso.



© Giacomo Cossu - 2017



© Giacomo Cossu - 2017

YURTA/GHER

ASIA CENTRALE



©Janette Asche - 2018 - flickr.com



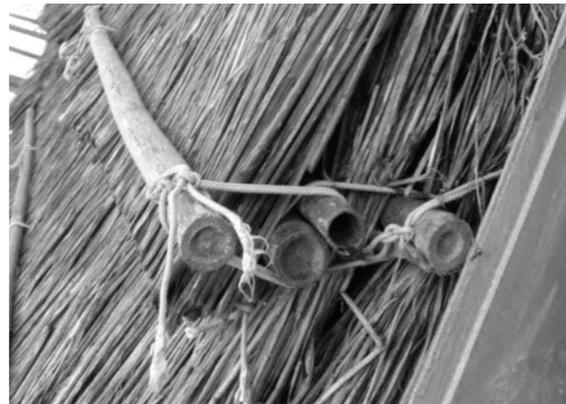
©Maxim Petrichuk - pinterest.com

L'ultimo esempio trattato non consiste propriamente in una tipologia di capanna, ma si tratta dell'abitazione tipica dei popoli nomadi dell'Asia Centrale, chiamata Yurta o, nel caso di quella tipica della Mongolia, Gher. Si tratta di una tipologia costruttiva molto utilizzata in questi luoghi dove la vita nomade è ancora oggi ampiamente diffusa, seppur in calo conseguentemente alle urbanizzazioni dell'ultimo secolo. La Yurta, la cui origine molto antica potrebbe risalire addirittura ai secoli avanti Cristo, è una struttura smontabile richiudibile, e dunque facilmente trasportabile da queste popolazioni che conducono una vita in continuo movimento. La struttura è composta da un sostegno perimetrale in legno, dei pali per la cupola del tetto, sostegni interni per la parte centrale. Il rivestimento è interamente realizzato con strati di tessuto e feltro di lana di pecora, un materiale essenziale per isolare termicamente (nella steppa le temperature variano dai 40°C in estate ai -40°C in inverno) e per conferire un peso sufficiente alle strutture per mantenersi salde al terreno. La forma circolare, oltre ad essere determinata da una questione di organizzazione spaziale interna e facilità di montaggio, simboleggia per queste popolazioni il cosmo, e all'interno vigono antiche regole per la collocazione degli oggetti e delle persone.

"IS BARRACCAS"

SARDEGNA, ITALIA

Non sono solo le popolazioni indigene a vivere in capanne o rifugi di questo genere, alcune delle quali nel tempo sono rimaste estranee alle vicende che hanno riguardato il resto del mondo, vivendo nel loro habitat in sintonia con la natura. Un esempio più vicino di quanto si pensi infatti sono le così dette "is barraccas", capanne in falasco sviluppate nella Penisola del Sinis, in Sardegna, di origine antichissima ma utilizzate fino alla metà degli anni '80. Le capanne erano delle piccole abitazioni che servivano da ricovero per i pescatori, ed erano costruite direttamente sulla spiaggia a pochi metri dal mare. Costituite da un solo ambiente, la struttura era realizzata per mezzo di un'intelaiatura di canne, legate assieme e infilate nella sabbia per 1,5 metri, sostenuta da travi in legno. L'intero rivestimento era realizzato in strati sovrapposti di falasco, una pianta palustre particolarmente presente nell'area del Sinis la cui lunghezza può arrivare a toccare i 2 metri. La caratteristica che contraddistingue il falasco è la sua capacità di modificarsi a seconda del clima: in inverno infatti, con l'umidità, si dilata e chiude gli spazi tra un fascio e l'altro, in modo da impedire alla pioggia di penetrare all'interno dell'abitazione; in estate, al contrario, si restringe e consente all'aria di circolare, ventilando naturalmente gli spazi.



▲ *sardolog.com. L'ultimo costruttore di falaschi*



▲ *blog.libero.it*

Anche il modello della capanna, dunque, si è evoluto nel tempo assumendo connotati sempre differenti in base al luogo, al clima e alle esigenze della popolazione. Consiste in una tipologia edilizia che ha mantenuto le stesse caratteristiche di base, costituite da una struttura di sostegno e un rivestimento leggeri, generalmente temporanea o comunque di breve durata. La capanna è una tipologia edilizia sviluppatasi in maniera spontanea, la così detta architettura vernacolare, nata in un luogo preciso al quale si è adattata senza interferire con l'ambiente, e composta da elementi naturali.

Ma in che modo il tessile ha influenzato il restante mondo architettonico? Quando si parla di architettura tessile si fa generalmente riferimento a tipologie costruttive che fanno ampio uso di elementi tessili, sia sotto forma di membrane (sistemi flessibili), sia sotto forma di scocche (sistemi rigidi)¹⁰. In passato ad affermarsi come uno degli esempi più compiuti, o meglio, più esplicativi, del concetto di architettura tessile, sono state le tensostrutture. Si tratta di costruzioni leggere con alte prestazioni visive, generalmente utilizzate o come coperture o per strutture temporanee, così chiamate poiché le componenti sono mantenute in posizione tramite una tensione esercitata su di esse, generata da cavi e tiranti. Questo sistema consente di realizzare una grande varietà di configurazioni e di dare origine, così, a suggestive soluzioni architettoniche adattabili a molteplici esigenze.

Anche la tipologia delle pressostrutture può essere definita architettura tessile. Si tratta infatti di edifici realizzati con membrane o tessuti, che vengono mantenuti in posizione tramite la pressione forzata dell'aria, immessa all'interno tramite un generatore. Il flusso di aria rimane costante, in modo da mantenere la membrana in posizione stabile, e la struttura viene fissata al terreno tramite specifici sistemi di ancoraggio. Le pressostrutture, inizialmente impiegate nei climi freddi per proteggere le attrezzature radar, vengono oggi ampiamente utilizzate come coperture di impianti sportivi, grazie alla possibilità che offrono di coprire grandi spazi con un materiale così leggero.

Oggi le architetture che hanno subito l'influenza del tessile, sia dal punto di vista materico che dal punto di vista compositivo, sono moltissime, e tutte diverse per tipologia, destinazione d'uso, composizione.

¹⁰ *archetipomagazine.it*

PADIGLIONE TEDESCO EXPO

FREI OTTO
MONTRÉAL, CANADA
1967

Uno dei maggiori rappresentanti della tipologia architettonica delle tensostrutture è senza dubbio Frei Otto. Una delle realizzazioni più celebri è il Padiglione della Repubblica Federale Tedesca costruito per l'Expo del 1967, una struttura divenuta simbolo della Germania post-bellica ed eretta in sole otto settimane. Il team di architetti, con cui Frei Otto progettò il Padiglione, si pose come obiettivo quello di realizzare una copertura quanto più grande con un uso minimo di materiali. Per la sua ideazione si ispirarono alla struttura delle bolle di sapone e delle ragnatele, ma anche agli studi di Leonardo sulla staticità delle volte e delle cupole. Il risultato finale consisteva in una maglia continua in acciaio sospesa e sorretta da otto pennoni di altezze variabili, la cui membrana di copertura venne assemblata per porzioni sul suolo e poi montata. La tensione degli elementi, aspetto caratterizzante delle tensostrutture, consentiva di ridurre al minimo il peso strutturale, e infatti il potenziale della costruzione risiedeva proprio nella sua leggerezza. Tutti gli elementi con i quali è stata costruita sono frutto di prefabbricazione, dalla rete, ai cavi, alla membrana, aspetto che ne permise il completamento in un lasso temporale estremamente ridotto.



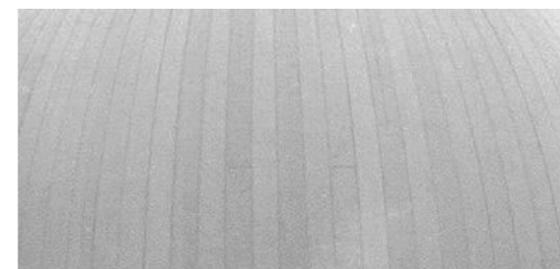
akzero.org



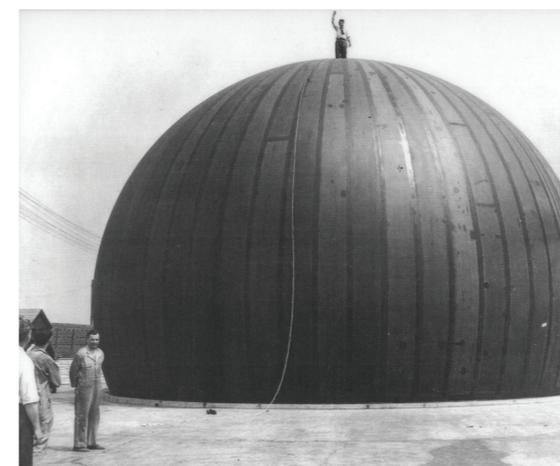
akzero.org

PALLONE PRESSOSTATICO

FREDERICK WILLIAM LANCHESTER
STATI UNITI
1946



plastecomilano.com



plastecomilano.com

Durante e dopo la Seconda Guerra Mondiale, per proteggere la frontiera settentrionale da possibili invasioni, gli Stati Uniti avevano collocato delle grosse antenne radar. Tali antenne dovevano essere riparate dai climi rigidi del nord, nello specifico dell'Alaska, garantendo tuttavia allo stesso tempo un minimo ostacolo alle onde radar, motivo per il quale era necessario un rivestimento minimo ma efficiente. Le pressostrutture, studiate da Lanchester nel corso degli anni precedenti, si rivelarono essere particolarmente adatte a svolgere tale funzione: venne dunque richiesta a collocazione di centinaia di queste cupole o palloni sorretti dalla sola forza dell'aria soffiata all'interno. Ciò che consentì un enorme passo avanti nello sviluppo di questa tecnologia è senza dubbio lo sviluppo di nuovi materiali capaci di resistere ai climi rigidi, tra cui tessuti come il nylon, o il terylene, spalmati con uno strato sintetico di neoprene o vinile. A seguito del grande successo prodotto dai palloni aerostatici, queste strutture si diffusero anche in altri campi, rivelandosi particolarmente funzionali in diverse altre situazioni. Oggi le strutture pressostatiche trovano un ampio utilizzo in spazi dedicati ad attività sportive.

PADIGLIONE GIAPPONESE EXPO

SHIGERU BAN, FREI OTTO
HANNOVER, GERMANIA
2000

Il Padiglione, realizzato in occasione della Grande Esposizione del 2000, consiste in una costruzione del tutto innovativa, fonte di grande scalpore. Si tratta, infatti, dell'edificio di carta più grande al mondo, uno dei pochi esempi architettonici realizzati interamente in carta e lacci di stoffa, e privo di chiodi, mattoni o cemento, riciclabile al 100% e a sua volta già riciclato. Il rivestimento stesso è stato realizzato con una membrana in carta a cinque strati di materiale ignifugo e impermeabile, per rispettare le normative europee. Con il Padiglione in particolare, ma anche con le altre realizzazioni in cartone precompresso, l'architetto ha dimostrato al mondo le enormi possibilità di questo materiale, di cui ne ha fatto una vera e propria tecnologia, la PTS (Paper Tube System), riconosciuta in Giappone nel 1993. Accanto ai vantaggi in termini di peso, spazio, e sostenibilità, si aggiungono requisiti in relazione non solo al costo, ma anche al tempo di realizzazione delle strutture reticolari. La volontà primaria dell'architetto è quella di realizzare architetture con il minimo spreco e minimo impatto ambientale, con elementi non solo riciclati ma anche riutilizzabili una volta smontate le strutture.



▲ ©Frank Kaltenbach - inspiration.detail.de



▲ ©Hiroyuki Hirai - Arte.sky.

CENTRO CULTURALE JEAN-MARIE TJIBAOU

RENZO PIANO
NOUMÉA, NUOVA CALEDONIA
1998



▲ © David takes photos - inexhibit.com - capanna tradizionale



▲ ©Flickr user tim-waters - archdaily.com

Il Centro Culturale si diversifica rispetto agli esempi precedenti perché in questo caso l'intreccio rappresenta l'ispirazione principale per la realizzazione di una schermatura, solare e visiva, che consenta all'edificio di immergersi nel contesto naturale, ma il metodo realizzativo di tale rivestimento non è propriamente definibile tessile o intrecciato. Il Centro è situato nella Nuova Caledonia, una colonia francese d'oltremare abitata dalla popolazione indigena Kanak, ed è stato realizzato con la volontà di promuoverne la cultura, la lingua, le tradizioni, l'artigianato. L'intorno è caratterizzato da una vegetazione rigogliosa nella quale il complesso si adatta perfettamente anche grazie all'organizzazione spaziale, alternata da spazi aperti, che ricorda quella tipica del villaggio. È composto da dieci padiglioni a pianta circolare che richiamano nella forma la capanna conica, abitazione del capoclan Kanak e cuore del villaggio. La trama dell'intreccio dei rami che compongono la capanna viene riproposto esternamente nella doppia pelle dell'edificio sotto forma di schermatura, che oltre a fare da frangisole garantisce la ventilazione naturale, regolata dalle lamelle mobili in base alla velocità del vento.



*Luum Temple - CO-LAB Design Office, Tulum, Messico (2019)
© Cesar Bejar - 2020 - co-labdesignoffice.com*

L'INTRECCIO COME INVOLUCRO

2.5.

Un'ulteriore lettura architettonica che soprattutto ultimamente è stata data al tema della tessitura, sempre intesa come intreccio, è relativa all'involucro, e rappresenta il tema d'interesse di questa indagine. Mettendo da parte l'aspetto strutturale e quindi, per continuare con l'associazione della capanna, l'intelaiatura di sostegno, si va in questo caso a riprendere l'originario rivestimento di tappeti e lo si reinterpreta in maniera contemporanea, con nuove tecnologie e nuovi materiali.

L'involucro assume così le sembianze di una trama ordita attorno all'edificio, come un vestito che lo ricopre e lo protegge, e si carica di nuovi significati. Le funzioni di questa tipologia di involucro possono essere varie, ma in generale puntano al soddisfacimento dei requisiti di comfort interno di cui si è parlato nel paragrafo precedente, oltre che assumere un importante ruolo estetico. Nelle pagine che seguono vengono affrontati alcuni esempi di come questa tipologia di involucro è stata declinata e interpretata, che differiscono oltre che per i materiali utilizzati, anche per le funzioni che svolgono nei diversi contesti, ma che mantengono sempre una comune matrice espressiva che allude all'assemblaggio di elementi omogenei in una trama e in un ordito. Le tipologie di involucro presentate sono estremamente varie e significative, e vanno dal più basilico modello di intreccio all'incastro casuale di elementi. I materiali utilizzati possono essere racchiusi in tre grandi famiglie: legno e simili, materiali metallici, materiali tessili.

Un altro materiale utilizzato per queste tipologie di involucro è quello ceramico, che viene affrontato nel seguente paragrafo in quanto argomento principale del lavoro. Si differenzia dagli altri materiali proposti sia per la natura e le proprietà che possiede, sia per come viene utilizzato nell'intelaiatura dell'involucro.

MUSEO DI ARTE

SHIGERU BAN ARCHITECTS
ASPEN, COLORADO, USA
2014

Il Museo di arte contemporanea internazionale, progettato dallo studio di Shigeru Ban, è immerso in un pregevole contesto montuoso. La forma estremamente semplice del fabbricato cela in realtà una sofisticata stratificazione, pensata per rispondere adeguatamente alle necessità delle funzioni espositive. Propone un involucro esterno la cui relazione con la tessitura è lampante: un incrocio di elementi lineari in materiale composito, carta e resina racchiuse in due strati di legno naturale, riproducono una trama a maglia larga, semplice ma efficace nel garantire una diretta comunicazione tra interno ed esterno; un costante apporto luminoso è assicurato dal secondo strato, più interno, totalmente trasparente.

©Michael Moran/OTTO - ▶
archdaily.com - 2015

©Michael Moran/OTTO - ▼
archdaily.com - 2015



MASON LANE FARM

DE LEON & PRIMMER ARCHITECTURE WORKSHOP
GOSHEN, KENTUCKY, USA
2009

L'edificio considerato consiste nel granaio "B" del complesso dedicato alle attrezzature agricole e allo stoccaggio di grano e fieno. Il progetto è interamente basato su strategie sostenibili e passive, e sull'utilizzo di materiali ordinari e metodi costruttivi tradizionali, grazie ai quali ha ottenuto la certificazione LEED. Il capannone è rivestito con una griglia reticolare di bambù raccolto nelle aree limitrofe, e l'involucro è realizzato in modo tale da favorire, tramite l'intreccio delle canne, la ventilazione naturale degli spazi interni e consentire così al fieno di asciugarsi. L'intreccio a disposizione quadrangolare, inoltre, vuole richiamare la forma delle balle di fieno stoccate all'interno.

◀ ©Roberto de Leon - archdaily.com - 2011

▼ ©Roberto de Leon - archdaily.com - 2011



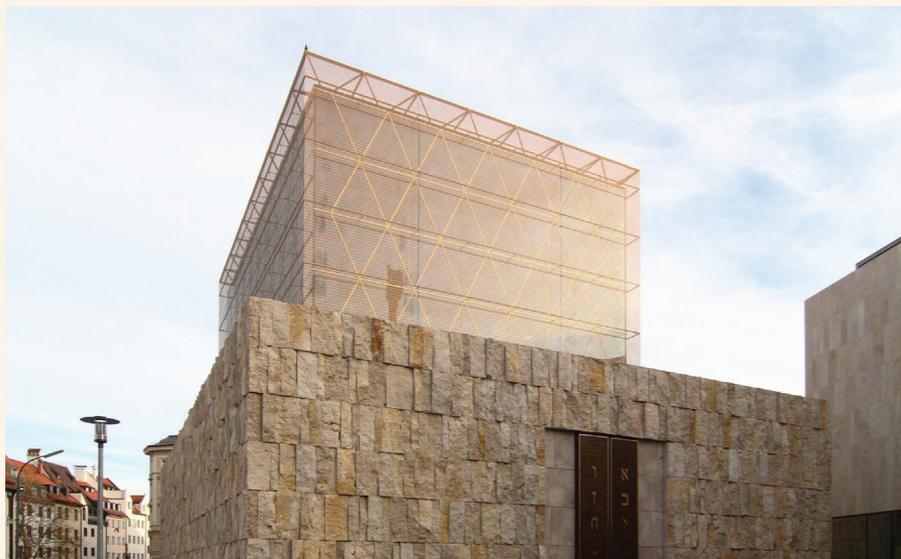
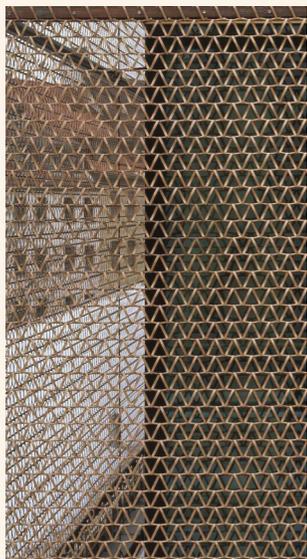
SINAGOGA OHEL JAKOB

ACCIAIO

WANDEL HOEFER, LORCH ARCHITEKTEN
 MONACO, GERMANIA
 2006

Il complesso edilizio nel quale è situata la Sinagoga è composto anche da un Centro Comunitario e un Museo ebraico. La struttura imponente è composta da due parti sovrapposte: la base, luogo della preghiera, è rivestita in pietra e simboleggia stabilità; la parte superiore, invece, è costituita da un enorme parallelepipedo rivestito internamente in vetro e esternamente con un'intelaiatura in acciaio. L'effetto di leggerezza della parte superiore rimanda alla *parochet*, la tenda che nella religione ebraica nascondeva la parte più sacra del culto. La luce viene filtrata dall'involucro, e penetrando nella fitta maglia metallica conferisce all'interno un effetto trascendentale. Di notte, al contrario, la luce fuoriesce, facendo diventare la Sinagoga un elemento illuminante.

©Softeis - Wikipedia - 2006 ▶
 ©European Copper Institute ▼
 - Copperconcept



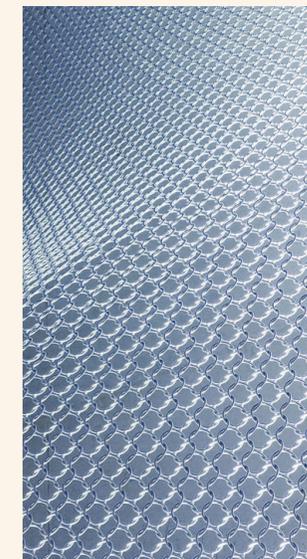
KUKJE GALLERY

ACCIAIO

SO-IL
 SEOUL, COREA DEL SUD
 2012

Al fine di smussare le geometrie della scatola edilizia, troppo rigida e spigolosa all'interno del tessuto urbano, gli architetti si sono avvalsi dell'utilizzo di una grande maglia metallica per rivestire l'intero edificio. L'involucro conferisce complessivamente un carattere nebuloso, e il materiale, acciaio inossidabile, risulta cangiante a seconda del punto dal quale lo si osserva, e crea giochi di colore nell'adattarsi alle forme del volume edilizio. L'elemento rete, composto da 510 anelli, fornisce una lettura ambigua del fabbricato, che risulta rigido e molle allo stesso tempo, riflettendo la volontà degli architetti di rappresentare la disgiunzione tra la forza e l'audacia degli artisti esposti all'interno della galleria, e contemporaneamente il tessuto storico fragile del sito.

◀ ©Iwan Baan - archdaily.com
 ▼ ©Iwan Baan - archdaily.com



KUNSTHAUS ART HOUSE EXTENSION

SSM ARCHITEKTEN AG
GRENCHEN, SVIZZERA
2008

archdaily.com - <https://www.archdaily.com/5072/kunsthau-art-house-exten-sion-ssm-architekten> ▶
archdaily.com - <https://www.archdaily.com/5072/kunsthau-art-house-exten-sion-ssm-architekten> ▼

L'involucro intrecciato di elementi metallici conferisce all'edificio unità e compattezza, e il volume appare come inscatolato nella fitta maglia metallica. Le strisce di rivestimento, di 10 centimetri di larghezza, e i sostegni verticali, sono stati realizzati in ferro grezzo. La scelta del materiale è stata determinata dal fatto che, col tempo, i pezzi possano assumere una colorazione arancione per mezzo del processo di ossidazione, caratteristica voluta per ricordare la stazione ferroviaria situata nelle immediate vicinanze. L'idea che conferisce complessivamente questa tipologia di involucro è quella di una recinzione che racchiude e delimita lo spazio artistico, ma che si prefissa allo stesso tempo come parete espositiva per le sculture collocate all'esterno.



MANNY

TETRARC
NANTES, FRANCIA
2009

L'edificio è situato nel quartiere delle arti creative di Nantes, e il suo involucro così inusuale simboleggia due temi, a parere degli architetti, essenziali per le nostre società contemporanee: la creatività e la responsabilità ecologica. La pelle infatti, realizzata con strisce di alluminio che rivestono l'esterno dell'edificio vetrato, sono collocati in modo caotico e ricordano le figure del nido realizzate dall'artista Nils-Udo, un intreccio di rami disordinato. Allo stesso tempo, l'involucro protegge l'edificio dalla radiazione solare, e permette un consistente risparmio in termini di energetico. L'uso dell'alluminio, inoltre, consente al rivestimento di cambiare le tonalità durante l'arco della giornata, conferendo un aspetto sempre differente all'edificio.

◀ ©Tetrarc - tetrarc.fr - 2009
▶ ©Stéphane Chalmeau - archdaily.com - 2010



CENTRO CONGRESSI E AUDITORIUM 'VEGAS ALTAS'

TESSUTO

CARLOS CHACON, JOSE DE VILLAR, MARTIN ROBLES, PANCORBO
BADAJOZ, SPAGNA
2014

L'edificio sorge in una zona pianeggiante periferica, ubicazione che gli conferisce particolare visibilità e risponde alla volontà di ottenere una costruzione indipendente, simile ad un'enorme palla di paglia in mezzo ai campi coltivati. La compattezza della forma cubica è evidenziata dall'involucro, realizzato con corde intrecciate, che ne rivestono l'intero volume quasi come una gabbia, conferendo un carattere unico all'edificio. Il rivestimento è realizzato con veri e propri elementi tessili intrecciati tra loro, il cui colore, assieme alla forma, ricordano proprio una palla di fieno. Oltre alla funzione estetica di grande effetto, il rivestimento contribuisce a rispondere ai canoni di efficienza energetica come schermatura solare.

©Jesús Granada - *archdaily.com* - 2016

©Jesús Granada - *divisare.com* - 2016



SEDE KOMATSU SEITEN

KENGO KUMA AND ASSOCIATES
ISHIKAWA, GIAPPONE
2015

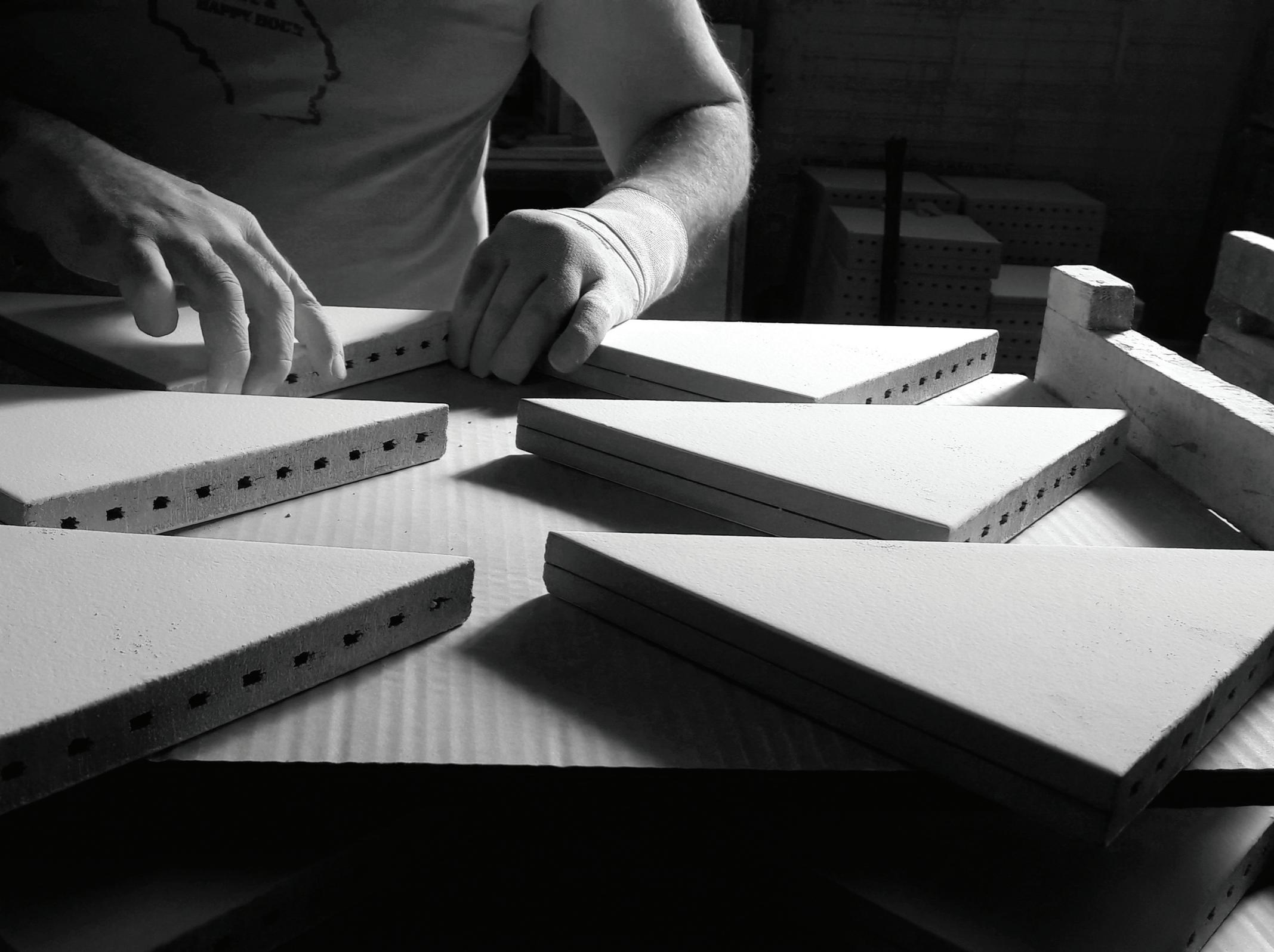
FIBRA DI CARBONIO

La particolarità del rivestimento consiste nelle fibre di carbonio (CABKOMA Strand Rod) che rappresentano il rinforzo antisismico più leggero al mondo, con una fortissima resistenza a tensione e un risultato estetico piacevole. L'involucro infatti è composto da una serie di elementi che dalla sommità del fabbricato scendono dritti come dei fili tesi, fissandosi nel terreno e conferendo un senso estetico complessivo di leggerezza. L'aspetto tessile in questo edificio si distingue non solo per la forma ma anche per la funzione che svolge: non si tratta di un rivestimento con funzioni di comfort termoisolante o di schermatura dei raggi solari, ma una soluzione il cui unico scopo è quello di rendere l'edificio antisismico.

©Takumi Ota - *archdaily.com*

©Takumi Ota - *archdaily.com*





3

LA CERAMICA

©Irene Friggia - 2018 - Taller ceràmica Cumella, Granollers, Spagna

La Terra è fragile.

Si è parlato a lungo della necessità di un ritorno agli equilibri ambientali basati su un uso più cosciente delle risorse che la terra ci offre. Si è discusso dell'importanza di sviluppare un'architettura che contribuisca alla salvaguardia di questi equilibri, un'architettura solidale che rappresenti la convivenza di uomo e natura sotto lo stesso tetto che è il nostro pianeta, un'architettura sostenibile che guardi al futuro. Se si ragionasse seguendo quest'ottica, e si riflettesse sulla complessità dell'organismo edilizio e di tutte le parti che lo compongono, verrebbe da interrogarsi sul loro funzionamento, sulla loro origine e sul materiale di cui sono fatte, ma soprattutto verrebbe da chiedersi cosa ne sarà una volta terminato il loro utilizzo. È fondamentale che il campo dell'edilizia inizi a fare i conti con queste tematiche di primaria importanza, passando al setaccio le sue componenti, trovando alternative valide quando queste risultano nocive per l'ecosistema e elaborando soluzioni compatibili con i nuovi stili di vita.

Uno dei materiali che da questo punto di vista può essere considerato un'ottima alternativa per tante soluzioni architettoniche è la ceramica. Si tratta di un materiale da sempre utilizzato dall'uomo, con origini lontane e una storia lunga da raccontare. Lo stesso Semper considerava l'arte della ceramica, assieme all'arte della tessitura, il mestiere più antico al mondo, due pratiche alle origini degli sviluppi dell'uomo.

“E' antico, viene dalla terra e torna alla terra, ma soprattutto presenta caratteristiche quali la resistenza, la durata, le infinite possibilità cromatiche, la capacità di riflettere la luce, rendendola funzionalmente perfetta e straordinaria in diverse situazioni.”

Renzo Piano, Cersaie 2009, Bologna

Un materiale che *viene dalla terra e torna alla terra*, una descrizione, quella di Renzo

Piano, che in poche parole racchiude l'essenza della ceramica. Un composto 100% di origine naturale, così semplice e, si può dire, a portata di mano, che con una sapiente lavorazione può diventare spettacolare. In più, la ceramica rappresenta una delle principali testimonianze della storia dell'uomo, grazie alla quale è stato possibile ricostruire buona parte della nostra evoluzione, e dunque di grande importanza per la nostra cultura.

“il materiale più a lunga durata, salubre ed ecosostenibile [...] non contiene plastica, è completamente riciclabile, igienico, anallergico, ignifugo, inodore e non rilascia sostanze nocive durante tutto il ciclo di vita [...] Valori di resistenza e durata che paradossalmente diventano difetti nella logica della casa usa-e-getta di certe grandi catene distributive dell'arredo ma che stanno tornando in auge per la crescente attenzione ai temi del benessere e dell'ambiente”

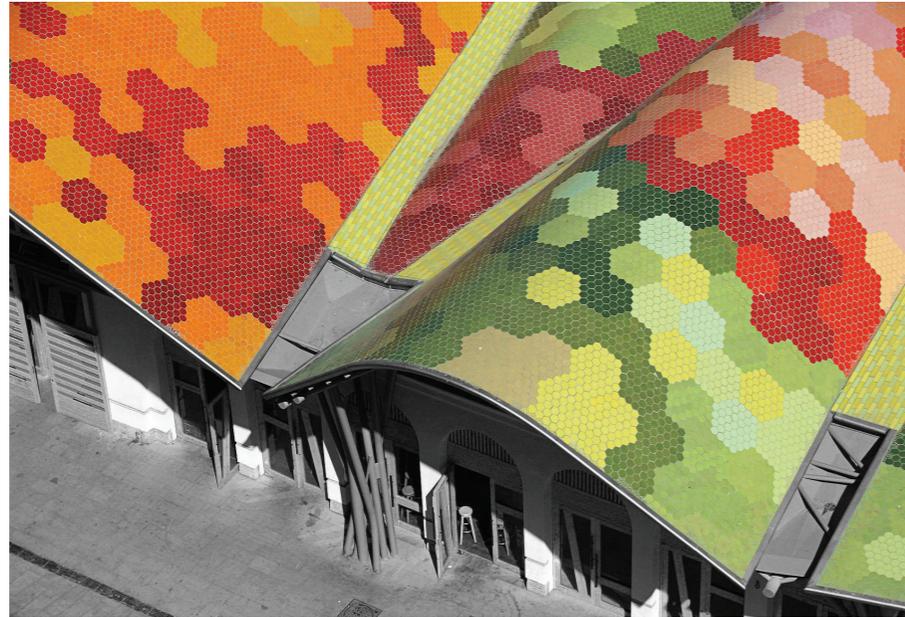
Giovanni Savorani, presidente Confindustria Ceramica, ilsole24ore.com

Per quanto in passato il termine greco κέραμος (cheramos) delineasse l'originario impasto di acqua e argilla, elemento primario per la realizzazione delle ceramiche tradizionali, quello dei materiali ceramici, oggi, è un ambito piuttosto complesso. “Con la denominazione di *prodotti ceramici* si intende una vasta gamma di manufatti, diversi per composizione, struttura, proprietà, impiego ecc., aventi in comune il processo tecnologico di fabbricazione: si ottengono da materiali incoerenti (costituiti in gran parte da sostanze inorganiche non metalliche) che vengono elaborati fino a costituire prodotti formati, compatti, che diventano resistenti per mezzo di cottura a temperature elevate.”¹

Insomma, il mondo della ceramica è estremamente eterogeneo, non solo per la composizione ma anche per le caratteristiche delle materie prime che lo compongono. Ciò che invece accomuna i differenti manufatti sono le fasi elaborative. Per qualunque prodotto ceramico, infatti, il processo comincia con la selezione delle materie prime e con il loro impasto, e prosegue con la modellazione per la realizzazione della forma, seguita dall'essiccamento e infine dalla cottura a temperature molto elevate. Quest'ultima fase conferisce la durezza al prodotto finito e consente, quando richiesto, l'applicazione di una finitura superficiale.

¹. *Enciclopedia Treccani online*

Copertura del Mercato di Santa Caterina a Barcellona, piastrelle realizzate da Toni Cumella - cumella.cat



Ci sono diversi fattori in base ai quali è possibile classificare i prodotti ceramici, relativi alle proprietà, alla composizione, alla struttura della miscela utilizzata.

La prima distinzione si può fare tra materiali ceramici tradizionali e avanzati. I ceramici tradizionali sono quelli che tutti conosciamo sotto forma di utensili, stoviglie, elementi di arredamento, di uso un po' più comune. Vengono ottenuti da miscele di materie prime per lo più naturali, a base di argilla, e si differenziano in base alla porosità della pasta, che ne determina le proprietà meccaniche. La pasta può essere porosa, come le terracotte (tra cui i laterizi) e le maioliche, o compatta, come ad esempio i grès e le porcellane. I ceramici avanzati invece sono frutto delle sperimentazioni per lo più dell'ultimo secolo, sono generalmente ottenuti da prodotti di sintesi e possiedono funzioni e proprietà superiori rispetto ai tradizionali.

Un'altra distinzione può essere effettuata relativamente alla composizione dell'elemen-

to ceramico. Da questo punto di vista è possibile individuare tre categorie principali: prodotti a base di silicati, tra i quali figurano i materiali tradizionali a base di argilla; prodotti a base di ossidi, come alluminio, magnesio, titanio; prodotti a base di non ossidi, come grafite, carburi, nitrucci². Il mercato oggi presenta una grande varietà di prodotti ceramici derivanti da queste categorie, da quelli ornamentali come le maioliche, a quelli di uso quotidiano, come le terracotte e le porcellane, passando per i prodotti utilizzati in edilizia, come i laterizi e i grès, e prodotti sanitari, isolanti elettrici, protesi biomediche, parti di computer, e tantissimi altri manufatti che, grazie alle caratteristiche della ceramica, risultano particolarmente adatti a svolgere molteplici funzioni.

Un utilizzo così ampio e longevo della ceramica è stato reso possibile, oltre che dalla facilità di lavorazione della materia prima e dalla sua adattabilità a un'enorme varietà di forme, anche per le caratteristiche fisiche e meccaniche che possiede. La facile reperibilità della materia prima, inoltre, ne ha consentito una enorme diffusione.

A livello atomico, la struttura dei materiali ceramici presenta alcuni tratti distintivi. Tra le proprietà più caratterizzanti compaiono la durezza e la rigidità, determinate dalla fase di cottura che conferisce compattezza e coesione alla materia prima, e di conseguenza difficoltà di rottura. Non essendo un materiale duttile, e dunque non capace di deformarsi, il prodotto ceramico tende a non essere resistente agli urti, e quindi piuttosto fragile, con buona resistenza a compressione ma scarsa a trazione. Influisce su questi aspetti la porosità della pasta, all'aumentare della quale diminuisce la resistenza a compressione³.

Un'altra caratteristica peculiare è rappresentata dal fatto che, a causa delle elevate temperature di cottura, la ceramica si può considerare un inerte, tende cioè a non reagire con altri prodotti e dunque presenta un'ottima resistenza chimica: si mantiene inalterata a contatto con altre sostanze, non è solubile con l'acqua né si modifica con la fiamma del fuoco. Possiede ottime capacità isolanti sia elettricamente che termicamente, e anche in questo caso influisce la porosità della pasta: a maggiore porosità coincide maggiore isolamento. È un materiale refrattario, inalterabile alle alte temperature, tanto da essere considerato il materiale più resistente al calore sulla faccia della terra: si

². *Enciclopedia Treccani online*

³. Bertolini L., Gastaldi M., (2011). *Introduzione ai materiali per l'architettura*. CittàStudi, Torino.

prefissa come uno dei materiali più sicuri in caso di incendio. Per quanto riguarda la sua interazione con l'ambiente esterno, la ceramica tende a non essere soggetta al degrado chimico, e i possibili fenomeni di deterioramento che si possono presentare sono generalmente legati alla porosità del materiale. I materiali a pasta compatta, infatti, tendono ad essere molto più resistenti rispetto a quelli a pasta porosa, che presentano micropori aperti all'interno dei quali si possono insinuare diverse sostanze che influiscono sull'integrità del materiale.

In generale la ceramica è un materiale che possiede ottime caratteristiche fisiche, chimiche e meccaniche, grazie alle quali può vantare anche un'eccellente durabilità nel tempo. La funzionalità e i costi, la facile reperibilità della materia, la semplice lavorazione e agevole manutenzione, valorizzano ulteriormente questo materiale e lo rendono adatto a molteplici usi.

“Mi piace affermare che si andrà sulla Luna dentro un vaso smaltato”

Peterson, S., (1998). Fare ceramica. Zanichelli, pp.12, Bologna.

FASI DI LAVORAZIONE

3.2.

All'interno del vasto mondo delle ceramiche, la tipologia più comune e utilizzata è la ceramica tradizionale. Poiché si è detto che il procedimento per la realizzazione di un prodotto ceramico comprende, salvo alcune eccezioni, le medesime fasi per tutte le tipologie esistenti, verrà esplicitato nelle prossime righe il processo che porta dalla materia prima all'ottenimento di un manufatto, considerando la tipologia delle ceramiche tradizionali.

IMPASTO

Il primo passo consiste nel reperimento della materia prima per la realizzazione della miscela. L'impasto base delle ceramiche tradizionali è generalmente composto da argilla, acqua e altri additivi con funzioni specifiche. L'argilla, “la materia più versatile che l'uomo abbia conosciuto”⁴, costituisce la componente più importante: è grazie alla sua struttura che l'impasto gode di elevata plasticità, caratteristica che differenzia la natura dei prodotti ceramici dagli altri. L'argilla stabilisce anche il colore, determinato dalle tantissime tipologie di argilla presenti nei diversi territori, la cristallinità (ordine e coesione delle molecole), che influenza la temperatura di cottura, la coesione dell'impasto e il ritiro in fase di cottura, conseguenze della capacità dell'argilla di assorbire e rilasciare facilmente l'acqua.

L'argilla è una roccia sedimentaria clastica, o roccia detritica⁵, che deriva da un accumulo di granuli di dimensioni infinitesimali, accumulatisi per decantazione in acqua (in mari, fiumi o laghi), per azione dei ghiacciai o per azione dei venti⁶. Una volta reperita, sgretolata e ripulita, alla materia prima viene aggiunta l'acqua, in percentuali che possono variare a seconda del processo che si vuole adoperare, che può essere a secco, con basse percentuali di acqua, o a umido, con una quantità di acqua che varia tra il 20 e il 30%. Tra gli additivi che vengono aggiunti compaiono: gli sgrassanti, il cui

4. *Enciclopedia Treccani online*

5. *Enciclopedia Treccani online - Le componenti principali dell'argilla sono i silicati idrati di alluminio (fillosilicati, come la caolinite), che possono contenere anche ferro (Fe), magnesio (Mg), potassio (K), calcio (Ca), sodio (Na) definiti minerali argillosi. A questi si aggiungono sempre altri elementi, i più comuni dei quali il quarzo, muscovite, feldspati, e talvolta altri come cloriti e lateriti. La presenza di queste componenti può essere varia e conferire un diverso grado di malleabilità alla massa argillosa, ragion per cui a seconda della quantità e della tipologia si otterranno dei prodotti differenti.*

6. *Enciclopedia Treccani online*

scopo, in caso di argille che tendono a non mantenere la forma dopo la modellazione, è quello di diminuire la plasticità dell'impasto, ridurre il ritiro in fase di cottura e garantire la porosità; i fondenti, che agiscono nella fase di cottura e consentono di ottenere dei composti più compatti e vetrosi; i fluidificanti, che permettono la dispersione delle particelle del composto e quindi l'ottenimento di un impasto meno compatto; i leganti che, al contrario, tendono ad unire le particelle per un composto più compatto; altri additivi, il cui scopo è volto sempre alla realizzazione di un impasto con prestazioni differenti e ottimali a seconda del manufatto che si vuole realizzare. Infine si procede con la lavorazione dell'impasto, con lo scopo di conferire una maggior compattezza alla massa ed eliminare eventuali bolle d'aria.



Immagine indicativa su alcune tipologie di argille - immagine di labarchitettura.com modificata nelle diverse tonalità

FOGGIATURA

Una volta ottenuta una massa compatta si passa alla modellazione, che può avvenire per mezzo di differenti tecniche, sperimentate nel tempo, e variano a seconda del prodotto che si vuole realizzare. Tra le più tradizionali e antiche compaiono due tipologie di lavorazione manuale: quella a colombino (o lucignolo), che consiste nel sovrapporre a spirale rotoli di argilla, e quella al tornio, per realizzare manufatti di forma circolare. Per entrambe le tipologie è necessario l'utilizzo di un impasto ben consistente, in modo da evitare deformazioni nelle fasi successive.

Con impasti più plastici, invece, è possibile pressare la massa direttamente all'interno di stampi in gesso, per fare acquisire la forma desiderata. L'impasto viene poi lasciato dentro gli stampi con lo scopo di far assorbire una parte dell'umidità dalle pareti di gesso, e provocare così l'indurimento necessario per il distacco della forma finale dallo

7. *Enciclopedia Treccani online*

stampo. Qualora si vogliano realizzare tanti pezzi di dimensioni tutte uguali, come nel caso di mattoni e piastrelle, l'impasto, sotto forma di polvere con bassissime percentuali di acqua, viene compresso con forza all'interno di forme metalliche, in modo che, con l'essiccamento, la deformazione sia minima.

Nel caso di oggetti di piccolo spessore o di forma particolarmente complicata, si può utilizzare il metodo denominato "per colaggio", che consiste, anche in questo caso, nell'utilizzo di stampi di gesso all'interno dei quali viene versata la materia sotto forma di sospensione acquosa. Durante l'essiccamento il gesso assorbe l'acqua mentre le particelle solide si depositano sulle pareti dello stampo acquisendone la forma⁷. Un altro metodo è quello dell'estrusione, che consente di pressare la materia con macchinari specifici attraverso un profilo con una forma scelta appositamente, conferendo così una sezione costante continua.

I metodi di foggatura della ceramica dunque sono moltissimi, ma soprattutto sono in continuo sviluppo verso tecnologie sempre più all'avanguardia. Una di queste è la stampante 3D per ceramica, di recente acquisizione ma sempre più diffusa, che consente di realizzare le forme desiderate, anche molto complesse, estrudendo una qualunque massa argillosa semi umida.

ESSICAMENTO

Una volta conferita la forma al prodotto è possibile rifinirlo per correggere eventuali imperfezioni e passare così all'essiccamento. Questo è il momento durante il quale si va a eliminare l'acqua contenuta nel prodotto crudo, che perde così la plasticità che caratterizzava l'impasto e, di conseguenza, anche il volume. Questa fase è essenziale per evitare deformazioni e crepe, che si formerebbero con una cottura immediata, e rappresenta una parte delicata del processo di realizzazione di un manufatto, poiché non avviene in maniera omogenea e rischia di modificare la forma del prodotto. L'essiccamento può avvenire a temperatura ambiente o poco superiore, oppure in maniera artificiale. Nel secondo caso è necessario creare un ambiente molto umido nel quale il pezzo viene prima surriscaldato senza perdite di acqua; in seguito, in maniera graduale, viene aumentata la temperatura e diminuita l'umidità⁸, per ridurre al minimo le deformazioni.

8. Bertolini L., Gastaldi M., (2011). *Introduzione ai materiali per l'architettura*. CittàStudi, Torino.

Pezzi ceramici durante l'essiccamento, realizzati da Cerámica Cumella per il negozio Camper di Paseo de Gracia a Barcellona, progettate da Kengo Kuma and Associates - ©Irene Friggia - 2018



COTTURA

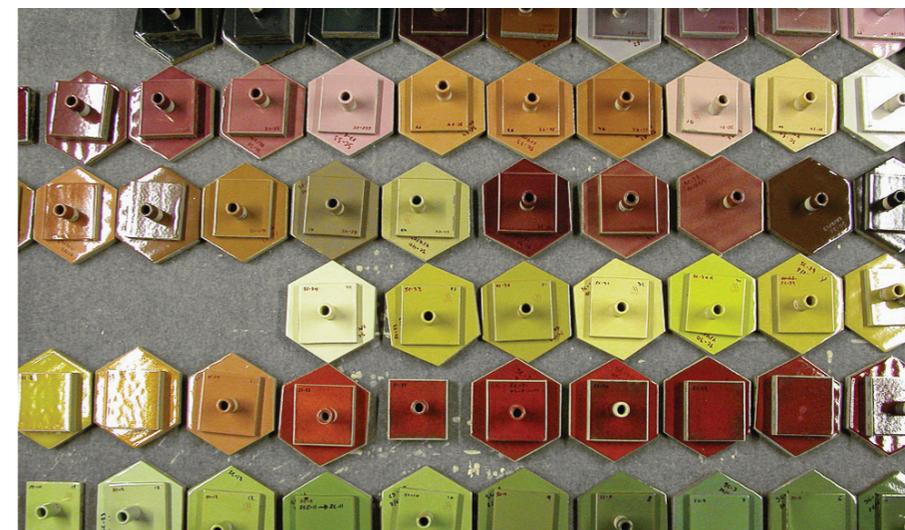
Si passa così alla cottura, fase durante la quale il prodotto assume dimensioni e caratteristiche fisiche e meccaniche che ne caratterizzano l'aspetto finale. In generale il processo può durare a lungo e avere crescite e decrescite di temperatura durante le differenti fasi di cottura. Anche durante questa fase, così come nell'essiccamento, l'oggetto subisce delle modificazioni e una consistente perdita di volume. La temperatura può variare dagli 800°C ai 2200°C a seconda delle materie prime utilizzate, a pasta porosa o a pasta compatta, e a seconda del prodotto finale che si vuole ottenere. Ad esempio, per materiali porosi quali laterizi e terrecotte, la temperatura varia tra i 900 e i 1000°C, mentre per materiali compatti, come le porcellane, varia tra i 1250 e i 1450°C⁹.

RIVESTIMENTI

Le tipologie di rivestimento possono essere varie. Tra le più comuni compaiono le vernici, che consistono in uno strato trasparente che lascia vedere il colore della materia prima, oppure gli smalti, che consentono invece la realizzazione di uno strato colorato,

9. Bertolini L., Gastaldi M., (2011). *Introduzione ai materiali per l'architettura*. CittàStudi, Torino.

tipico delle maioliche. I rivestimenti servono per fornire il prodotto ceramico di una superficie dura, facilmente pulibile, e particolari caratteristiche estetiche. La loro applicazione può avvenire tramite immersione, a spruzzo, o per mezzo di macchinari che consentono di depositare lo strato di rivestimento sul prodotto. Lo strato di rivestimento può essere applicato al prodotto non ancora cotto, come nel caso di vernici che sopportano le alte temperature, ma generalmente viene applicato dopo e necessita di un'ulteriore cottura. Per non alterare il prodotto la seconda cottura avviene a temperature più basse (inferiore ai 50°C), mentre nel caso della monocottura si fissano delle temperature che garantiscano una cottura adeguata. Quando si applica il rivestimento al manufatto crudo, generalmente si ottiene una migliore aderenza tra smalto e supporto, si risparmia economicamente e si inquina meno.



Studio delle colorazioni per le piastrelle del Mercato di Santa Caterina a Barcellona, presso Cerámica Cumella - cumella.cat

Oggi, in edilizia, i materiali ceramici sono ampiamente utilizzati sia all'interno che all'esterno degli edifici, dalle più comuni piastrelle e murature in laterizi, ai rivestimenti in facciata. Si tratta di un materiale continuamente indagato sotto diversi aspetti, nella composizione materica, nella conformazione morfologica, nei nuovi usi che gli si possono assegnare, per studiare nuove soluzioni che, in alcuni casi, possono anche

risultare attinenti alle normative di efficientamento energetico, alle quali gli edifici devono inevitabilmente adattarsi.

La ceramica, nel suo essere così antica e allo stesso tempo così al passo coi tempi, si carica di un significato che ha del paradossale. Da piccoli oggetti di forme irregolari, utilizzati in passato per le funzioni più elementari, si è passati alla costruzione di interi edifici in mattoni, alla realizzazione mosaici e rivestimenti di pareti con piastrelle decorate, fino alla più recente composizione delle facciate degli edifici con pezzi e forme sempre differenti. Uno dei campi più innovativi nei quali la ceramica oggi viene investigata è proprio quello dei rivestimenti edilizi. Gli architetti contemporanei si sono spinti verso nuove possibilità e hanno rotto con la tradizione, superando la pesantezza del modello monolitico in mattoni e facendo assumere ai rivestimenti le sembianze di una membrana, sempre più sottile e distanziata dalla struttura principale. Lo scopo di questi involucri è quello di schermare il corpo edilizio dagli agenti atmosferici esterni, apportare un maggior comfort interno e conferire all'edificio una percezione complessiva estremamente innovativa.

LA CERAMICA COME RIVESTIMENTO

3.3.

La ceramica gioca un ruolo fondamentale nella definizione dei periodi storici dello sviluppo dell'uomo, e tracciare la sua evoluzione nel tempo è un compito molto complesso. Si ritiene infatti che sia stata scoperta e si sia sviluppata in diversi luoghi del mondo contemporaneamente, e abbia poi assunto, a seconda delle epoche e delle necessità dell'uomo, usi e significati differenti. Poiché si tratta di un materiale così antico, inoltre, è necessario scavare nel passato più remoto per ricostruirne il percorso evolutivo, e la mancanza di reperti e prove certe consente talvolta solo di ipotizzarne gli utilizzi e le origini. Tuttavia è certo che la ceramica rappresenti un materiale identitario di moltissime culture, testimonianza di usanze e costumi dei nostri antenati, documentazione delle nostre radici.

La scoperta della ceramica non è databile: non si è a conoscenza di quando nè di come l'uomo abbia scoperto che la cottura dell'argilla consentiva di ottenere un prodotto con ottime prestazioni. Che sia stata una rivelazione del tutto casuale, o derivante da uno studio attento del comportamento del materiale a contatto col fuoco, si è soliti far risalire la scoperta della ceramica al periodo della rivoluzione neolitica. Si tratta di quel momento storico in cui le popolazioni stavano passando da uno stile di vita nomade, basato sulla caccia, ad un'economia di agricoltura e allevamento. Si pensa, infatti, che l'invenzione di oggetti ceramici fosse strettamente relazionata con le nuove necessità di stoccaggio derivanti dal raccolto, o a qualche altra attività legata allo sviluppo dei nuovi stili di vita sedentaria. Sta di fatto che, qualunque sia stato il motivo della sua scoperta, a partire da quel momento ha preso parte alle attività dell'uomo in maniera piuttosto significativa.

Come riportato quindi, la ceramica è entrata a far parte della vita quotidiana dell'uomo diventando utensile, oggetto per rituali sacri, recipiente, laterizio, mattonella, assu-

mendo notevoli varianti a seconda delle diverse culture in cui si propagava. Il motivo che ne ha consentito una diffusione così ampia va ricercato nelle prestazioni che il materiale offre. Mano a mano che l'uomo sperimentava nuovi usi della ceramica, infatti, la plasmava con forme sempre differenti, e prendeva coscienza delle caratteristiche che la differenziavano rispetto agli altri materiali, come la resistenza alle alte temperature, la durezza, la capacità di mantenersi invariata a contatto con agenti esterni chimici e meteorologici, oltre alla facilità di lavorazione e reperimento del materiale.

Anche nel mondo della ceramica, come nel caso di altri materiali, ciò che ha consentito un maggiore sviluppo della forma e degli utilizzi sono state le invenzioni tecnologiche. La possibilità di ottenere manufatti sempre più compatti e precisi, oltre che più resistenti, e di realizzare forme svariate per poter adattare il materiale a molteplici usi, ha consentito alla ceramica di adattarsi a qualunque settore. Ad esempio, l'invenzione del tornio - già utilizzato in Cina nel 12°-11° sec. a.C., e poi in Babilonia, Assiria, Egitto¹⁰ - ha rappresentato un enorme passo avanti poiché ha consentito di realizzare manufatti più raffinati e robusti. O ancora l'utilizzo degli stampi in legno, che hanno permesso la creazione di laterizi tutti delle stesse dimensioni e, di conseguenza, murature più regolari e solide. Inoltre, uno degli aspetti più sperimentati nel tempo, sono state le tipologie di impasti, grazie alle quali è stato possibile dare vita a tipi ceramici sempre differenti e, a seconda delle diverse caratteristiche fisiche, chimiche e di porosità della pasta, applicabili a varie situazioni.

Uno dei campi in cui la ceramica ha avuto un'ampissima diffusione è proprio quello architettonico, con il quale questo materiale ha sempre interagito fin dalle sue forme più elementari. Gli impieghi che, in questo campo, gli sono stati assegnati nel tempo sono sostanzialmente di due tipi: strutturale e di rivestimento. Dal punto di vista strutturale, fin dal 4000 a.C. la ceramica è stata utilizzata in Mesopotamia e Babilonia per la realizzazione di mattoni e laterizi, che venivano dapprima essiccati al sole e poi cotti all'aria aperta¹¹, e in seguito, con lo sviluppo di nuove tecniche per la cottura, si è passati ai forni. Con il periodo Romano, attorno al II secolo a.C., si può addirittura parlare di produzioni di tipo industrializzato e serializzato con ottimi livelli qualitativi; da quel momento in poi, seppur con alti e bassi, il laterizio ha continuato ad essere largamente

10. *Enciclopedia Treccani online*

11. *Sümen Berker O., (2015). Architecture and Ceramics. Science Direct. Procedia - Social and Behavioral Sciences 191, pp.292.*

diffuso nella nostra cultura e ancora oggi se ne fa un uso molto ampio.

La ceramica come rivestimento architettonico invece ha assunto ruoli differenti a seconda della collocazione spaziale del materiale nell'edificio, che fosse cioè all'interno o all'esterno. Internamente, nel piano verticale, la ceramica è stata utilizzata per la realizzazione di rivestimenti parietali, mentre in orizzontale come pavimentazione, oppure in entrambi i casi come mosaico. Anche sul piano verticale esterno la ceramica ha avuto la funzione di rivestimento murario; sul piano orizzontale ha preso posto sulla copertura.

Il tema affrontato in questo lavoro è la ceramica come rivestimento esterno, in particolare nel piano verticale, per capire cosa ha spinto l'uomo a declinarlo come involucro e quali sono i vantaggi che derivano dall'uso di questo materiale come protezione dell'edificio. Si sa che, già nel Paleolitico, l'argilla veniva utilizzata come rivestimento di pareti e pavimento nelle prime abitazioni, ed è sorprendente constatare come la ceramica, pur nella sua forma di base, avesse già una funzione di protezione in epoche così lontane. Le proprietà della ceramica precedentemente elencate, infatti, si sono rivelate fondamentali per l'adattamento di questo materiale come rivestimento, perchè davano la possibilità di proteggere gli edifici dagli agenti atmosferici e dagli attacchi chimici. Inoltre l'opportunità di poter applicare ai pezzi gli smalti colorati, a partire dal III e II millennio a.C., ha consentito un'ulteriore diffusione della ceramica in questo campo: oltre a proteggere il materiale con un sottile strato smaltato, consentiva di realizzare geometrie e colori differenti a scopo decorativo.



◀ Piastrelle smaltate all'interno della Piramide di Djoser a Saqqara, in Egitto, 2600 a.C. - definepattern.tumblr.com

I rivestimenti ceramici sono strettamente legati all'invenzione della piastrella, avvenuta nel Vicino Oriente attorno al 4000 a.C., utilizzata per rivestire sia le mura esterne che le pareti interne degli edifici¹². Anche in questo caso, sperimentando il prodotto e ricorrendo a nuove tecniche e a nuovi impasti, i rivestimenti ceramici si sono sviluppati enormemente lungo il corso della storia, occupando un ruolo importante in tema di involucri edilizi in buona parte dell'Europa e non solo. La piastrella, infatti, si è diffusa dapprima nel nord Africa, entrando a far parte della cultura architettonica dei popoli originari di questa terra, che l'hanno ampiamente utilizzata e successivamente esportata. È proprio dall'Africa, infatti, che la piastrella è sbarcata nella Penisola Iberica durante la dominazione araba - a partire dal secolo VIII - e anche qui è diventata un elemento tipico delle tradizioni spagnole e portoghesi, assumendo la nota denominazione di *azulejo*, quando si tratta di un singolo componente, o di *alicatado*, quando si parla di un intero rivestimento con motivi geometrici situato all'interno e all'esterno degli edifici. In Italia, invece, per quanto l'uso della ceramica risalga a tempi ben più remoti, l'uso delle maioliche decorate si registra a partire dal XV secolo circa, e la tecnica ha assunto nel tempo dei tratti differenti per ciascuna regione nella quale si è diffusa.

Dunque, come citato, l'uso delle piastrelle si è evoluto nel tempo, assumendo caratteristiche distintive soprattutto dopo la Rivoluzione Industriale, che anche in questo campo ha influito con l'avvento della produzione serializzata e standardizzata. Di seguito è possibile osservare alcuni esempi che trattano il modo in cui i rivestimenti ceramici sono stati declinati nel tempo, prima e dopo l'industrializzazione, fino ai giorni nostri. L'aspetto che si cerca di analizzare è il rivestimento ceramico come elemento principalmente protettivo, ma anche decorativo, degli edifici. Nel paragrafo che segue vengono analizzati casi diversi, distribuiti nel tempo e nello spazio, paradigmatici dell'applicazione del materiale ceramico per il rivestimento esterno ed interno degli edifici, in cui protezione e decorazione si incontrano per dare origine alla resistenza del materiale all'ambiente esterno unita alla funzione estetica.

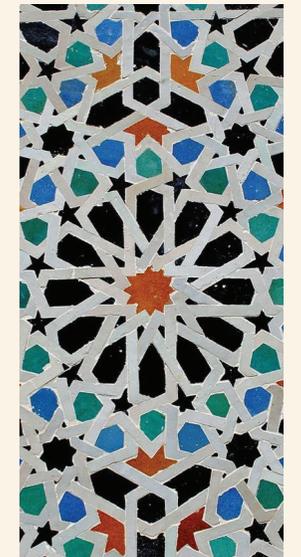
12. Enciclopedia Treccani online

MADRASA DI AL-ATTARINE

FEZ, MAROCCO
1323 - 1325

La Madrasa di Al-Attarine fu uno dei principali centri di apprendimento religioso sunnita realizzato durante la dinastia Marinida. Nel cuore della madrasa è presente un cortile interno, tipico delle architetture arabe, che rappresenta uno dei migliori esempi di artigianato di questo periodo. Oltre agli stucchi intarsiati con motivi decorativi, tutta la parte inferiore è interamente rivestita di piastrelle, ornate con motivi geometrici e scritte in arabo, il cosiddetto mosaico zellige, dall'arabo *zullayj* ovvero piccola pietra levigata. I colori utilizzati per il zellige sono accesi e si uniscono in composizioni infinite; le decorazioni per le piastrelle parietali sono sempre molto elaborate, più preziose rispetto a quelle utilizzate nella pavimentazione che devono essere calpestate.

- ◀ ©Alina Chan - atlasobscura.com - 2017
- ▶ ©Alina Chan - atlasobscura.com - 2017



MADRASA ULUGH BEG

–
SAMARCANDA, UZBEKISTAN
1417 – 1422

La Madrasa Ulugh Beg rappresenta una delle più importanti scuole coraniche dell'Asia Centrale, oltre che una delle più grandi, con una pianta di 60 x 80 metri. È situata nel cuore dell'antica città di Samarcanda, in Piazza Registan, un'enorme spazio occupato da altre due madrase oltre a quella citata. Ciò che colpisce immediatamente dell'intero complesso è il fittissimo rivestimento di maioliche, raffiguranti motivi geometrici ed epigrafi dai colori accesi, principalmente sulle tonalità dell'azzurro. La Madrasa è interamente rivestita di piastrelle smaltate, sia esternamente che internamente, e contribuiscono a riflettere la luce negli spazi chiusi. I motivi geometrici che caratterizzano l'arte islamica sono inoltre gli stessi che venivano utilizzati per la decorazione dei tappeti.

▶ ©Arian Zwegers - 2008

▶ ©nmessana - it.depositphotos.com



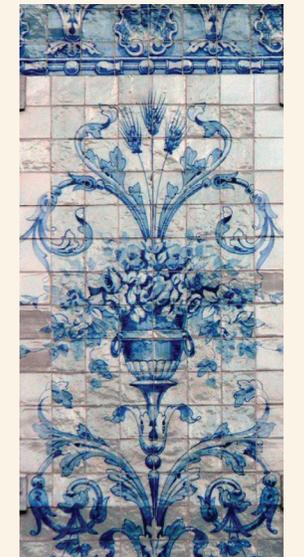
FABBRICA DI CERAMICHE DI VIÚVA LAMEGO

–
CERAMICHE: LUÍS FERREIRA
LISBONA, PORTOGALLO
1849

La Fabbrica di Ceramiche, oggi non più in funzione, presenta una delle facciate più simboliche della città di Lisbona, interamente rivestita di *azulejos*, le piastrelle di origine araba tipiche della Penisola Iberica. L'origine del nome deriva dall'arabo *az-zulayy*, che significa pezzo di terracotta o ceramica lucidata. Gli *azulejos* infatti venivano smaltati e decorati con disegni e motivi sulle tinte del bianco e del blu, e ricoprivano intere facciate di edifici con mosaici che ancora oggi si mantengono intatti. I disegni, in origine geometrici e dai colori accesi, col tempo hanno lasciato il posto a raffigurazioni mitologiche, di guerra e di religione. L'*azulejo* ha caratterizzato profondamente la storia dei rivestimenti ceramici, e la sua diffusione si è spinta, nel tempo, in tutta Europa.

▶ vivilisbona.it

▶ ©teresat teresat - flickr.com - 2008



MAJOLIKAHAUS

OTTO WAGNER
VIENNA, AUSTRIA
1899

La Majolikahaus, uno degli edifici simbolo della Secessione viennese, prende il nome dalla facciata interamente rivestita di maioliche decorate. Il disegno, con motivi floreali, consiste in una pianta rampicante che arriva fino al tetto dell'edificio, conferendo una complessiva dinamicità, insolita per le facciate di quel tempo. La scelta della maiolica è stata dettata, oltre che dalla volontà decorativa e simbolica, da una necessità igienica, essendo le piastrelle più facili da mantenere pulite. Wagner, con questo rivestimento, abbraccia alcune delle teorie semperiane, interpretando la facciata come una cortina tessile che riveste la costruzione, la caratterizza esteticamente e la protegge dall'ambiente esterno.

divisare.com
divisare.com

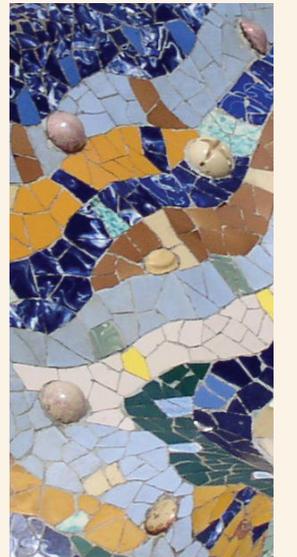


PARC GÜELL

ANTONI GAUDÍ
BARCELONA, SPAGNA
1900 - 1926

Quando si parla di rivestimenti ceramici è impossibile non citare Gaudí, il cui lavoro è talmente esteso che risulta impossibile riassumerlo in poche righe. Viene trattato l'esempio di Parc Güell perché pare che proprio qui venne utilizzata per la prima volta la tecnica denominata Trecandís. Il termine, di origine catalana, indica la particolare applicazione di frammenti ceramici su una base di malta, principalmente composti da mattonelle di scarto ma anche piatti, tazzine, vasi. Si andava alla ricerca di ceramica smaltata con colori accesi, in modo che l'unione dei differenti pezzi desse origine a composizioni di un cromatismo unico, e che la smaltatura riflettesse la luce. La tecnica, caratteristica dell'architettura modernista catalana, viene ancora oggi utilizzata.

musement.com
it.wikivoyage.org



GRAND HOTEL AUSONIA & HUNGARIA

LUIGI FABRIS, TEODORO "DORO" SEBELLIN
VENEZIA, ITALIA
1913

L'Hotel venne inaugurato nel 1907, il periodo di pieno splendore dello stile liberty in Italia. Il rivestimento della facciata fu realizzato cinque anni dopo, con l'uso di maioliche policrome e bassorilievi rappresentanti figure femminili, putti ed elementi della natura, vasi e cesti di fiori. I toni sull'azzurro, il verde e l'ocra richiamano il mare, le acque della laguna, la sabbia, e contribuiscono a immergere l'edificio nel contesto del Lido di Venezia. La ceramica da mattonella bidimensionale diventa, in questo caso, bassorilievo, portando la tridimensionalità nelle facciate degli edifici insieme al nuovo stile libero e indefinito, che mescola tradizione e innovazione. L'hotel, con i suoi 700 metri quadri di maioliche, è considerato un'opera d'arte a cielo aperto.

linkedin.com

©Jean-Pierre Dalbéra - 2012



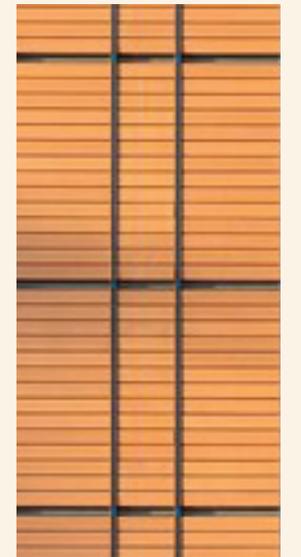
CITÈ INTERNATIONALE

RENZO PIANO
LIONE, FRANCIA
1986 - 2006

Il progetto della Cité Internationale, iniziato negli anni '80, è stato portato a compimento nel 2006. Ciò che maggiormente caratterizza il moderno quartiere è il rivestimento dei complessi residenziali e degli uffici, realizzato con lunghe piastrelle rettangolari di terracotta. L'effetto complessivo ricorda una facciata in mattoni, che viene però privata della pesantezza tipica del materiale e punta ad offrire anzi una sensazione di leggerezza. La forma rettangolare dei pezzi ceramici, inoltre, contribuisce a marcare l'estensione del complesso edilizio lungo il fiume Rodano e il parco della Tête d'Or. La scelta del materiale è stata dettata dalla volontà di ricordare i tetti di Lione che, a differenza di tante altre città francesi, sono realizzati con tegole in laterizio.

cfleonline.org

cfleonline.org



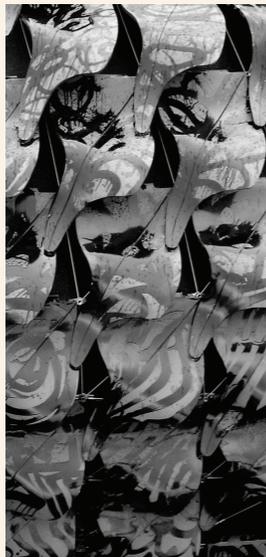
VILLA NURBS

NUVOLA 9
EMPURIABRAVA, SPAGNA
2006

Gli aspetti considerati per la realizzazione dell'involucro sono la protezione dal sole, dal vento, dalla pioggia e il raffreddamento della facciata. Così la pelle ceramica funziona come un insieme di foglie che schermano l'edificio dalle radiazioni solari, lo proteggono dalla pioggia, canalizzando l'acqua da un pezzo all'altro grazie alla loro forma ondulata, e lo riparano dal forte vento proveniente dalle montagne. I 406 pezzi che compongono l'intera facciata dell'edificio sono sostenuti da una intelaiatura di cavi metallici, ai quali i pezzi sono ancorati grazie alla forma studiata appositamente. Una volta conclusi gli elementi ceramici, realizzati dal taller Cumella, sono stati dipinti dal pittore Frederic Amat con smalti neri e trasparenti.

▶ ©LLuís Ros - ceramicarchitectures.com/

▼ ©LLuís Ros - ceramicarchitectures.com/



MUSIC CENTRE

COR ASOCIADOS ARQUITECTOS
ALGUEÑA, SPAGNA
2011

La realizzazione dell'edificio è stata accompagnata dalla volontà di creare, oltre che un elemento in grado di riunire le attività legate alla musica, un punto di riferimento per la città, non solo culturale ma anche visivo e riconoscibile dagli abitanti. Dunque è stato portato avanti uno studio sull'aspetto del fabbricato, arrivando a una soluzione unica e inusuale: per il rivestimento edilizio sono state utilizzate delle piastrelle di ceramica smaltate con un colore madreperla, capaci di riflettere l'ambiente circostante e in particolare il cielo. Il risultato è un involucro estremamente dinamico, mutevole nel corso della giornata, capace di riflettere una luce sempre differente. La percezione del complesso risulta così in continua evoluzione con il contesto in cui è immerso.

▶ ©David Frutos - ceramicarchitectures.com

▼ ©David Frutos - ceramicarchitectures.com



PADIGLIONE VANKE

STUDIO DANIEL LIBESKIND
MILANO, ITALIA
2015

Il Padiglione per Vanke China, realizzato per l'Expo del 2015, è un edificio che si carica di significati molto forti legati alla cultura e alla vita cinesi. La forma sinuosa e il dinamismo verticale vogliono simboleggiare la crescita e la forza del popolo cinese; il rivestimento, composto da oltre 4000 piastrelle ceramiche, verniciate di un rosso forte, richiamano la pelle del drago, animale simbolo per la Cina, metaforicamente legato all'agricoltura e al sostentamento. La colorazione metallica, inoltre, e le differenti inclinazioni dei pezzi, contribuiscono a riflettere la luce in maniera sempre differente. La ceramica utilizzata possiede capacità autopulenti e di purificazione dell'aria, conferendo a questo materiale un'ulteriore funzione oltre a quella protettiva e di decoro.

©Hufton + Crow Photography - ceramicarchitectures.com

©Hufton + Crow Photography - ceramicarchitectures.com



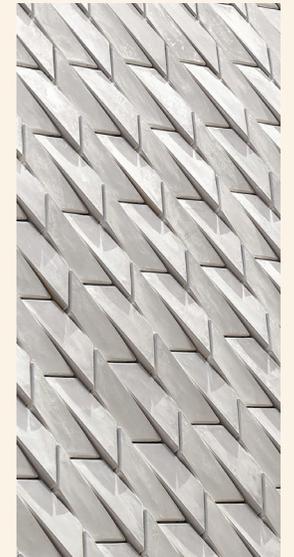
MAAT

AL_A
LISBONA, PORTOGALLO
2016

La forma dell'edificio, museo di arte, architettura e tecnologia, si adatta in maniera sinuosa a quella del fiume Tago, seguendolo e richiamandolo. Il rivestimento, realizzato con più di 15 000 piastrelle tridimensionali, è frutto di un lungo studio, alla ricerca di una forma semplice che giocasse con la luce, le ombre, i riflessi. I pezzi ceramici sono così collocati in modo da riflettere la luce, non solo dal cielo, ma anche dall'acqua, ottenendo come effetto finale una superficie ondulata che ricorda i movimenti del Tago. Inoltre è stato scelto un particolare impasto argilloso che si adatta al meglio alle condizioni climatiche molto rigide del lungomare della città, una miscela che garantisce la giusta porosità e un'ottima resistenza meccanica e chimica.

©Hufton + Crow - ceramicarchitectures.com

©Hufton + Crow - ceramicarchitectures.com



Si potrebbero fare molti altri esempi di come la ceramica è stata utilizzata come rivestimento edilizio nel tempo, tuttavia anche attraverso l'illustrazione di questi esempi è possibile osservare come, a partire dal più basilare elemento ceramico di rivestimento, ovvero la piastrella, nel corso del tempo si siano sviluppate forme, colori e significati differenti della ceramica.

La forma tipica quadrangolare della piastrella ha lasciato il posto a forme oblunghe, irregolari, tridimensionali; l'impasto tradizionale è stato sostituito con nuove miscele, più resistenti, con nuove caratteristiche e peculiarità. Le applicazioni hanno sempre avuto a che fare con edifici aventi molteplici destinazioni d'uso, dal religioso, al pubblico, al residenziale. Il significato di cui la ceramica si è caricata è stato anch'esso vario, ma ha mantenuto sempre come principale scopo quello protettivo, di resistenza e schermatura dei fabbricati edilizi dall'ambiente esterno.

Nel primo capitolo si è trattata l'importanza del *Life Cycle Assessment* (LCA), ovvero quella metodologia che mira ad analizzare gli impatti ambientali di un prodotto durante tutto il suo ciclo di vita, da cui deriva l'importanza di sviluppare modelli di sviluppo sempre più basati sull'Economia Circolare (EC). Anche il tema dell'EC è ampiamente discusso: consiste in un approccio, nel processo produttivo, che punta a minimizzare il bisogno, e di conseguenza il consumo, di materie prime di estrazione (*input*), riducendo al minimo la produzione di scarti (*output*). Oltre a ridurre la materia prima ai minimi indispensabili, e la creazione di flussi di riuso e recupero, si punta ad allungare quanto più la vita dei materiali, in modo da utilizzarli al massimo delle loro potenzialità e senza sprechi. Quando si tratta di questi temi è importante tenere sempre in considerazione i 17 Obiettivi di sviluppo sostenibile (SDGs) trattati nell'Agenda 2030 dell'ONU, che divengono, nel caso dell'industria ceramica, un nuovo punto di riferimento per indirizzare le strategie in tema di sostenibilità.

Il sistema dell'Economia Circolare è applicabile ad ogni sistema produttivo, tuttavia nel caso della produzione ceramica è in grado di raggiungere risultati decisamente soddisfacenti rispetto agli altri campi di utilizzo. I dati e gli esempi di cui si parla nelle prossime righe sono specifici di uno studio del Distretto Ceramico di Sassuolo (analisi svolte da Arpa e dalle Ausl della Regione Emilia Romagna, realizzata di concerto con Confindustria Ceramica, Acimac e Ceramicolor)¹³. Ciò che viene considerato in quest'analisi sono quei fattori, impattanti dal punto di vista ambientale, relazionati con la fabbricazione degli elementi ceramici, tra cui le emissioni di CO₂, il consumo di energia, il consumo idrico, la produzione di rifiuti.

Secondo i dati raccolti nel caso studio, che è divenuto un esempio-guida a livello mondiale, l'industria ceramica è in grado di riutilizzare il 99,5% degli scarti di produzione

¹³. Ceramica sostenibile - confindustriaceramica.it

e depurazione dei manufatti¹⁴, provenienti da scarti sia crudi che cotti, dal fango utilizzato per lavaggio e levigatura, e da residui vari. È così possibile una consistente riduzione dell'estrazione di materie prime, e di conseguenza una marcata diminuzione dei trasporti, del consumo di combustibili fossili, della produzione delle emissioni nocive e di rifiuti.

Dati relativi al riutilizzo degli scarti di produzione, dati presi da: Scheda informativa - Il prodotto e il processo ceramico per l'Economia Circolare, pp.1 - Confindustria Ceramica



Un altro aspetto fondamentale in tema di EC dell'industria ceramica è rappresentato dal consumo di acqua, il cui utilizzo è essenziale prevalentemente nella fase di macinazione delle materie prime per la preparazione della miscela, ma anche nella finitura del pezzo e nella smaltatura. Oggi è possibile riutilizzare totalmente le acque reflue necessarie per la macinazione, ma solo una parte di quella utilizzata nelle altre fasi, raggiungendo tuttavia elevatissime percentuali di recupero.

Dati relativi al riutilizzo delle acque reflue, dati presi da: Scheda informativa - Il prodotto e il processo ceramico per l'Economia Circolare, pp.2 - Confindustria Ceramica



14. Confindustria Ceramica - Scheda informativa: Il prodotto e il processo ceramico per l'Economia Circolare. Stato dell'arte degli aspetti coerenti con approcci di Circular Economy, pp.2.

Inoltre la dotazione delle industrie di impianti per la produzione di energia da fonti rinnovabili contribuisce ad inserire tutto il processo in una nuova ottica di produzione sostenibile. I prodotti ceramici, grazie alla loro resistenza a condizioni atmosferiche estreme e agli agenti chimici, rappresentano un materiale particolarmente durevole nel tempo, con un ciclo di vita stimato in media al di sopra dei 50 anni, oltre che facil-

mente riciclabili e riutilizzabili da qualunque tipo di scarto. La ceramica rappresenta così un prodotto che aderisce pienamente alle tematiche dell'Economia Circolare, motivo per il quale, probabilmente, verrà ancora utilizzata a lungo.

Esiste un'associazione, chiamata Cerame-Unie (European Ceramic Industry Association), che si occupa di rappresentare l'industria ceramica europea. Al momento si stima ne facciano parte circa 2000 aziende, di circa nove settori differenti tutti inerenti la ceramica, provenienti da 30 paesi europei di cui 27 facenti parte dell'UE. La missione della Cerame-Unie è quella di proporre nuove sfide alle aziende in termini di sostenibilità ambientale, e nello specifico temi riguardanti l'Economia Circolare, i cambiamenti climatici, l'uso di materiali grezzi, l'investimento in ricerca e innovazione¹⁵ e tanti altri obiettivi volti a migliorare le tecniche produttive nel rispetto del pianeta. Si guarda sempre al raggiungimento dei traguardi inerenti il cambiamento climatico e l'efficiamento energetico che ormai, per qualunque settore, compaiono in primo piano. Bisogna considerare, inoltre, che quello della ceramica è un settore che investe un ruolo di primaria importanza nell'industria europea.

La ceramica, nel suo essere così versatile, rappresenta oggi un materiale ampiamente indagato, che offre enormi possibilità dal punto di vista ambientale e si proietta nel futuro.

“Quello della ceramica è un settore strategico che guarda al futuro, costantemente impegnato a sviluppare soluzioni innovative e di valore, in grado di migliorare la qualità della vita [...] i prodotti in ceramica sono concepiti per durare nel tempo, e contribuiscono in modo rilevante all'efficienza energetica ed al corretto uso delle risorse.”

Manifesto della Cerame-Unie 2014-2019, “When tradition builds a future”

15. cerameunie.eu

Anche la ceramica è diventata un materiale utilizzato nel mondo della stampa tridimensionale. Nel capitolo dedicato alla lavorazione della ceramica (3.2.), è stato citato il metodo della stampa 3D come uno dei più recenti sistemi di foggatura, sempre più diffuso e all'avanguardia, che sta profondamente rivoluzionando il settore industriale.

La tecnica più diffusa, tra quelle di stampaggio della ceramica, è nota come Liquid Deposition Modeling (LDM), che consiste nel depositare strati di materiale ceramico per dare forma al pezzo desiderato. La tecnica richiama, solo idealmente, la tradizionale lavorazione a colombino, dove la sovrapposizione degli strati veniva fatta manualmente, mentre nella nuova tecnologia viene sostituita dall'uso della stampante 3D. Il metodo di foggatura per mezzo di una stampante è molto semplice e funziona in maniera simile alla stampa 3D per i polimeri, più conosciuta e diffusa. Anche in questo caso, infatti, si tratta di estrarre il materiale per mezzo di un ugello, esercitando una pressione sulla miscela.



Estrusione della ceramica dall'ugello della stampante 3D - corriere.it - 8 Giugno 2018

Il procedimento per la realizzazione di un manufatto con la stampa 3D segue alcune fasi precise che, seppur con le dovute differenze, sono molto simili ai metodi di lavorazione tradizionali, e si possono riassumere nei seguenti punti:

- il primo passaggio consiste nella fase digitale e quindi la realizzazione del modello per mezzo di software specifici, studiato e disegnato in maniera estremamente precisa, per poi essere adattato ad un formato compatibile con la stampante;
- una volta ultimato e verificato il modello, si passa a lavorare sulla stampante. La prima operazione consiste nell'inserimento della miscela argillosa nel serbatoio, composto da una sorta di grande siringa dove uno stantuffo esercita la pressione necessaria per lo stampaggio. Uno dei tanti aspetti vantaggiosi di questa tecnologia è il fatto che la stampante 3D consente l'utilizzo di una grande varietà di miscele, purché abbiano una viscosità medio-alta, in modo da evitare cedimenti durante la fase di stampa. Allo stesso modo, si possono utilizzare ugelli che estrudono la miscela in spessori differenti, che consentono di ottenere prodotti finali quanto più fedeli alle volontà realizzative;
- la stampa può avvenire a diverse velocità e deve essere controllata di sovente per assicurarsi di evitare possibili cedimenti o errori. Spesso, durante questa fase, è necessario effettuare una pausa per far indurire i primi strati, in modo da evitare il collasso con il posizionamento degli strati superiori;
- una volta ultimata la stampa, il modello può essere rifinito o perfezionato, come accade per le tecniche tradizionali;
- anche nel caso della stampa 3D, la fase dell'essiccamento è molto delicata, e valgono le stesse regole e gli stessi accorgimenti trattati nel paragrafo 3.2.; il medesimo discorso vale per la cottura, che può avvenire a gradi differenti a seconda della miscela utilizzata e del prodotto che si sta realizzando.

Il risultato presenta caratteristiche chimiche e meccaniche identiche a quelle di un prodotto ceramico realizzato con i metodi tradizionali e consente l'applicazione di qualunque finitura. Ciò che maggiormente lo contraddistingue è l'aspetto estetico, segnato da una texture che è la conseguenza di come avviene l'estrusione: questa caratteristica può essere studiata e sfruttata come un effetto voluto, che differenzia piacevolmente i

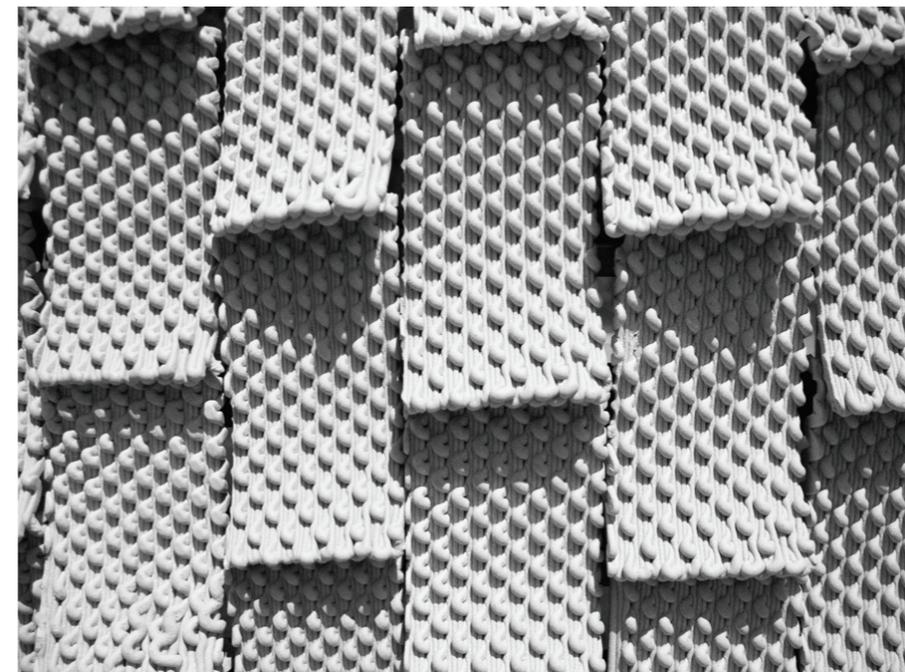
manufatti realizzati con la stampa 3D da tutti gli altri.

I vantaggi dell'utilizzo di pezzi ceramici stampati sono molteplici. Prima di tutto, le configurazioni possibili sono infinite, tanto che oggi è semplice e alla portata di tutti realizzare oggetti dalle forme più disparate. I costi sono estremamente ridotti e si limitano a quelli dell'attrezzatura, composta dalla stampante e dall'estrusore, e alla materia prima, la miscela di argilla scelta per la realizzazione del manufatto. Il metodo della ceramica stampata, inoltre, consente di ridurre al minimo gli sprechi di materiale e di acqua, aspetto per il quale si differenzia maggiormente dalle produzioni tradizionali. Con l'estrusione è possibile ottimizzare la quantità di materiale utilizzato, calcolandolo e dosandolo in anticipo, e non si utilizzano stampi per conferire la forma durante la foggatura. Infine, il tempo necessario per la realizzazione di un manufatto stampato è estremamente ridotto rispetto a quello richiesto dalle tecniche tradizionali, il che consente di velocizzare in maniera consistente la produzione.

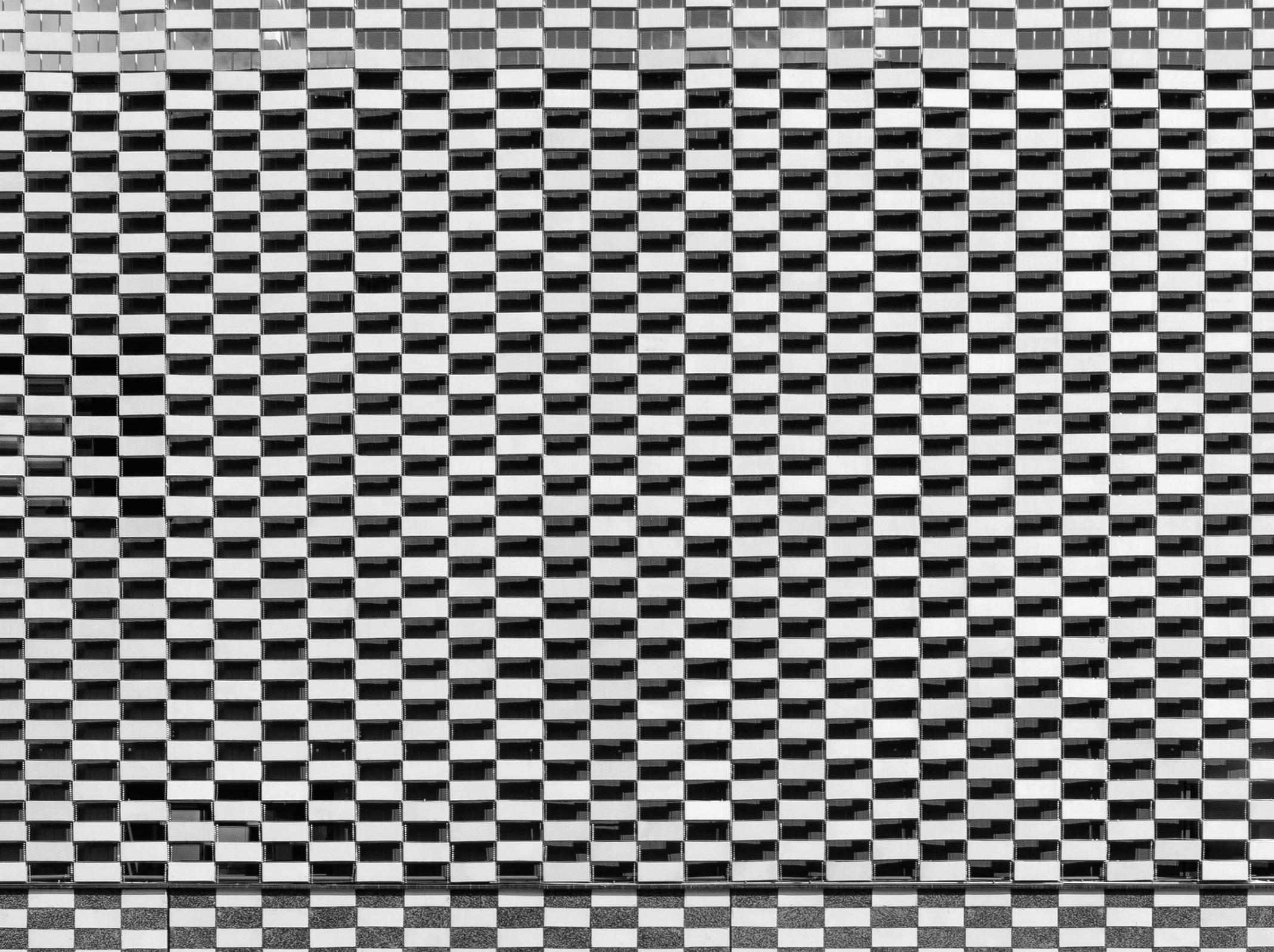


Serie di sperimentazioni ad opera di Emerging Objects - 3ders.org ▶

Oltre a nuove sperimentazioni sulla tecnologia in sé, si stanno portando avanti diverse investigazioni sull'applicazione della stampa ceramica all'architettura, sia come elemento portante, arrivando ad ipotizzare la realizzazione di intere abitazioni, sia come rivestimento. Un esempio rappresentativo della messa in pratica di questa tecnologia sui rivestimenti ceramici è sicuramente la Cabina urbana realizzata da Emerging Objects, uno studio che si occupa di indagare i diversi campi della stampa 3D e specializzato nel campo dell'edilizia. L'involucro della cabina è realizzato con due tipologie di "piastrelle" stampate: una serve per proteggere dalla pioggia, l'altra si trasforma in fioriera. Gli ideatori sostengono che le piastrelle sono ispirate alla trama delle superfici lavorate a maglia, con piccoli dossi realizzabili sempre grazie a metodo dell'estrusione. L'effetto finale è quello di un grande tappeto che si stende sopra l'edificio. Questo era solo un esempio: le possibilità consentite dalla stampa ceramica 3D saranno sempre più ampie, e contribuiranno a proiettare i materiali ceramici nel futuro della tecnologia.



▶ Dettaglio delle piastrelle realizzate da Emerging Objects - ©Matthew Millman - emergingobjects.com



4

INTRECCIO
E CERAMICA
NELL'INVOLUCRO

Kindergarten Virolai Petit- Barcellona - involucro Flexbrick - flexbrick.net

L'arte di modellare la ceramica, così come l'arte dell'intreccio, sono tra i mestieri più antichi praticati dall'uomo, due saperi all'origine del vivere e dell'abitare. L'architettura rappresenta uno dei luoghi dove queste pratiche si sono espresse nel tempo, dapprima separatamente, con funzioni differenti, e dove poi hanno iniziato a fondersi.

Come si è visto nei capitoli precedenti, l'involucro edilizio è sempre stato oggetto di sperimentazioni. Prima si parlava di facciata, una parte che ha sempre avuto un ruolo di primo piano nel linguaggio architettonico, che definiva l'aspetto e la funzione dell'edificio mostrandosi al pubblico; inoltre rappresentava l'elemento architettonico al quale sono stati assegnati ruoli differenti nel susseguirsi delle epoche storiche, che ha assunto la funzione di "spazio espositivo" delle nuove scoperte tecnologiche, dei nuovi linguaggi, del cambiamento. Nel corso del tempo la facciata si è evoluta, ha assunto indipendenza attraverso un progressivo distacco fisico rispetto alla struttura portante, ed è diventata un rivestimento che avvolge l'edificio e lo racchiude, un unicum che non fa più distinzione tra il piano verticale e orizzontale. Si è così iniziato a parlare di involucro, organismo di mediazione tra l'ambiente interno e quello esterno, elemento versatile, talvolta dinamico, capace di adattarsi ad innumerevoli condizioni climatiche.

Tra le tante tipologie di rivestimento oggi esistenti è di particolare interesse per il lavoro di Tesi quella che applica il tema della filigrana all'involucro, una delle strade nelle quali il mondo architettonico si è spinto e ha raggiunto, soprattutto negli ultimi tempi, risultati inediti e innovativi.

L'altra tipologia di interesse è quella dell'involucro ceramico, che dal punto di vista storico è sempre stato utilizzato in maniera continuativa, con alti e bassi, dall'invenzione della piastrella in poi. Certo, prima di diventare rivestimento esterno, la ceramica

è stata utilizzata più per altre funzioni all'interno degli edifici, in particolare come pavimentazione e mosaico. Ma una volta constatati i vantaggi derivanti dall'uso di questo materiale, in primis la resistenza e la durata nel tempo, e una volta diffusasi la tecnica della smaltatura, le piastrelle ceramiche hanno conosciuto un ampio utilizzo nel campo dei rivestimenti edilizi esterni, sia nel piano verticale, quindi sulle pareti, sia nelle coperture, su tetti e cupole. Nel tempo poi, grazie agli sviluppi e alle innovazioni tecnologiche, anche la piastrella ceramica si è evoluta per forma, miscela e funzione, assumendo oggi caratteristiche uniche e conferendo agli involucri edilizi delle peculiarità che solo i materiali ceramici possono garantire.

Affrontate queste due tematiche separatamente, quella dell'intreccio e quella della ceramica nell'involucro edilizio, si cercherà di metterle insieme e mostrare cosa è possibile realizzare accostando la tecnica della tessitura ai materiali ceramici. Si tratta di due argomenti che presentano profonde differenze, dal punto di vista sia materico che applicativo, e proprio questa loro diversità, unita con la versatilità che le caratterizza, consente dare vita a risultati unici e inediti.

Generalmente i rivestimenti intrecciati, come analizzato nel paragrafo 2.5., hanno una composizione continua ma leggera, con trame aperte, che lasciano passare la luce, mai fitte o del tutto chiuse. I materiali con i quali vengono realizzati sono, il più delle volte, flessibili, o comunque elementi che possono essere intrecciati in modo da creare superfici continue e adattabili al volume dell'edificio. I rivestimenti ceramici, invece, sono articolati in una serie di componenti, piastrelle e pezzi di varie forme, applicati in maniera uniforme, fitta, regolare, lasciando percepire un'idea complessiva di compattezza e resistenza. L'involucro ceramico, per le caratteristiche del materiale, è duro e pesante, un guscio rigido capace di durare decenni, addirittura secoli.

Si mette così da parte il rivestimento monomaterico per combinare questi due mondi, sfruttando da un lato la versatilità che offre la composizione dell'intreccio, dall'altro la resistenza e la durata della ceramica, oltre che la varietà di forme e cromatismi possibili. La combinazione di queste due tecnologie e la mescolanza dei loro attributi contribuisce a conferire all'intreccio un carattere più solido e marcato, e trasmette alla cera-

mica una leggerezza insolita, con una conseguente disgregazione nella composizione.

Intreccio e ceramica, due tecnologie antichissime, vengono messe insieme e rilette in chiave moderna, con l'obiettivo di vestire l'architettura di un nuovo abito e di conferire all'involucro edilizio una nuova espressività e una nuova utilità, mettendo in primo piano i temi del risparmio energetico e del rispetto dell'ambiente.

CASI STUDIO

4.2.

Per trattare i temi dell'intreccio e della ceramica applicati all'involucro sono stati selezionati una serie di esempi esistenti che ne mostrano la realizzazione in maniera esplicativa. Si tratta di una tipologia di rivestimento abbastanza diffusa e indagata, che consente di offrire una gamma di applicazioni differenti tra loro, non vastissima ma sufficiente per poter trattare l'argomento. Tutte le tipologie di involucro esaminate hanno come funzione principale quella di schermatura solare, per la quale l'uso della ceramica risulta particolarmente adatto soprattutto se associato allo schema compositivo dell'intreccio. In alcuni casi i rivestimenti proposti presentano anche altre caratteristiche legate alla protezione e all'interazione dell'edificio con l'ambiente esterno.

Gli esempi sono affrontati attraverso una schedatura che mira a presentare gli aspetti principali dell'involucro, le caratteristiche compositive e le prestazioni. Oltre ad una presentazione generale, vengono analizzati gli attributi della struttura di sostegno e dei pezzi ceramici, e relativamente a questi ultimi il metodo realizzativo, la finitura superficiale, la loro collocazione nell'involucro (se sul piano verticale o anche in quello orizzontale), citando l'azienda produttrice. Per ciascun rivestimento, le prestazioni indagate sono principalmente relative alle performance a livello di comfort interno, e di conseguenza anche di risparmio energetico.

I disegni, infine, riportano nello specifico i dettagli costruttivi integralmente ricostruiti a partire dai reperti fotografici e dalla documentazione disponibile, con le dimensioni dei pezzi ceramici per ciascun caso affrontato, compresa la tipologia di incastro con la struttura di sostegno: un'analisi importante per capire quanto grandi possono essere le ceramiche in relazione alla struttura e come possono essere agganciate.

**nelle pagine seguenti misure in mm*

ISTITUTO DI RICERCA SANTA CREU I SANT PAU

2BMFG ARQUITECTES, PICHARCHITECTS
BARCELLONA, SPAGNA
2018

PER: FONDAZIONE PRIVATA DELLOSPEDALE DI SANTA CREU I SANT PAU

L'involucro ceramico dell'edificio rappresenta un vero e proprio punto di forza, in quanto garante di ottime performance in termini di risparmio energetico. L'utilizzo degli elementi prefabbricati Flexbrick consente una maggiore qualità grazie alla produzione industrializzata, un'installazione più veloce e minori sprechi di materiale. La loro modularità, oltre a consentire l'adattamento a una miriade di situazioni differenti, facilita il processo di smontaggio dei pezzi per un eventuale riciclo o riuso alla fine del loro corso di vita. La forma dei pezzi cambia a seconda dell'orientazione della facciata per adattarsi alle differenti condizioni solari, così nella facciata esposta a sud i pezzi hanno un'angolazione capace di schermare raggi più verticali, mentre a est e a ovest sono organizzati in modo da bloccare i raggi orizzontali del sole che cresce e che cala.



Pich Architects - picharchitects.com



CARATTERISTICHE INVOLUCRO

STRUTTURA

Autoportante -
Materiale **Acciaio**

FINITURA CERAMICA

Tipologia **Terracotta smaltata**
Metodo di foggatura **Estrusione**
Trattamento superficiale **Smaltatura, naturale**
Impiego **Copertura, schermatura**
Produttore **Flexbrick**

PRESTAZIONI INVOLUCRO

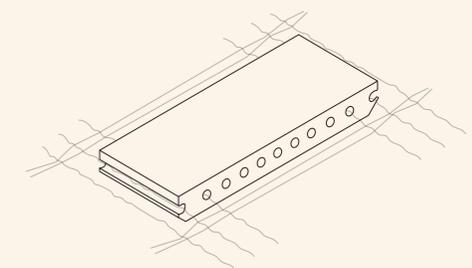
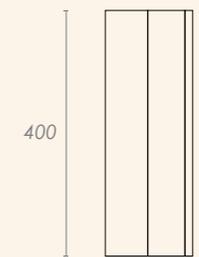
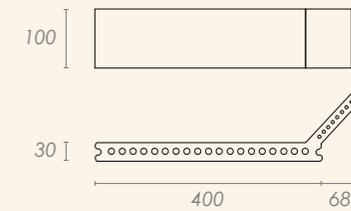
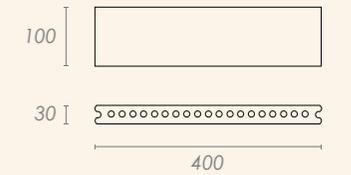
BENESSERE

Controllo inerzia termica ✓
Schermatura solare ✓
Ventilazione naturale ✓
Isolamento acustico ✓

SICUREZZA

Resistenza al fuoco ✓

©Aldo Amoretti - ceramicarchitectures.com





◀ ◀ ©Irene Friggia - 2018

◀ archilovers.com

◀ ©Aldo Moretti - ceramicarchitectures.com

◀ ◀ ©Aldo Moretti - ceramicarchitectures.com

MUSEO DELLE ARTI POPOLARI DELLA CHINA ACADEMY OF ARTS

KENGO KUMA AND ASSOCIATES
HANGZHOU, CINA
2015
PER: CHINA ACADEMY OF ARTS

In questo caso studio, la luce solare diretta è filtrata dall'involucro ceramico che contraddistingue l'intero edificio. Le piastrelle di cui è composto provengono da vecchie case locali e sono così un materiale di riuso, tutte lavorate secondo i metodi tradizionali di questa regione. Grazie alla disposizione spaziale e alle dimensioni, tutte differenti tra loro, si mescolano perfettamente con il contesto naturale circostante e contribuiscono ad esprimere un senso di armonia e di equilibrio. Gli elementi ceramici sono infatti inseriti in una sottilissima griglia in acciaio inossidabile che le fa apparire fluttuanti, facendo perdere l'idea di pesantezza tipica del materiale ceramico e conferendo piuttosto un'insolita leggerezza. L'involucro rappresenta sia la cultura locale, con l'uso delle ceramiche tradizionali, sia la modernità nel loro utilizzo, frammentato e diafano.



©Eiichi Kano - ceramicarchitectures.com



CARATTERISTICHE INVOLUCRO

STRUTTURA

Autoportante -
Materiale **Acciaio**

FINITURA CERAMICA

Tipologia **Terracotta**
Metodo di foggatura **Manuale**
Trattamento superficiale **Naturale**
Impiego **Copertura, schermatura**
Produttore **Piastrelle tradizionali riutilizzate**

PRESTAZIONI INVOLUCRO

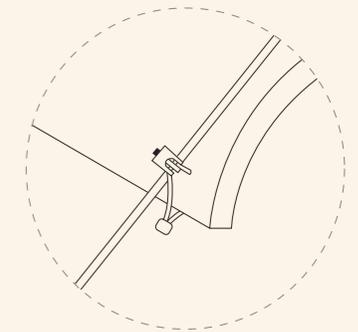
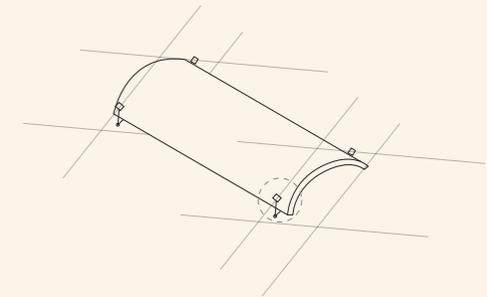
BENESSERE

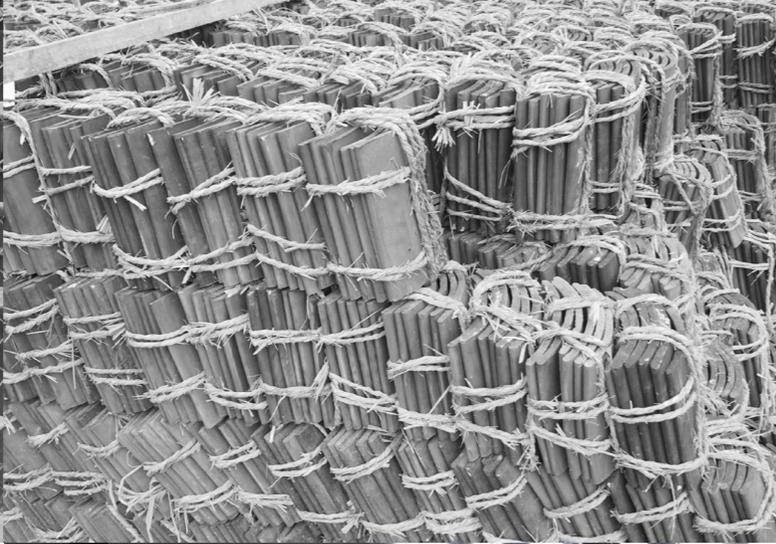
Controllo inerzia termica -
Schermatura solare ✓
Ventilazione naturale -
Isolamento acustico -

SICUREZZA

Resistenza al fuoco ✓

©Eiichi Kano - ceramicarchitectures.com





◀◀ ©Eiichi Kano - ceramicarchitectures.com



◀ ©Eiichi Kano - ceramicarchitectures.com

◀ ©Eiichi Kano - ceramicarchitectures.com

◀◀ ©Eiichi Kano - ceramicarchitectures.com

BIBLIOTECA COMUNALE DI NEMBRO

ARCHEA

NEMBRO, ITALIA

2007

PER: AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI NEMBRO

Il volume dell'edificio, interamente vetrato, è rivestito da una pelle composta da elementi ceramici rosso carmino. I pezzi sono incastrati in una fitta struttura metallica, articolata in tubolari di acciaio e connessi alla struttura principale, una soluzione che consente ai pezzi ceramici di ruotare e assumere una configurazione sempre differente. I pezzi sono comunque ben ancorati ai tubolari affinché non ruotino con la forza del vento. Questa superficie irregolare nasconde l'edificio ma allo stesso tempo consente di intravederne l'interno in un gioco dinamico di pieni e vuoti. L'utilizzo della ceramica è giustificato, oltre che per l'ottima capacità del materiale di schermare la luce, anche per un richiamo alla tradizione, mentre la forma, scelta perché ricorda quella di un libro, contribuisce ad una identificazione simbolica della funzione dell'edificio.



©Pietro Savorelli - ceramicarchitectures.com



CARATTERISTICHE INVOLUCRO

STRUTTURA

Autoportante ✓
 Materiale **Acciaio**

FINITURA CERAMICA

Tipologia **Terracotta**
 Metodo di foggatura **Estrusione**
 Trattamento superficiale **Smaltatura**
 Impiego **Schermatura**
 Produttore **Fornaci Sannini di Impruneta**

PRESTAZIONI INVOLUCRO

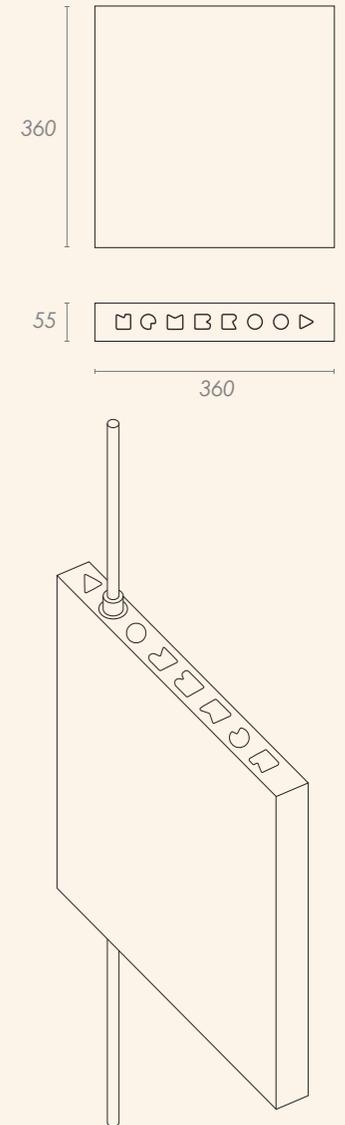
BENESSERE

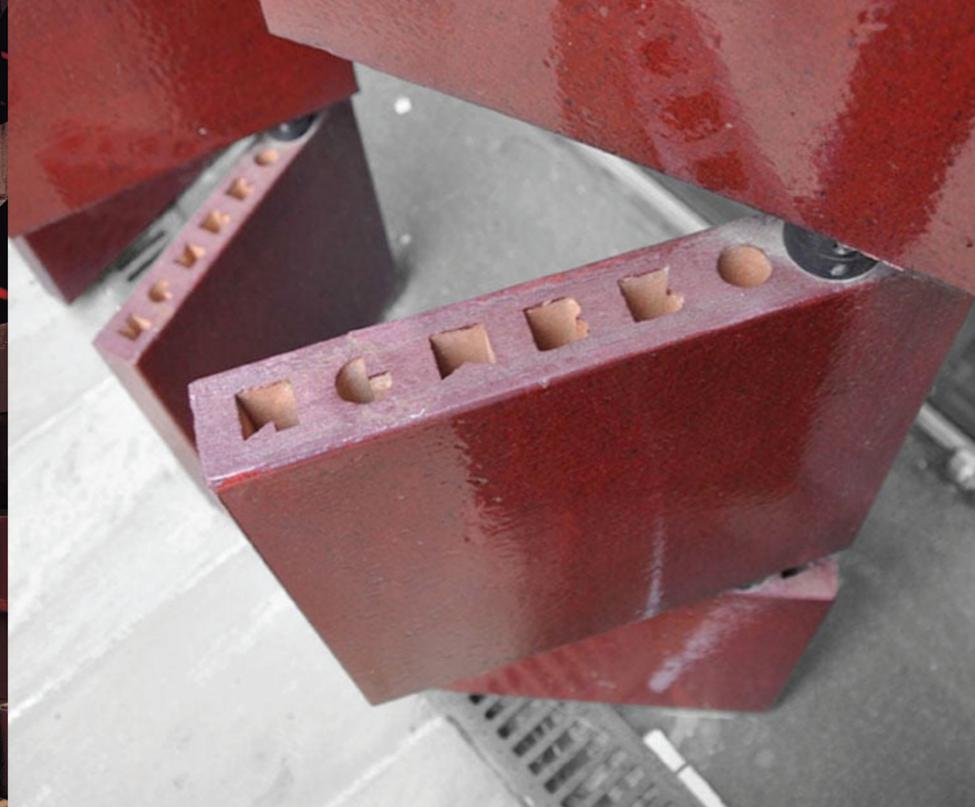
Controllo inerzia termica -
 Schermatura solare ✓
 Ventilazione naturale -
 Isolamento acustico -

SICUREZZA

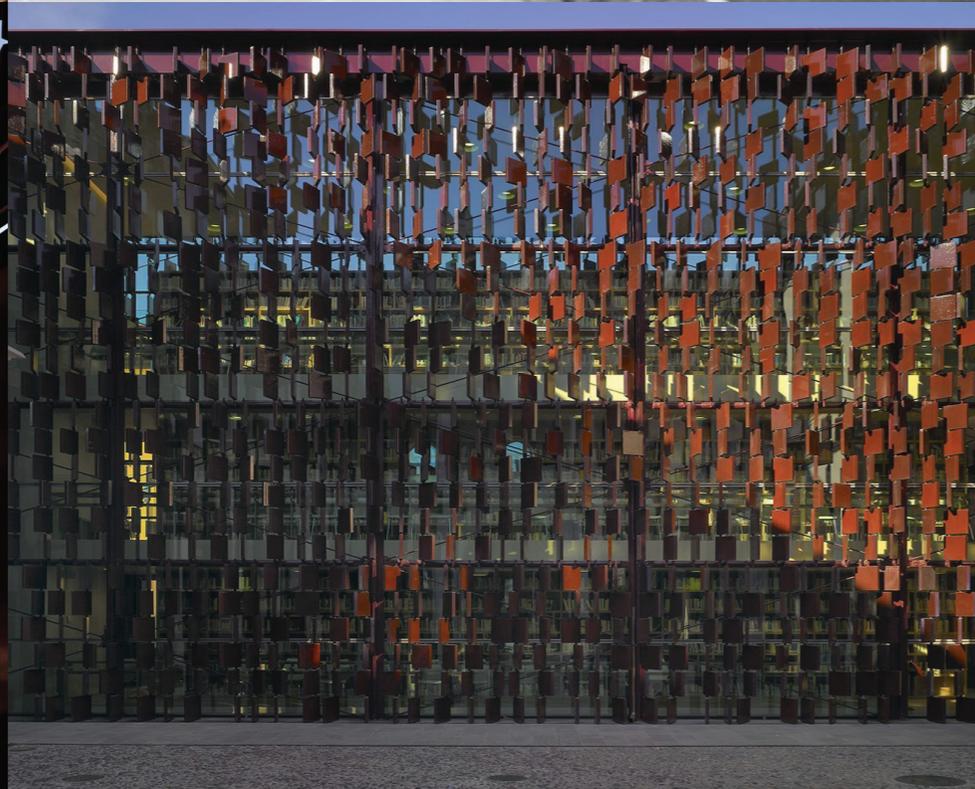
Resistenza al fuoco ✓

◀ ARCHEA Associati - archea.it





◀◀ ©Pietro Savorelli - ceramicarchitectures.com



◀◀ ©Pietro Savorelli - ceramicarchitectures.com

◀◀ ARCHEA Associati - archea.it

◀◀ ©Pietro Savorelli - ceramicarchitectures.com

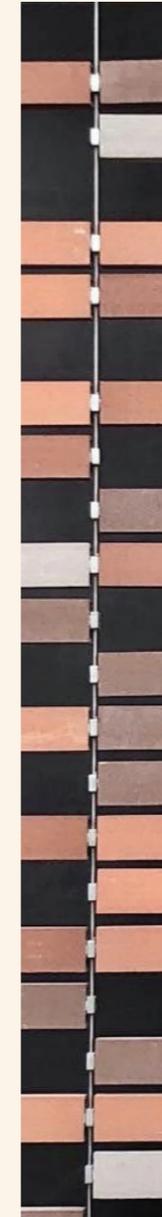
SHIPYARD 1862 (CANTIERE NAVALE)

KENGO KUMA AND ASSOCIATES
SHANGHAI, CINA
2017
PER: CSSC COMPLEX PROPERTY CO.

“Abbiamo scelto di continuare a utilizzare il mattone come principale materialità, ma non in modo nostalgico” (Villar Ruiz e Terasaki). L'involucro delle facciate sud e ovest del vecchio cantiere navale è stato realizzato con mattoni sospesi su fili di acciaio inossidabile: anche questo un esempio di tradizione rivisitata grazie alle nuove tecnologie. Questo sistema consente di passare dalla solidità dei prospetti pieni (nord) alla graduale smaterializzazione delle facciate oggetto di intervento (sud e ovest), e anche il colore dei mattoni, di quattro tonalità di rosso, sfuma gradualmente nel passaggio da pieni a vuoti. I pezzi ceramici sono stati realizzati in modo da richiamare le imperfezioni e la ruvidezza tipiche dei laterizi tradizionali, e riproporne così l'essenza in una texture unica e caratteristica.



©Julien Lanoo - Archdaily.com ▶



CARATTERISTICHE INVOLUCRO

STRUTTURA

Autoportante -
Materiale **Acciaio**

FINITURA CERAMICA

Tipologia **Laterizi**
Metodo di foggatura /
Trattamento superficiale **Naturale**
Impiego **Schermatura**
Produttore /

PRESTAZIONI INVOLUCRO

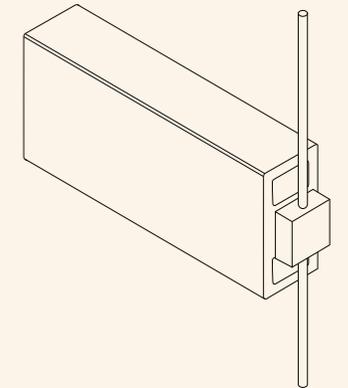
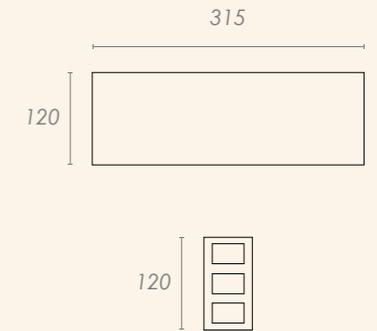
BENESSERE

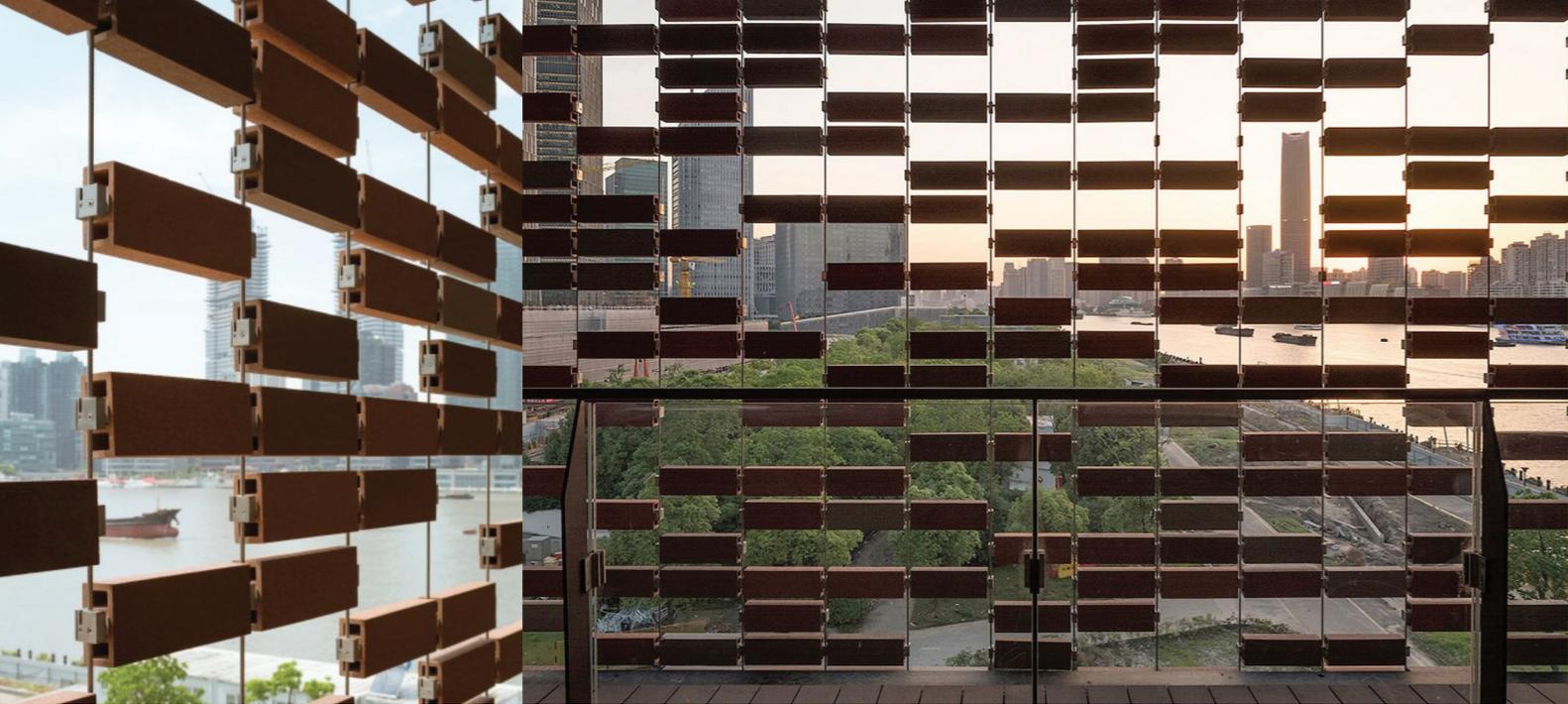
Controllo inerzia termica -
Schermatura solare ✓
Ventilazione naturale -
Isolamento acustico -

SICUREZZA

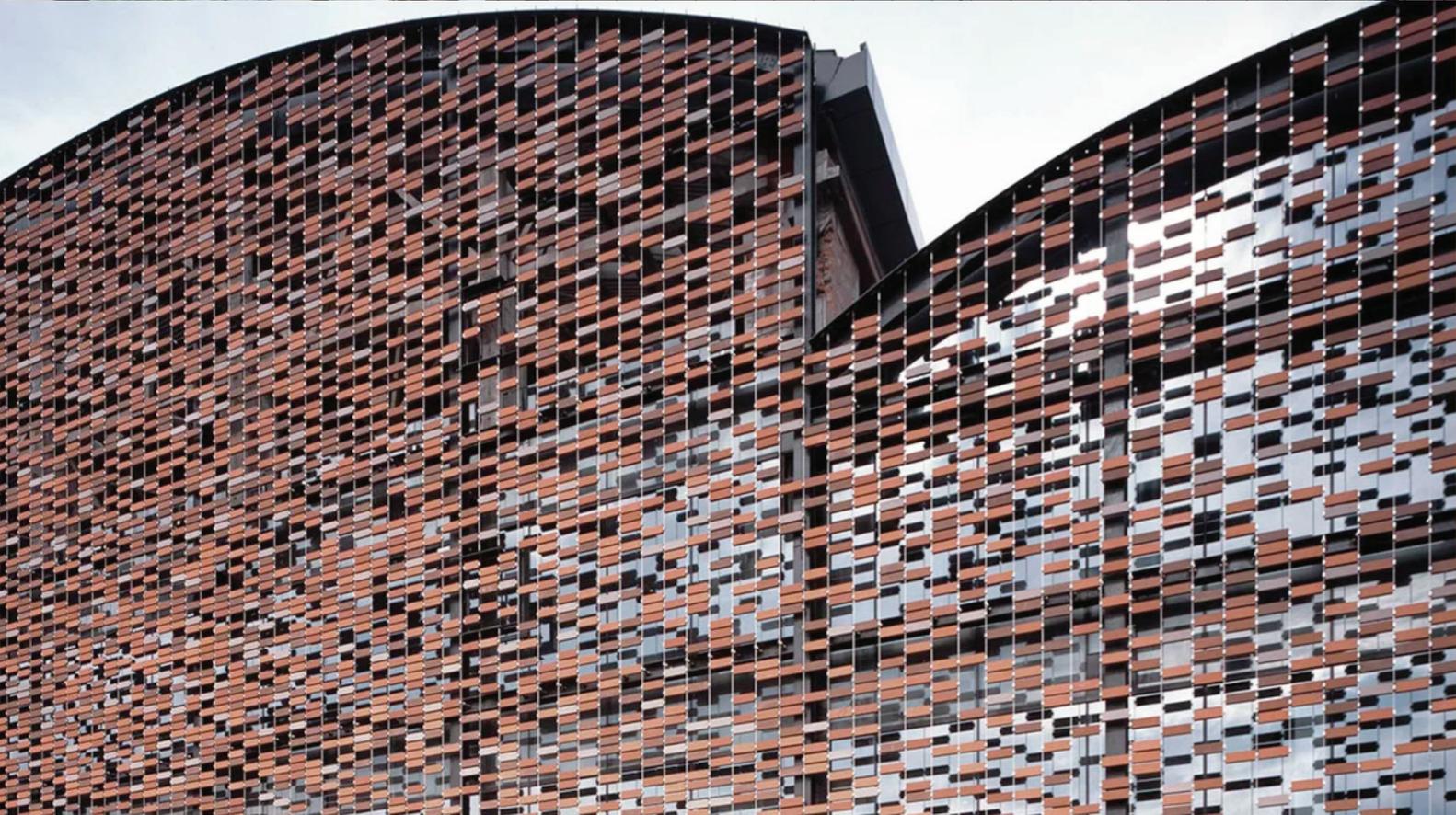
Resistenza al fuoco ✓

◀ © SHH Architects - Twitter.com





◀ ©Eiichi Kano - architectmagazine.com



◀ ©Eiichi Kano - *A&C Architecture Magazine* - anc.masilwide.com

◀ ©Erieta Attali - *A&C Architecture Magazine* - anc.masilwide.com

ESTENSIONE ACQUARIO DI LISBONA

PEDRO CAMPOS COSTA
LISBONA, PORTOGALLO
2013

PER: PARQUE EXPO SA, LISBONA OCEANÁRIO SA

Ciò che colpisce maggiormente dell'edificio è l'aspetto esteriore, composto da un fitto involucro ceramico che ne riveste interamente i quattro prospetti la cui forma ricorda le squame degli animali marini o le increspature delle onde. I pezzi, di differenti tonalità di bianco, sono ancorati tra loro per mezzo di una struttura interna metallica che consente sia alla ceramica che all'acciaio di modificarsi con i cambi di temperatura. L'opera rappresenta un connubio tra le esigenze estetiche e le ottime prestazioni in tema di sostenibilità e risparmio energetico. La soluzione formale utilizzata, infatti, con elementi aperti e chiusi, consente di controllare la radiazione solare e di ventilare in modo naturale, rispondendo così alle esigenze bioclimatiche in maniera passiva e consentendo così guadagni dal punto di vista energetico.



©Daniel Malhão - ceramicarchitectures.com/



CARATTERISTICHE INVOLUCRO

STRUTTURA

Autoportante ✓
Materiale **Acciaio**

FINITURA CERAMICA

Tipologia **Gres porcellanato smaltato**
Metodo di foggatura **Estrusione**
Trattamento superficiale **Smaltatura**
Impiego **Schermatura**
Produttore **Ceràmica Cumella**

PRESTAZIONI INVOLUCRO

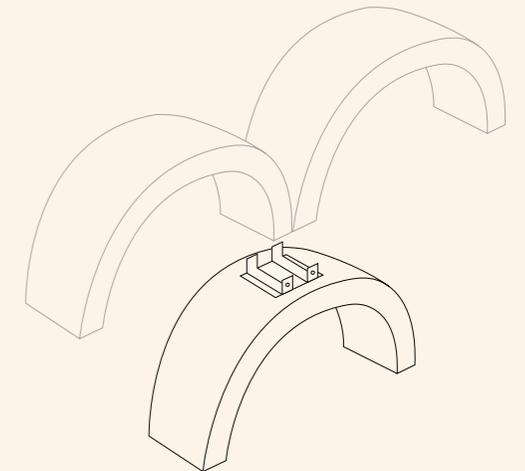
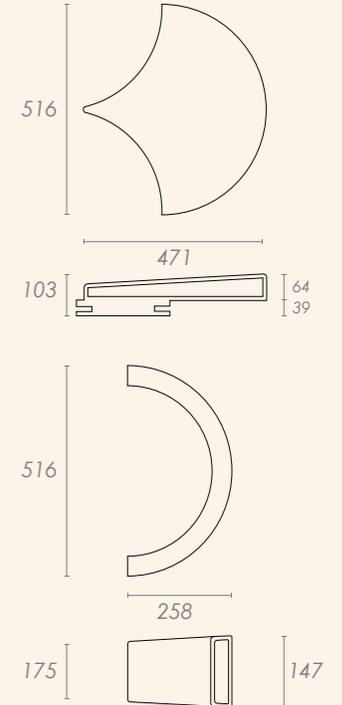
BENESSERE

Controllo inerzia termica ✓
Schermatura solare ✓
Ventilazione naturale ✓
Isolamento acustico ✓

SICUREZZA

Resistenza al fuoco ✓

◀ ceràmica Cumella - cumella.cat





◀◀ ©Radek Brunecky - ceramicarchitectures.com/

◀◀ ©Radek Brunecky - ceramicarchitectures.com/

◀◀ ceràmica Cumella - cumella.cat

◀◀ ceràmica Cumella - cumella.cat

CENTRO CONGRESSI

PAREDES PEDROSA
PEÑÍSCOLA, SPAGNA
2003

PER: PROGETTO CULTURALE CASTELLÓN

Più che di un edificio, questo caso tratta nello specifico la loggia d'ingresso del Centro Congressi di Peñíscola, e ne rappresenta la parte più caratteristica. Il rivestimento ceramico ha come scopo quello di riparare la parte dell'ingresso, all'aperto, dal sole, dal vento e dalla pioggia. I pezzi utilizzati, in tutto 400, rievocano i tradizionali elementi ceramici, particolarmente resistenti, che venivano utilizzati nell'architettura tradizionale del luogo durante il movimento moderno del XX secolo. Il loro peso, di 80 kg per ciascun pezzo, con dimensioni di 100x40x40 cm, è sostenuto da una resistente intelaiatura metallica, che viene fatta passare all'interno degli elementi stessi. Il risultato è uno spazio che rappresenta un punto d'incontro e di passaggio, ombreggiato e protetto dagli agenti atmosferici.



©Fernando Carrasco - fernandocarrasco.photoshelter.com



CARATTERISTICHE INVOLUCRO

STRUTTURA

Autoportante -
Materiale **acciaio**

FINITURA CERAMICA

Tipologia **Terracotta**
Metodo di foggatura **Manuale**
Trattamento superficiale **Naturale**
Impiego **Schermatura**
Produttore **Artigiani locali**

PRESTAZIONI INVOLUCRO

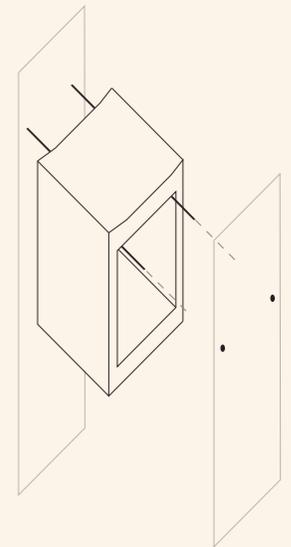
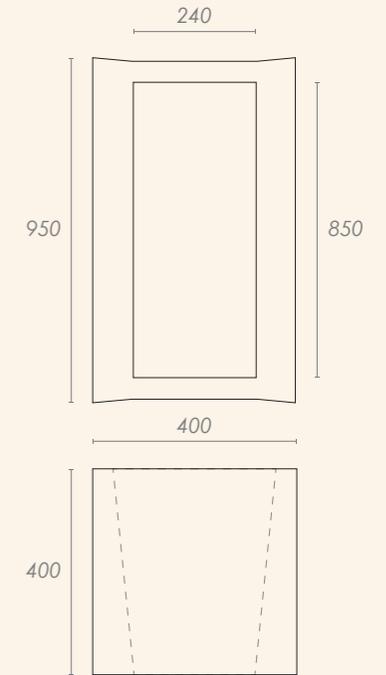
BENESSERE

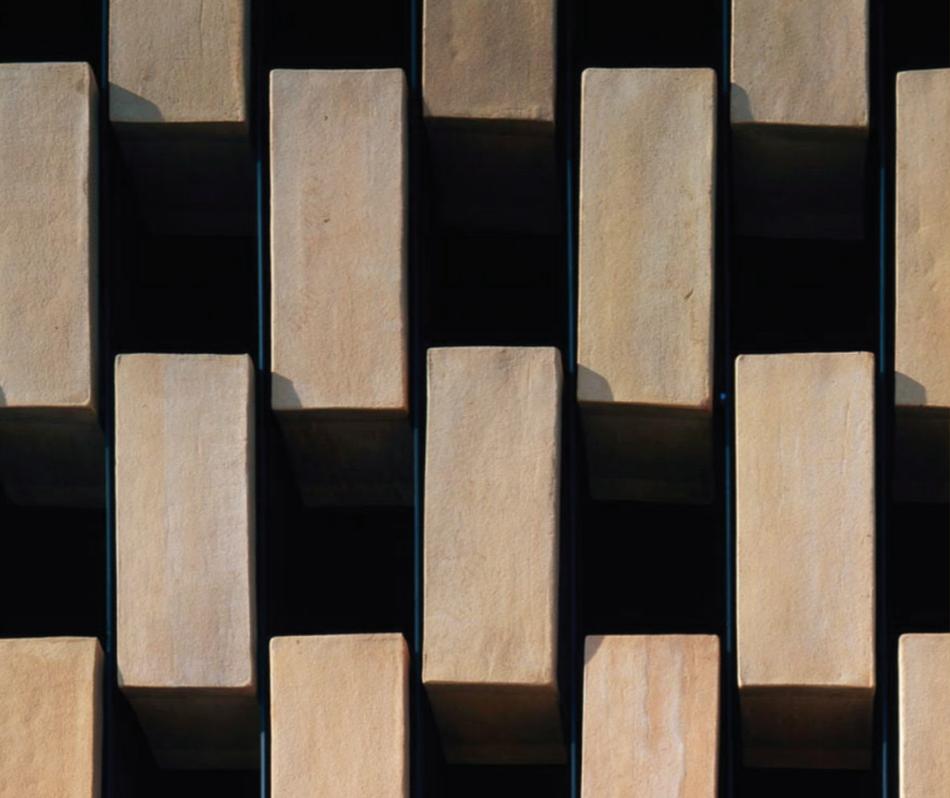
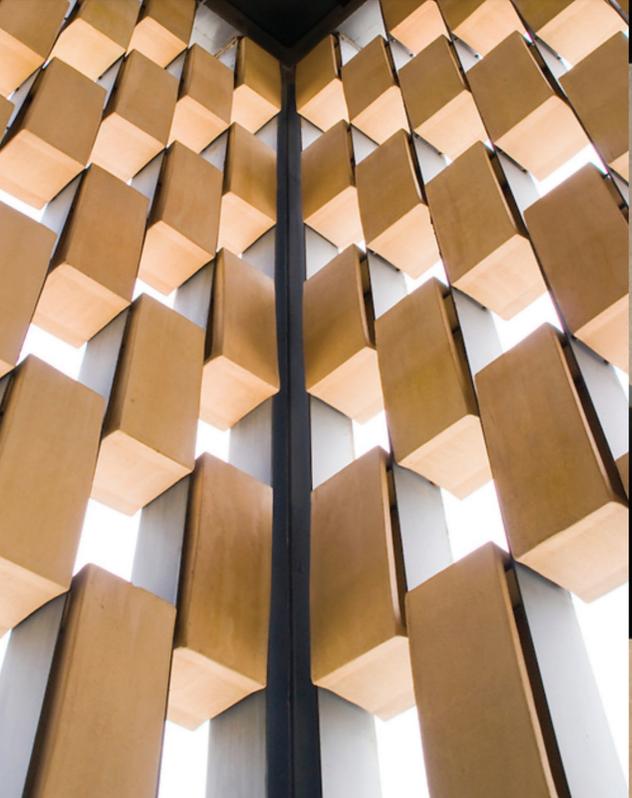
Controllo inerzia termica -
Schermatura solare ✓
Ventilazione naturale ✓
Isolamento acustico -

SICUREZZA

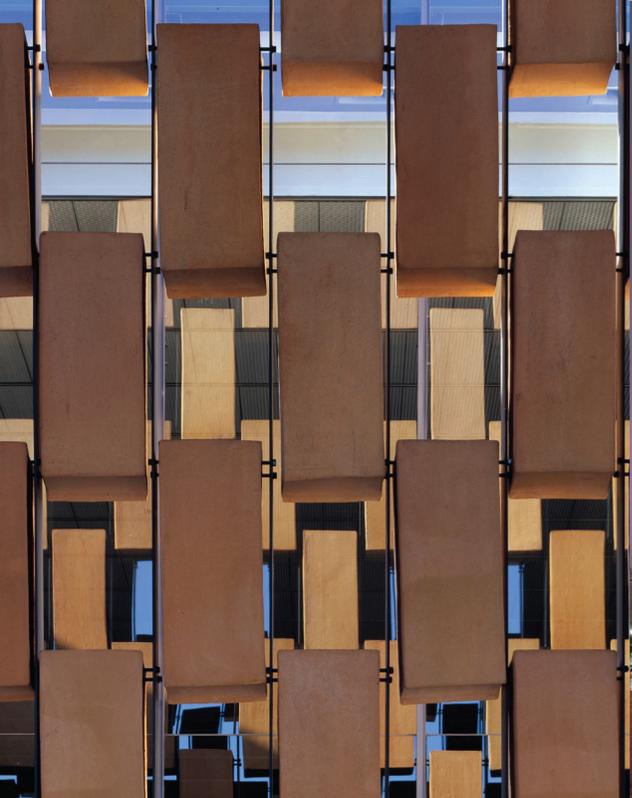
Resistenza al fuoco ✓

©Fernando Carrasco - fernandocarrasco.photoshelter.com





◀◀ ©Fernando Carrasco - fernandocarrasco.photoshelter.com



◀ ©Roland Halbe - ceramicarchitectures.com

◀ ©Roland Halbe - ceramicarchitectures.com

◀◀ ©Roland Halbe - ceramicarchitectures.com

INCUBATORE DI IMPRESE

CARLOS GRAÑA, JAVIER BERNALTE, JOSÉ LUÍS LEÓN
TOLEDO, SPAGNA
2010

PER: CÁMARA DE COMERCIO E INDUSTRIA DE TOLEDO

La ceramica, anche in questo caso, rappresenta un materiale profondamente radicato nella tradizione locale. Il rivestimento è realizzato con pezzi quadrangolari, il cui scopo è, come nella maggior parte dei casi analizzati, principalmente quello di controllare la radiazione solare incidente sulle facciate più esposte. La struttura di sostegno in acciaio segue un rigido schema modulare, che si adatta alle misure dell'edificio e fissa gli elementi ceramici con dei piccoli perni, in modo da stabilizzarli per evitare la possibile rotazione indotta dal vento. La scelta della ceramica vuole essere un elemento caratterizzante dell'edificio, a simboleggiare l'importanza della funzione che svolge nel territorio, e a conferire un'immagine esterna suggestiva e relazionata con la tradizione della città.



©Ángel Baltanás - ceramicarchitectures.com



CARATTERISTICHE INVOLUCRO

STRUTTURA

Autoportante -
Materiale **Acciaio**

FINITURA CERAMICA

Tipologia **Terracotta**
Metodo di foggatura **Estrusione**
Trattamento superficiale **Naturale**
Impiego **Schermatura**
Produttore /

PRESTAZIONI INVOLUCRO

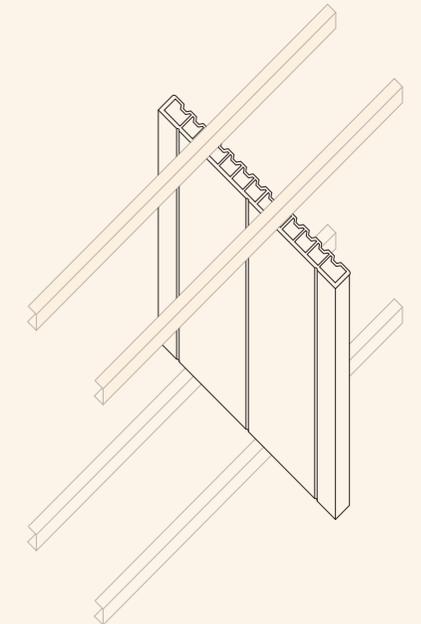
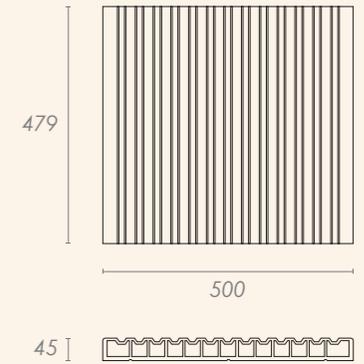
BENESSERE

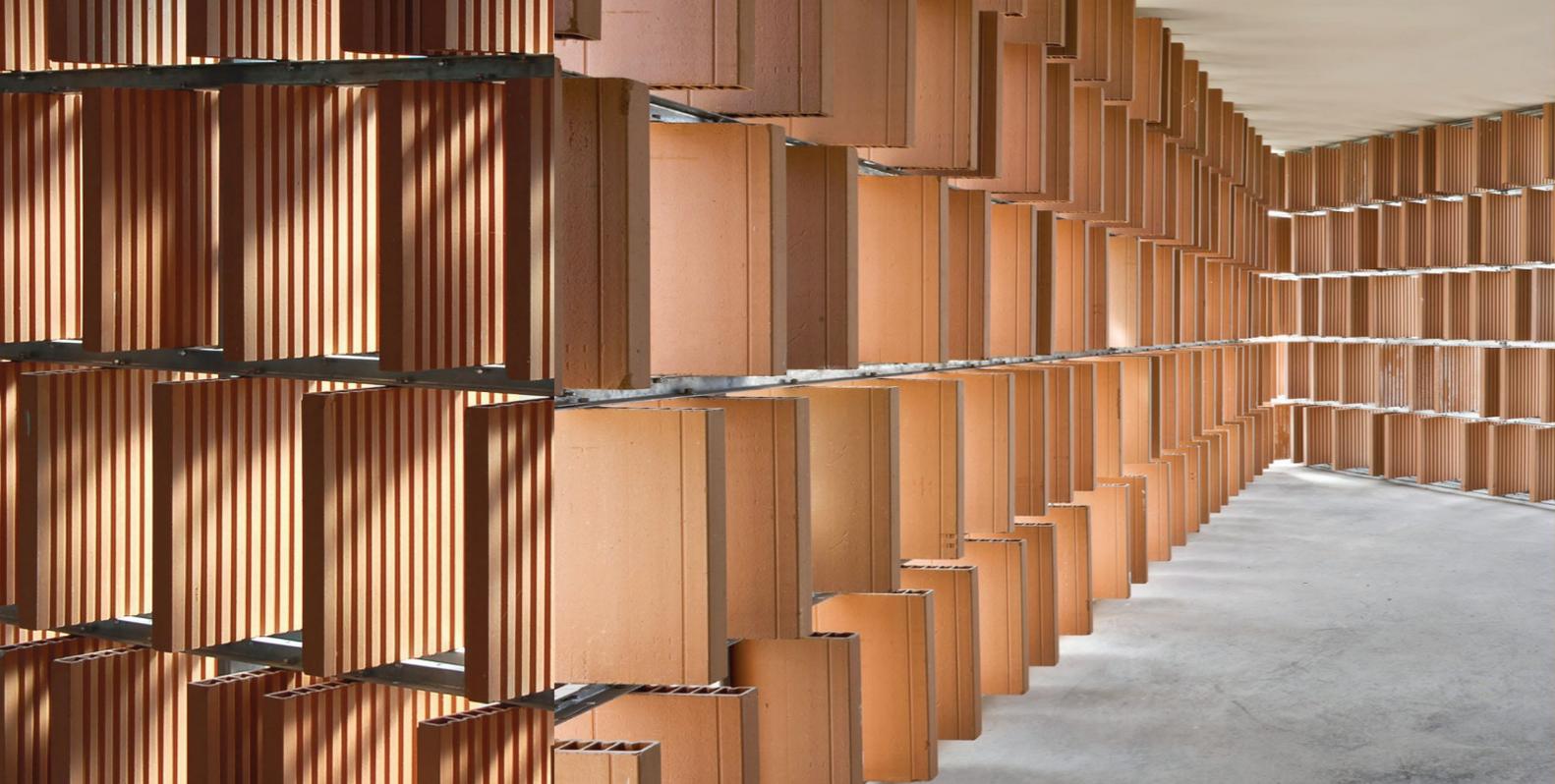
Controllo inerzia termica -
Schermatura solare ✓
Ventilazione naturale -
Isolamento acustico -

SICUREZZA

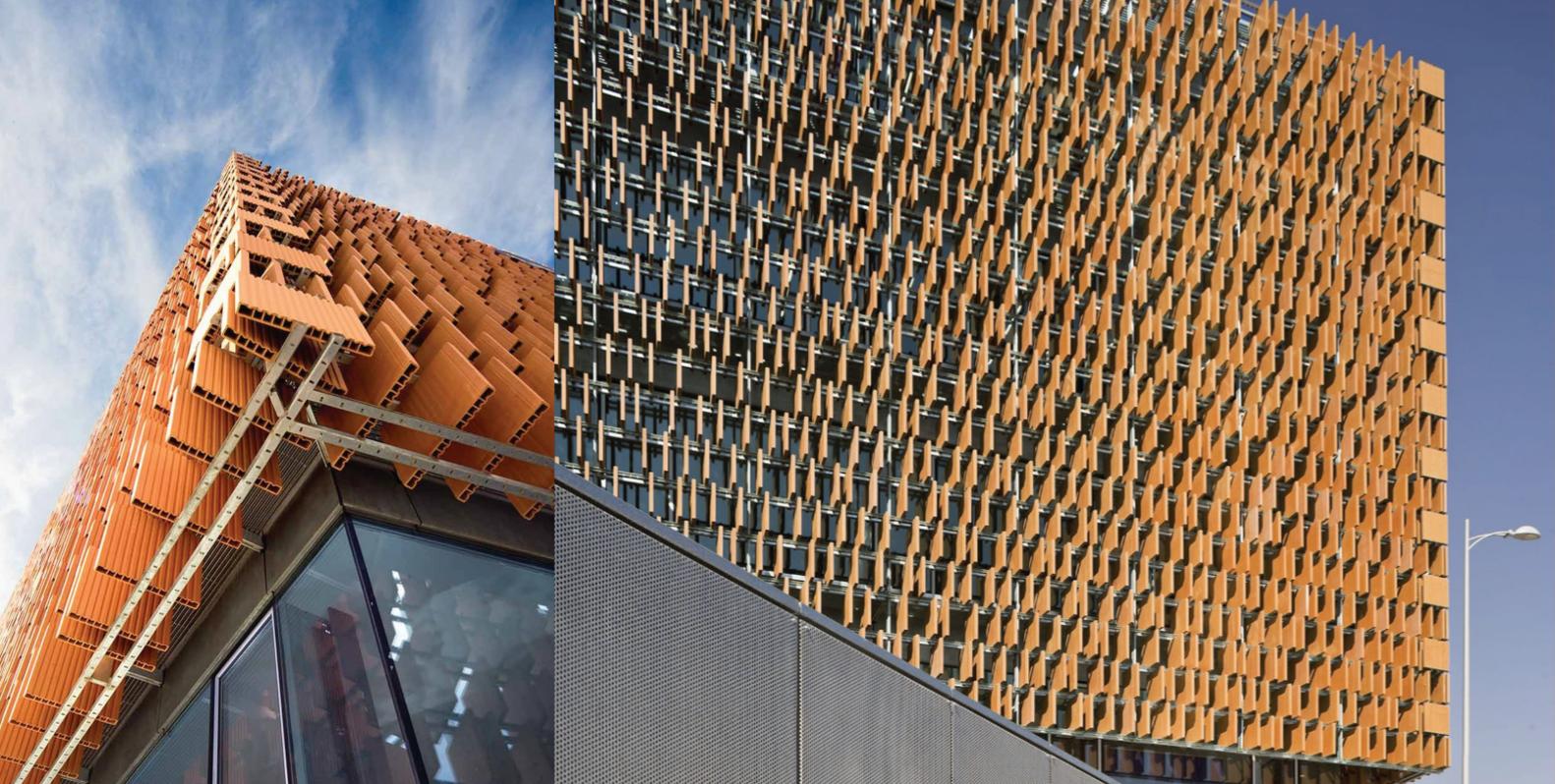
Resistenza al fuoco ✓

◀ ©Carlos Graña - flickr.com





◀◀ ©Ángel Baltanás - ceramicarchitectures.com



◀◀ ©Ángel Baltanás - ceramicarchitectures.com

◀◀ ©Ángel Baltanás - ceramicarchitectures.com

◀◀ ©Carlos Graña - [flickr.com](https://www.flickr.com/photos/cgrana/)

PMMT (PATRICIO MARTÍNEZ, MAIXMIÀ TORRUELLA)
 BARCELONA, SPAGNA
 2013

PER: CÁMARA DE COMERCIO E INDUSTRIA DE TOLEDO

L'involucro della TR House rappresenta un'altra delle tante applicazioni della tecnologia Flexbrick, caratterizzata da sistemi modulari che uniscono la tecnica del tessile con la materia ceramica. Il reticolo di piastrelle si poggia sull'edificio e lo racchiude, contribuendo a dare l'idea di un volume compatto e garantendo continuità tra piani orizzontali e verticali. Per la smaltatura dei pezzi ceramici sono state scelte quattro differenti gradazioni di verde, tutte riprese dalla vegetazione circostante, in modo da garantire l'integrazione dell'edificio con il giardino in tutte e quattro le stagioni. La funzione principale del rivestimento è chiaramente quella di schermatura solare, oltre che per gli ambienti interni, anche per la terrazza esterna, e contribuisce inoltre a preservare la privacy sia dai vicini che dalla strada.



©Pedro Pegenaute - ceramicarchitectures.com



CARATTERISTICHE INVOLUCRO

STRUTTURA

Autoportante -
 Materiale **Acciaio**

FINITURA CERAMICA

Tipologia **Terracotta**
 Metodo di foggatura **Estrusione**
 Trattamento superficiale **Smaltatura**
 Impiego **Copertura, schermatura**
 Produttore **Flexbrick**

PRESTAZIONI INVOLUCRO

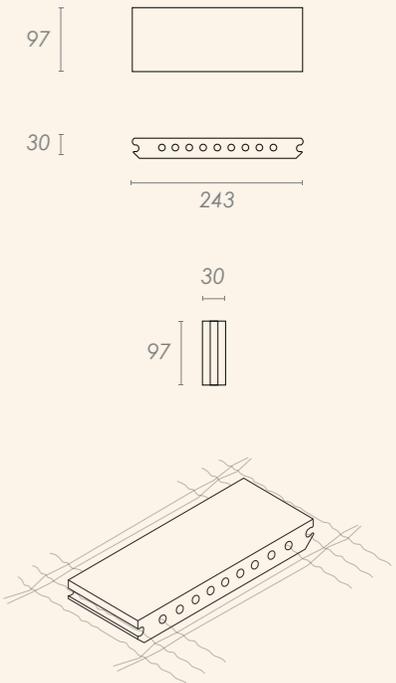
BENESSERE

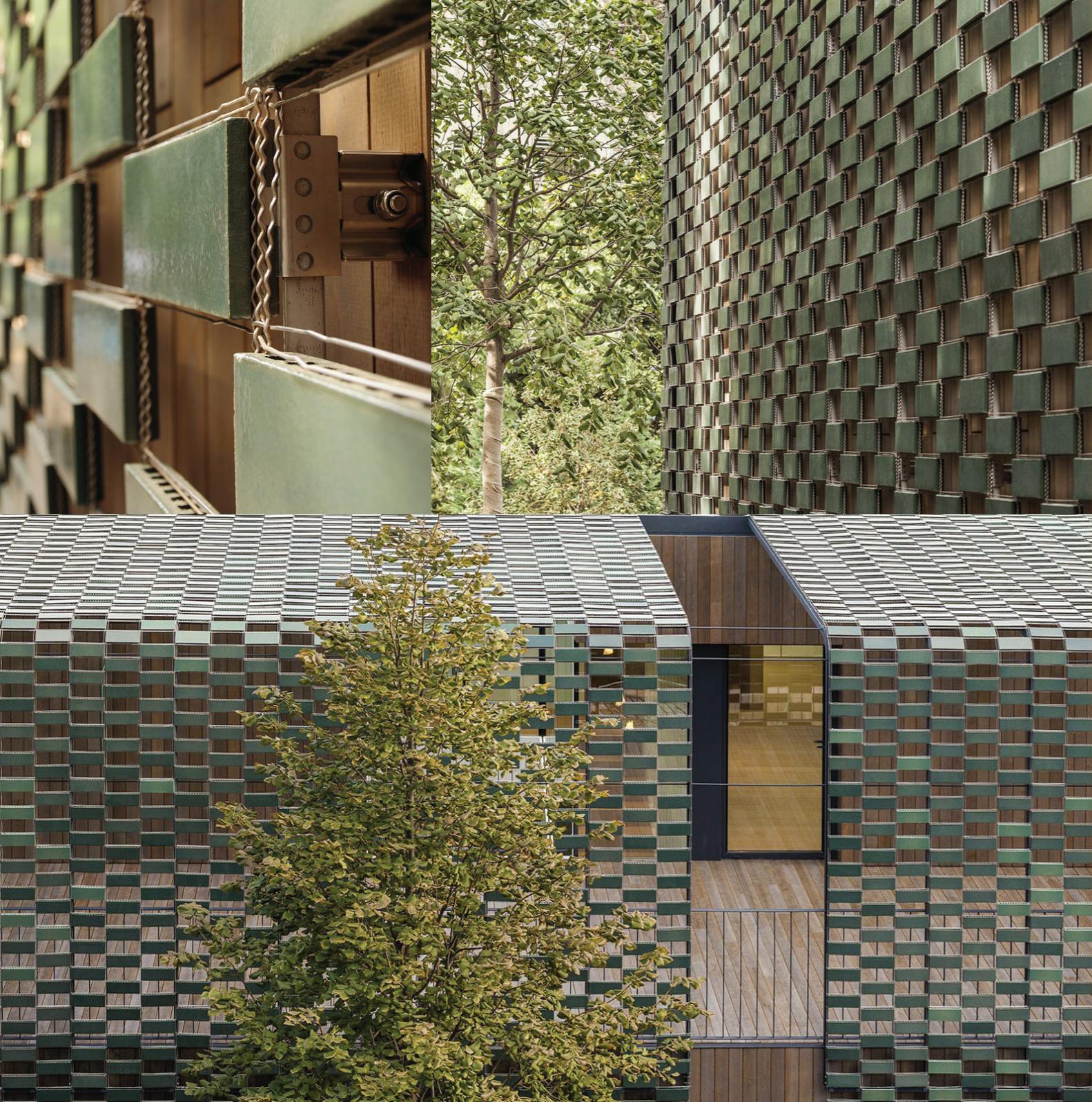
Controllo inerzia termica -
 Schermatura solare ✓
 Ventilazione naturale -
 Isolamento acustico -

SICUREZZA

Resistenza al fuoco ✓

©Pedro Pegenaute - ceramicarchitectures.com





◀ ©Pedro Pegenaut - ceramicarchitectures.com

◀ ©Pedro Pegenaut - ceramicarchitectures.com

◀ ©Pedro Pegenaut - ceramicarchitectures.com

PERCHÈ UTILIZZARE INTRECCIO E CERAMICA NELL'INVOLUCRO

Come mostrato nelle schedature, la tecnica dell'intreccio approfondita a livello ceramico, offre ampie possibilità realizzative. La versatilità intrinseca delle due tecnologie consente l'applicazione di questo modello di involucro a molteplici situazioni, varie per tipologia e contesto. Anche i benefici che derivano dall'uso di questa forma di rivestimento sono moltissimi.

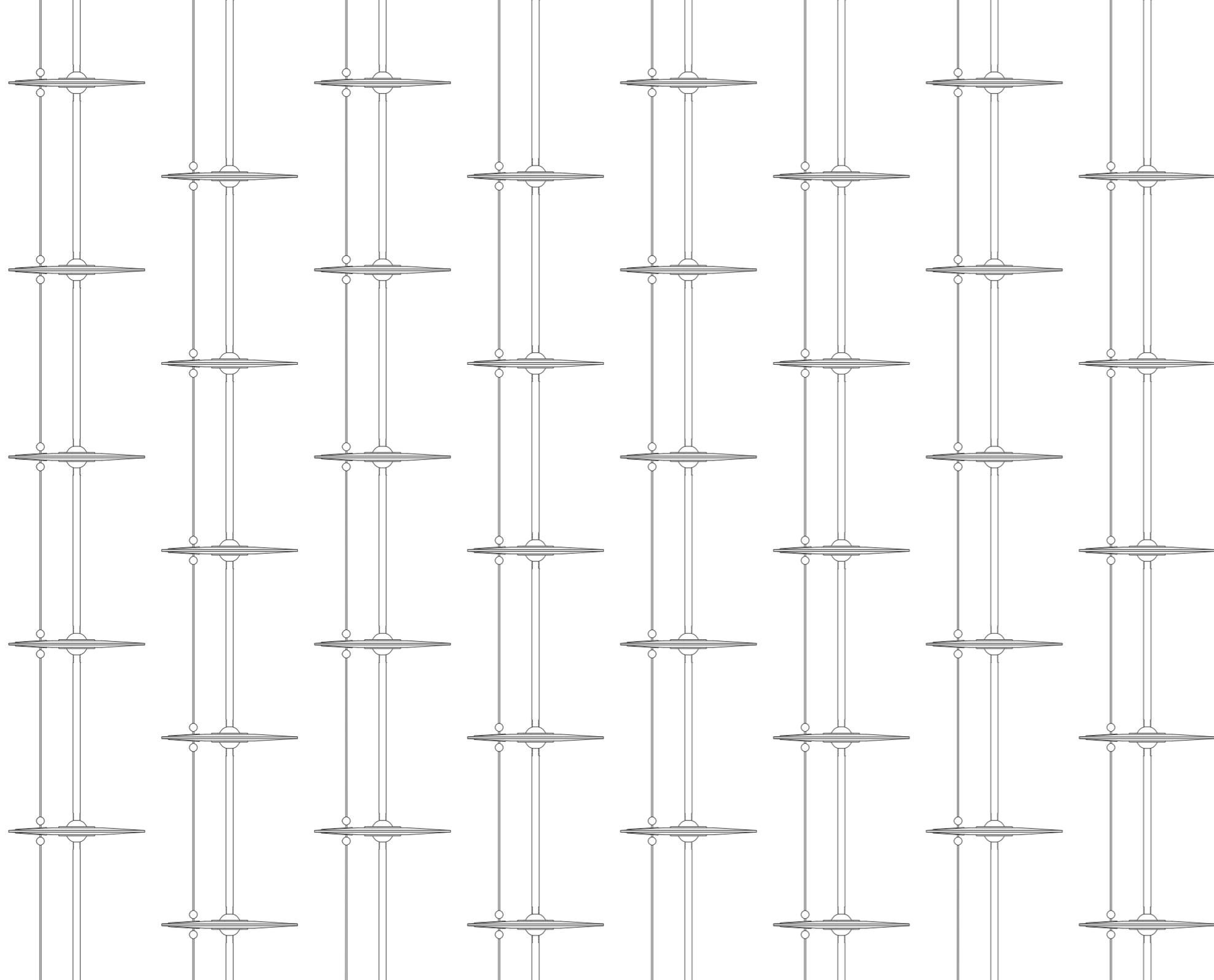
Quella dell'intreccio rappresenta innanzitutto una forma compositiva reversibile: si tratta di una serie di elementi assemblati a secco, in modo che possano essere smontati in futuro. Questo aspetto rappresenta un vantaggio sia dal punto di vista della manutenzione, grazie alla facilità sostitutiva dei pezzi, sia per un possibile riuso in futuro. I sistemi montabili sono inoltre abbastanza semplici, come si può notare dagli esempi mostrati precedentemente, e dalla facilità di montaggio deriva una maggiore velocità di realizzazione e applicazione agli edifici. L'intreccio degli elementi di sostegno e di supporto, e dunque il loro incastro, fa sì che il sistema acquisisca anche una buona resistenza.

Per quanto riguarda l'uso della ceramica, invece, i vantaggi sono legati alle caratteristiche del materiale in sé, come esposto nel capitolo terzo. In primo luogo l'origine del materiale si rivela utile nella necessità di perseguire azioni a basso impatto ambientale, poiché si tratta di un materiale naturale e molto facilmente reperibile. La facilità di reperimento della materia consente di non importare il prodotto, dunque di non produrre emissioni per il suo trasporto, e in più favorisce lo sviluppo delle industrie locali. La presenza del materiale in moltissime località, il suo essere "universale", fa sì che si sia sviluppato nel tempo entrando a far parte della tradizione di numerose culture, favorendone così l'adattamento a numerosi contesti differenti dal punto di vista sociale, culturale ed economico.

Per quanto riguarda la struttura atomica, la resistenza è uno degli aspetti più caratteristici della ceramica. Si parla di resistenza meccanica, resistenza al trascorrere del tempo, resistenza all'azione degli agenti chimici, tutte caratteristiche che fanno sì che queste tipologie di rivestimenti siano particolarmente durevoli. Le infinite possibilità formali e cromatiche, la varietà di miscele utilizzabili, la rendono un materiale adeguato per qualunque volontà architettonica e qualsiasi contesto. Si tratta, inoltre, di un materiale particolarmente igienico e facilmente pulibile, preferibile da questo punto di vista a tanti altri materiali.

Un ultimo aspetto che va considerato è che la durezza della ceramica nel tempo consente un possibile riuso dei pezzi, con i dovuti adattamenti, come nel caso del Museo delle Arti Popolari della China Academy of Arts, di cui si è trattato nelle precedenti schedature. È dunque possibile realizzare involucri con la tecnica dell'intreccio nei quali gli elementi ceramici provengono da usi passati differenti, risparmiando sul materiale, sui costi di produzione, sulla produzione di energia. Anche i pezzi prodotti ex novo per un rivestimento di questo tipo potranno, in futuro, essere riutilizzati per altri scopi, grazie allo smontaggio consentito da questa tipologia di involucro. Se poi i pezzi prodotti vengono realizzati con la tecnologia della stampa 3D, il risparmio di materiale e di tempo è ancora più massimizzato.

Complessivamente, quasi tutti gli esempi trattati lavorano per moduli prefabbricati, circostanza che facilita la produzione e risulta ottimale per l'assemblaggio in situ: la prefabbricazione riduce gli sprechi di materiale, il modulo facilita l'adattabilità a diverse situazioni, e in particolare si evidenzia la possibilità di utilizzare questi rivestimenti sia per edifici nuovi che per edifici esistenti. Anche dal punto di vista estetico l'involucro ceramico tessile conferisce carattere all'edificio, con soluzioni sempre nuove che conferiscono uniformità e unicità ai fabbricati.



5

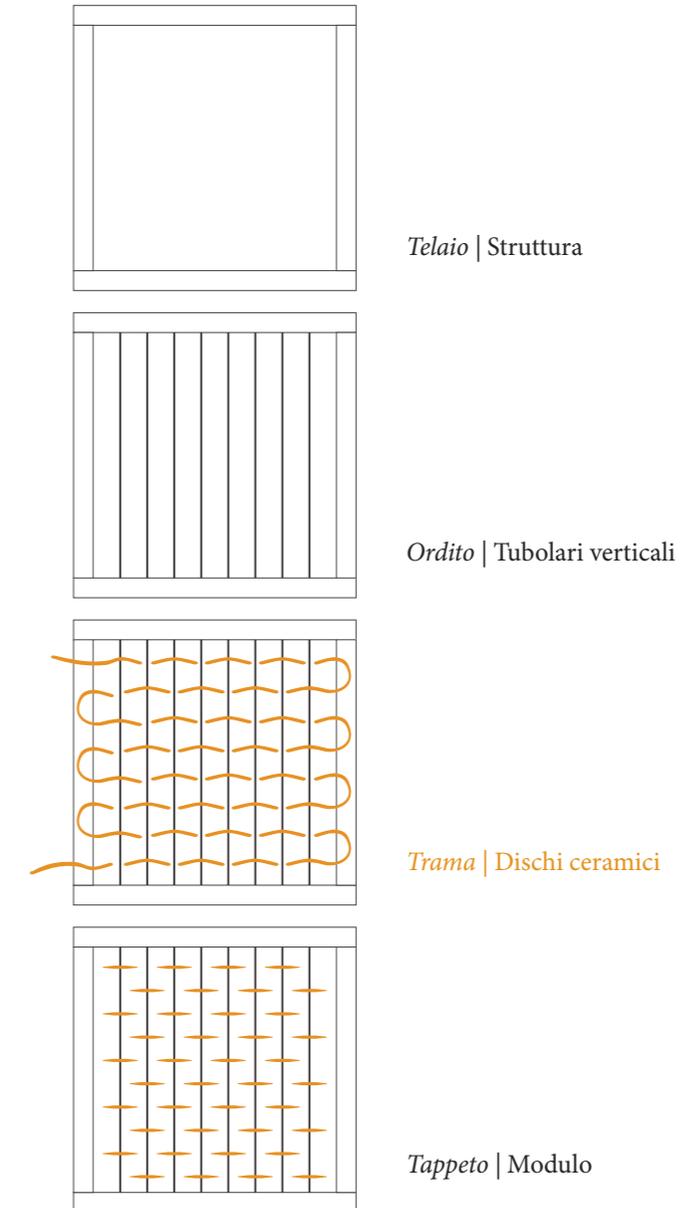
IL PROGETTO

Vista sul progetto, composizione generale del modulo

È proprio dall'idea dell'intreccio che nasce il concept del progetto. Più nello specifico dalla più elementare composizione del tappeto, e dallo strumento che viene utilizzato per la sua realizzazione, il telaio. La struttura del telaio verticale, e gli elementi tessili che si annodano su di esso, sono la principale ispirazione che portano alla progettazione della una schermatura solare fatta in ceramica.

La struttura di sostegno del telaio, in maniera semplificata, è composta principalmente da due montanti verticali, paralleli tra loro, e da elementi orizzontali ancorati ai montanti, ai quali si fissano i fili dell'ordito. L'ordito, composto da una serie di fili verticali tesi, rappresenta la base sulla quale si intrecciano i fili della trama, con motivi vari. Così come nel telaio, il modulo di progetto è composto da una struttura di sostegno fatta di montanti e travetti, anche se più che di travetti in questo caso si può parlare di scatolari. L'ordito è anche in questo caso composto da elementi verticali, dei tubolari cavi, intervallati da una trama realizzata con elementi ceramici, trama anche in questo caso variabile.

Il modulo della schermatura è pensato per essere quanto più flessibile e adattabile a esigenze differenti in termini di apporto solare all'interno dell'edificio. Lo scopo principale è infatti quello di modulare la luce per garantire il maggior comfort luminoso negli spazi interni, non solo schermando i raggi solari, ma anche favorendone l'ingresso in situazioni di bassa luminosità, come in inverno o in alcune ore della giornata. La parte della schermatura è realizzata con pezzi ceramici di forma rotonda, che possono compiere movimenti in quattro direzioni in modo da potersi adattare all'irraggiamento proveniente da sud, est e ovest. Questo consente di adattare il medesimo modulo a tutte le facciate dell'edificio indifferentemente rispetto all'esposizione, unificando e ottimizzando la produzione e il montaggio dei pezzi.



Il modulo della schermatura è pensato per essere un elemento ripetibile un numero di volte necessario per potersi adattare alla facciata degli edifici. Le dimensioni esterne sono di 4 x 4 metri. La struttura, come precedentemente accennato, è composta da due travetti verticali alti 3,64 m, e da due scatolari orizzontali lunghi 4 m, collocati uno alla base e uno sulla sommità del modulo, la cui funzione, oltre che strutturale, è quella di contenere gli ingranaggi che rendono possibili i movimenti degli elementi schermanti. Tutti i pezzi che compongono il modulo, le loro dimensioni e la loro funzione, verranno trattati più dettagliatamente nel prossimo paragrafo, così come i meccanismi che consentono il movimento dei pezzi ceramici.

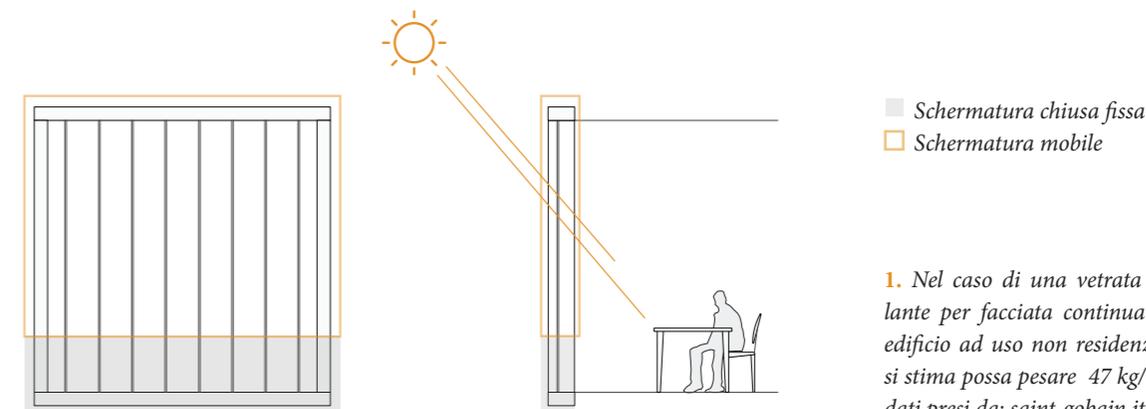
La caratteristica principale del modulo schermante è la sua versatilità. Oltre a consentire il movimento dei singoli elementi schermanti, che si possono adattare a moltissime inclinazioni solari durante l'arco della giornata e delle stagioni (e anche a differenti latitudini), la sua composizione può essere variabile a seconda delle necessità di comfort luminoso interno dell'edificio nel quale viene inserito. Il modulo può infatti avere un numero di elementi schermanti ceramici variabile, così come variabile può essere la loro collocazione nello spazio quadrangolare. Una parte dei pezzi può essere pensata anche per rimanere fissa, come ad esempio alla base del modulo o nella sommità, dove non è necessario modulare l'ingresso delle radiazioni. Ciascun modulo può dunque essere differente rispetto a quello accanto, sia per necessità derivanti dalla destinazione d'uso dell'edificio e nello specifico dei vari ambienti, sia per il contesto esterno, che influisce sempre in maniera incisiva sull'incidenza delle radiazioni in un edificio. Alcune possibili configurazioni verranno proposte nelle pagine seguenti, dopo l'analisi del modulo tipo.

La variabilità del modulo e dell'organizzazione delle parti che lo compongono è resa

possibile grazie al particolare montaggio dei pezzi, o meglio all'intreccio delle parti che consente di essere modificato nel tempo, per un cambio di necessità o di destinazione d'uso dell'edificio nel quale i moduli sono inseriti.

Un altro aspetto caratteristico del modulo è la leggerezza complessiva. Gli elementi ceramici hanno approssimativamente un peso di circa 3 kg ciascuno (calcolato utilizzando il peso specifico di un laterizio pieno), e gli elementi per il fissaggio verticale, i tubolari cavi, risultano ugualmente molto leggeri. Il peso di un modulo può essere paragonato al peso di una facciata continua con vetrate¹ (si parla di kg/m²), se non inferiore ad esso, consentendo così un'applicazione e un ancoraggio al fabbricato edilizio già ampiamente studiati e sperimentati.

Di seguito il modulo verrà trattato utilizzando una configurazione tipo, per spiegare caratteristiche generali e movimenti possibili. I movimenti considerati rappresentano le inclinazioni massime che possono effettuare le lamelle ceramiche. Le configurazioni in scala 1:20 si possono vedere nell'**Allegato 1**. Nella configurazione, la parte bassa della schermatura rimane fissa, e dunque gli elementi ceramici non vengono fissati al meccanismo per potersi muovere assieme a quelli superiori. Il motivo è dettato dal fatto che, come detto precedentemente, non è necessario modulare l'ingresso delle radiazioni nella parte bassa. L'altezza considerata è orientativamente quella di un ipotetico piano da lavoro, dunque dai 70-80 centimetri in giù.

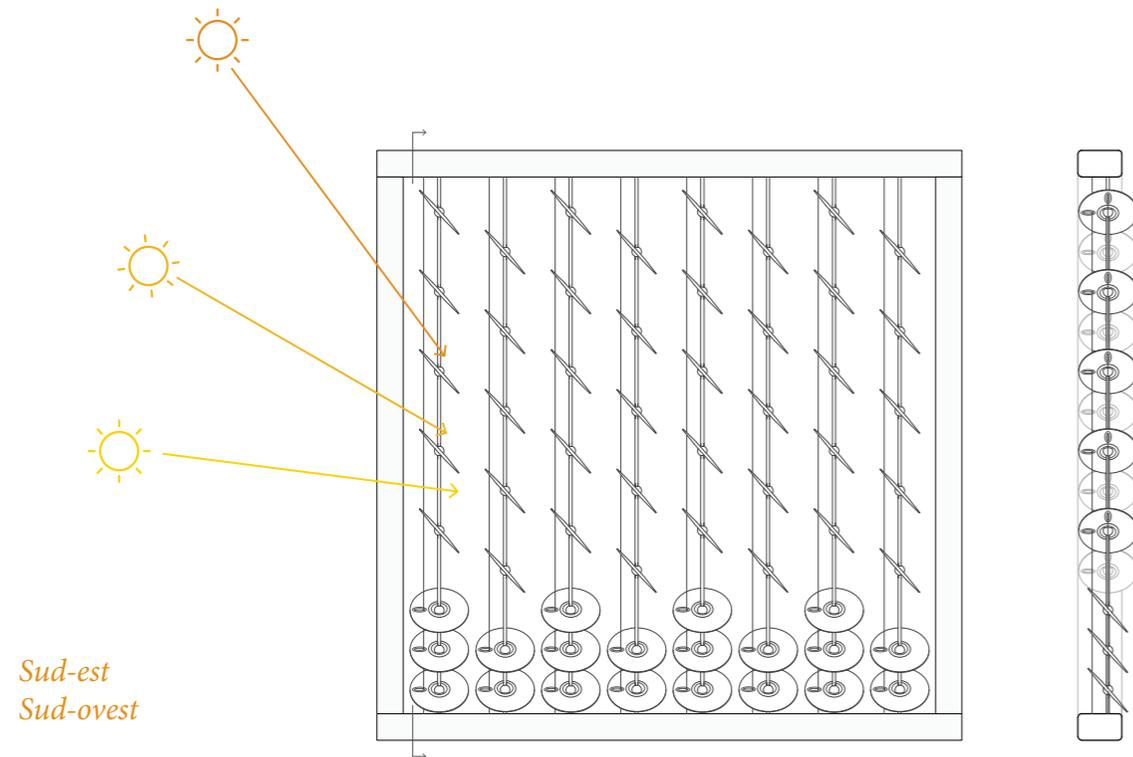


1. Nel caso di una vetrata isolante per facciata continua per edificio ad uso non residenziale si stima possa pesare 47 kg/m² - dati presi da: saint-gobain.it

CONFIGURAZIONE 01

INCLINAZIONE 1

Sempre nel caso in cui le schermature siano situate nelle facciate est e ovest, la posizione delle lamelle diagonale ma in senso inverso rispetto al precedente, favorisce l'ingresso dei raggi solari. Se tale inclinazione viene utilizzata per le schermature collocate nella facciata sud, l'ingresso dei raggi solari viene parzialmente bloccato, anche in questo caso in maniera meno performante rispetto al posizionamento orizzontale (movimento 1).

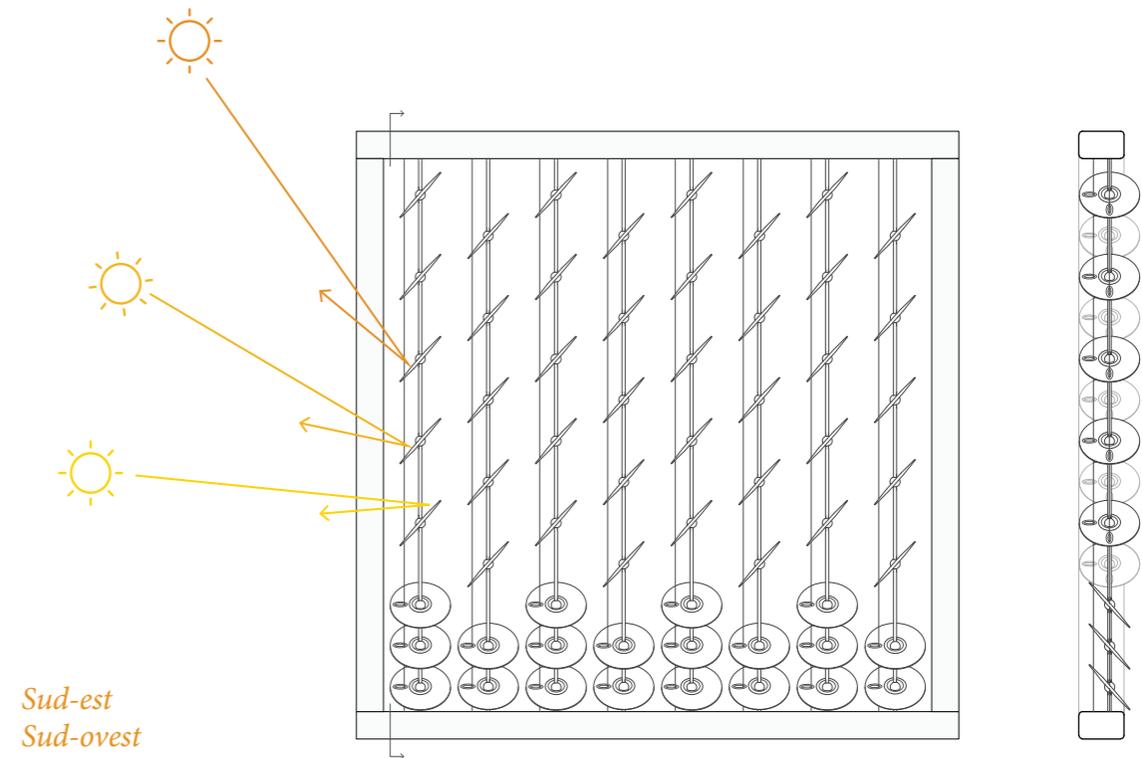


Prospetto e sezione | 1:50

CONFIGURAZIONE 01

INCLINAZIONE 2

Quando le schermature sono situate nelle facciate est e ovest la posizione delle lamelle diagonale consente di schermare una buona parte dei raggi provenienti da sud-est e sud-ovest. È un'inclinazione che può funzionare anche per le schermature collocate nella facciata sud, ma in maniera meno performante rispetto al posizionamento orizzontale (movimento 1).

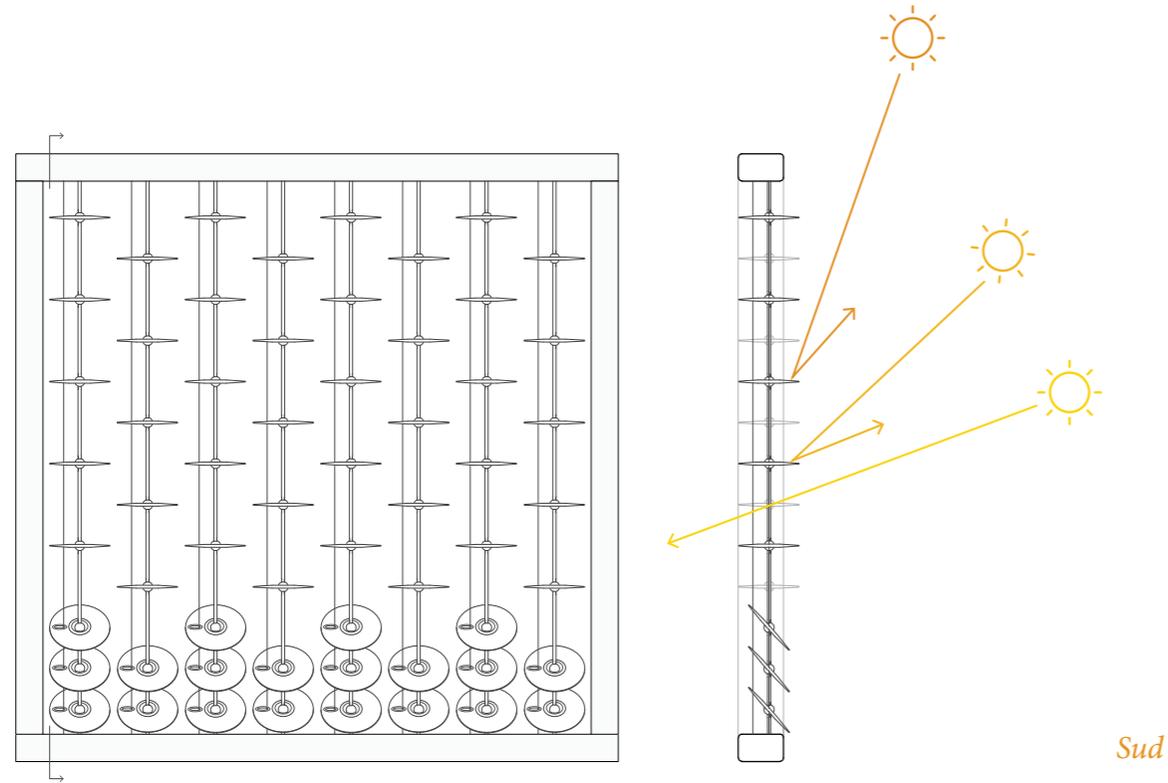


Prospetto e sezione | 1:50

CONFIGURAZIONE 01

INCLINAZIONE 3

La posizione orizzontale è quella intermedia tra le quattro inclinazioni, consente da un lato di schermare parzialmente i raggi solari estivi, più verticali e maggiormente incidenti, e dall'altro l'ingresso parziale di quelli invernali, più bassi e orizzontali.

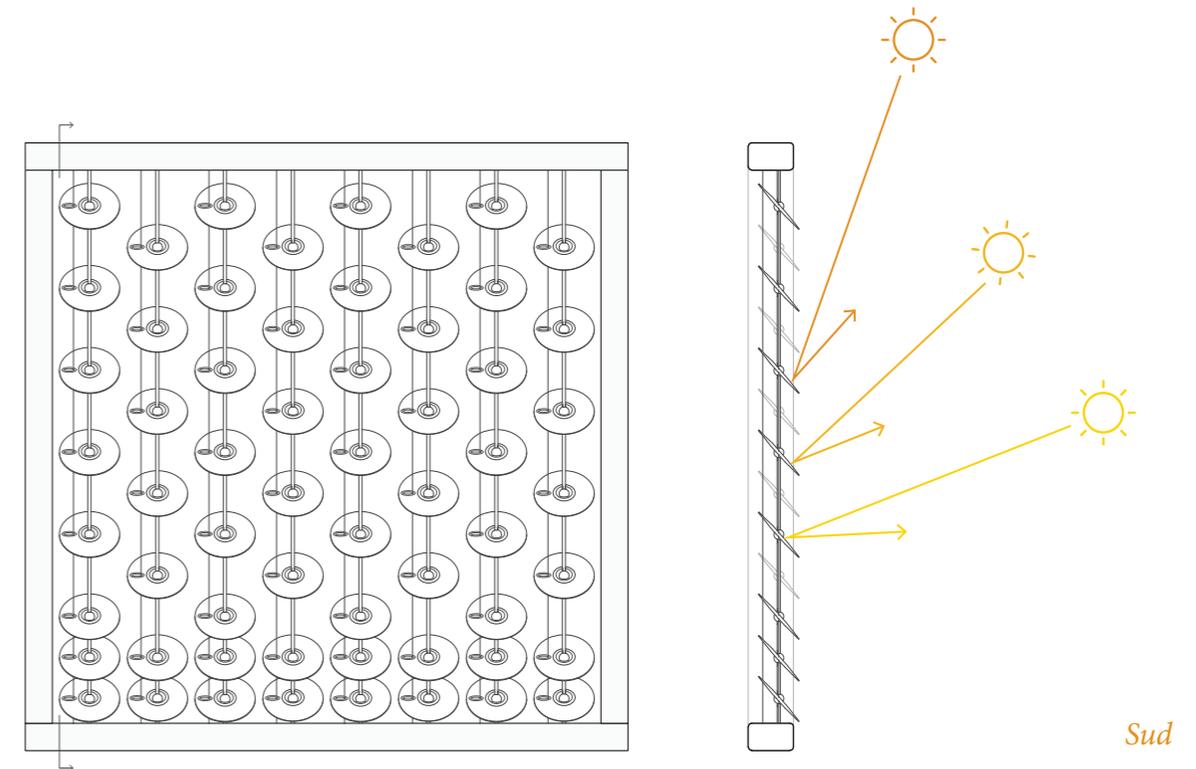


Prospetto e sezione | 1:50

CONFIGURAZIONE 01

INCLINAZIONE 4

Nel caso in cui tutte le lamelle vengano totalmente abbassate, la quantità di luce che può entrare all'interno dell'edificio viene ridotta al minimo. Questa configurazione può andare bene per schermare quasi totalmente i raggi solari in qualunque collocazione nell'edificio, in particolare per i moduli posizionati a sud.

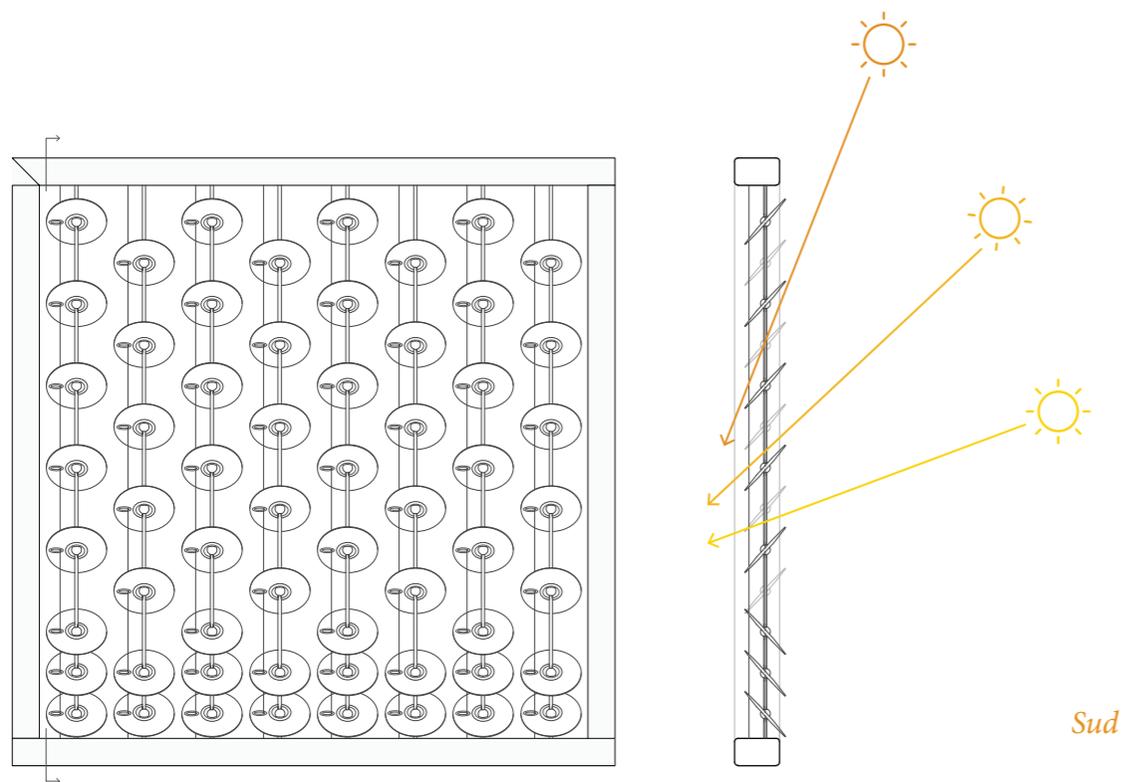


Prospetto e sezione | 1:50

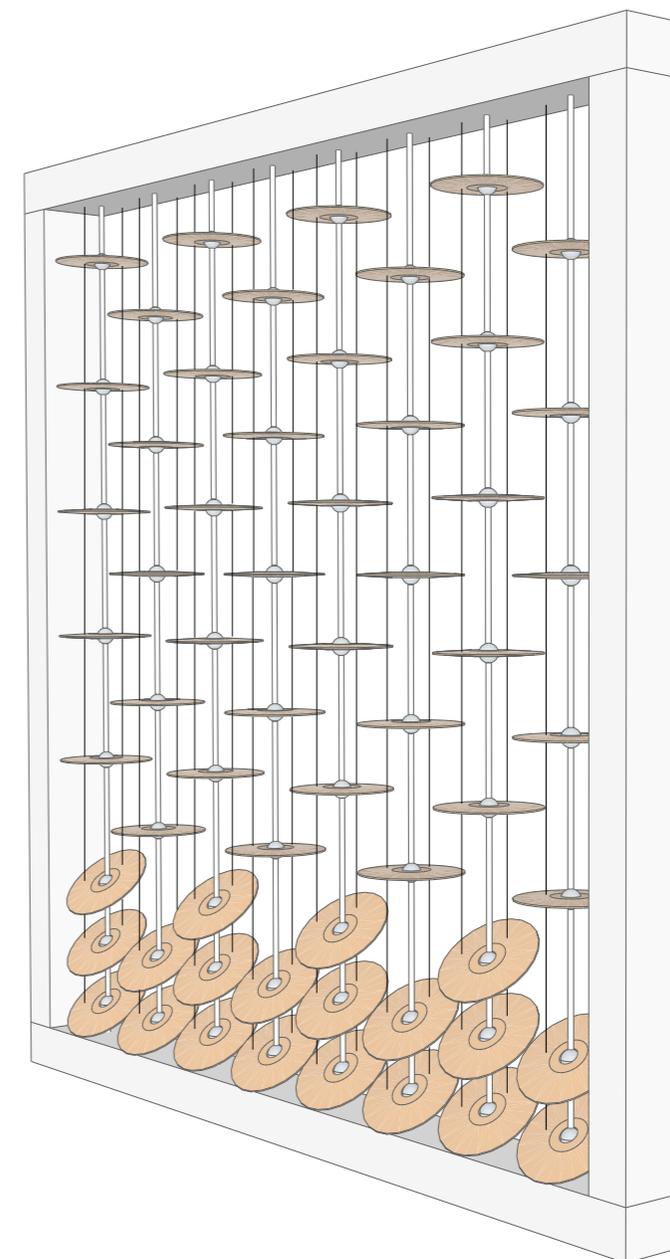
CONFIGURAZIONE 01

INCLINAZIONE 5

Questo movimento prevede il sollevamento di tutte le lamelle verso l'alto per favorire l'ingresso dei raggi solari. Questa configurazione è maggiormente efficiente se collocata nelle facciate a sud, nel caso in cui si voglia incrementare il livello di illuminazione interna (ad esempio in casi di poca illuminazione esterna).



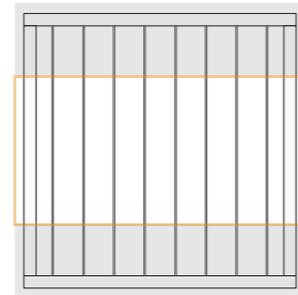
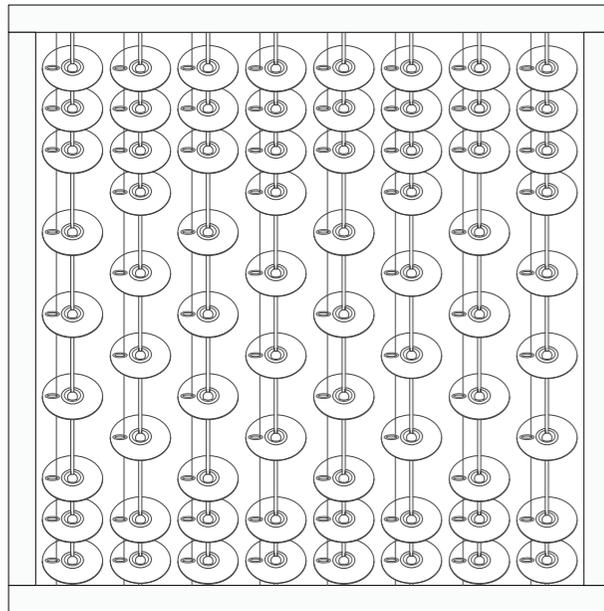
Prospetto e sezione | 1:50



Vista modulo

CONFIGURAZIONE 02

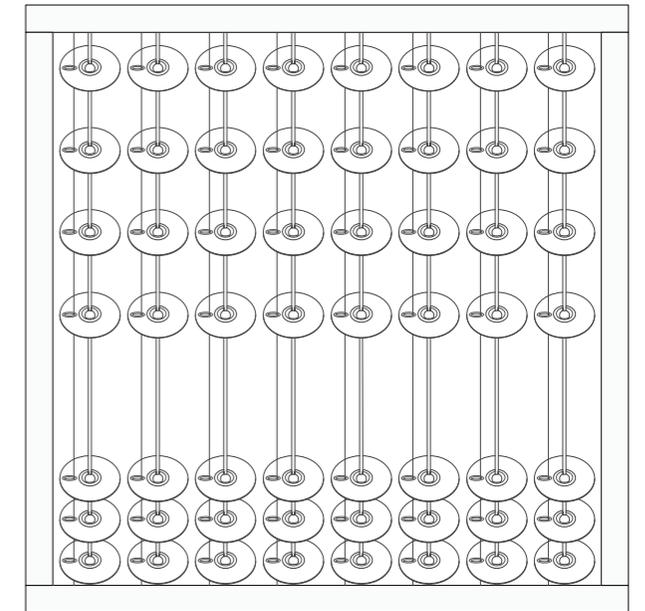
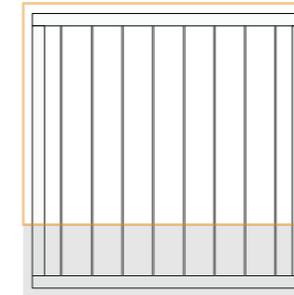
La seconda configurazione proposta è molto simile alla prima. La variante sta nei dischi superiori, più fitti rispetto al caso precedente e pensati per rimanere fissi, in modo da consentire alla luce di filtrare solo attraverso la parte centrale del modulo.



Prospetto | 1:50

CONFIGURAZIONE 03

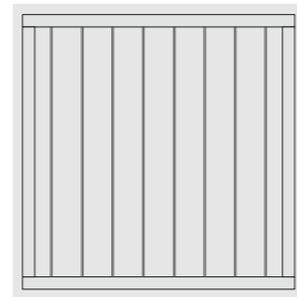
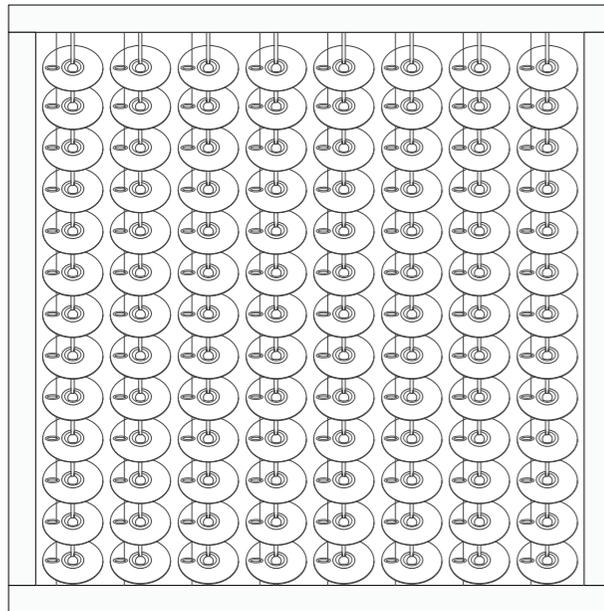
La terza configurazione presenta, come nel primo caso, le lamelle in basso fisse, mentre le altre del modulo rimangono libere di muoversi. La collocazione dei dischi segue un andamento orizzontale (probabilmente preferibile per un orientamento a sud in quanto capace di schermare meglio i raggi più verticali estivi), e lascia la parte centrale più libera per avere uno sguardo diretto sull'esterno.



Prospetto | 1:50

CONFIGURAZIONE 04

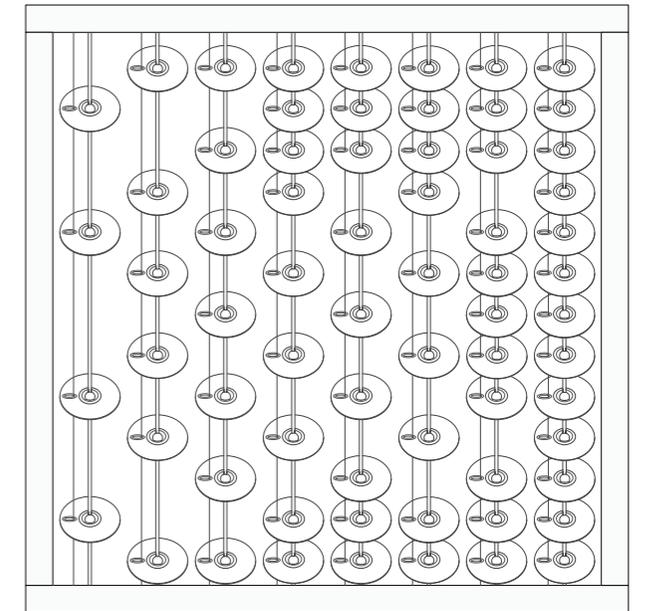
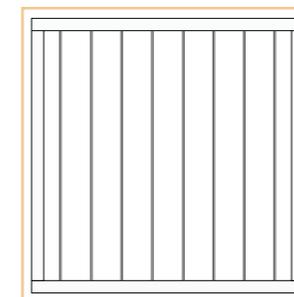
La quarta configurazione presenta tutti i dischi chiusi e, in questo caso, fissi. Una configurazione di questo tipo, che blocca quasi totalmente l'ingresso della luce, può essere utile in casi particolari nei quali è necessario un forte ombreggiamento interno. Si può pensare anche di rendere una parte dei dischi mobile.



Prospetto | 1:50

CONFIGURAZIONE 05

Nella quinta configurazione tutti i dischi sono mobili. La loro collocazione, diversamente da tutte le configurazioni precedenti, segue uno schema verticale, e si dirada verso un lato. La luce penetra all'interno in maniera irregolare illuminando maggiormente un lato.



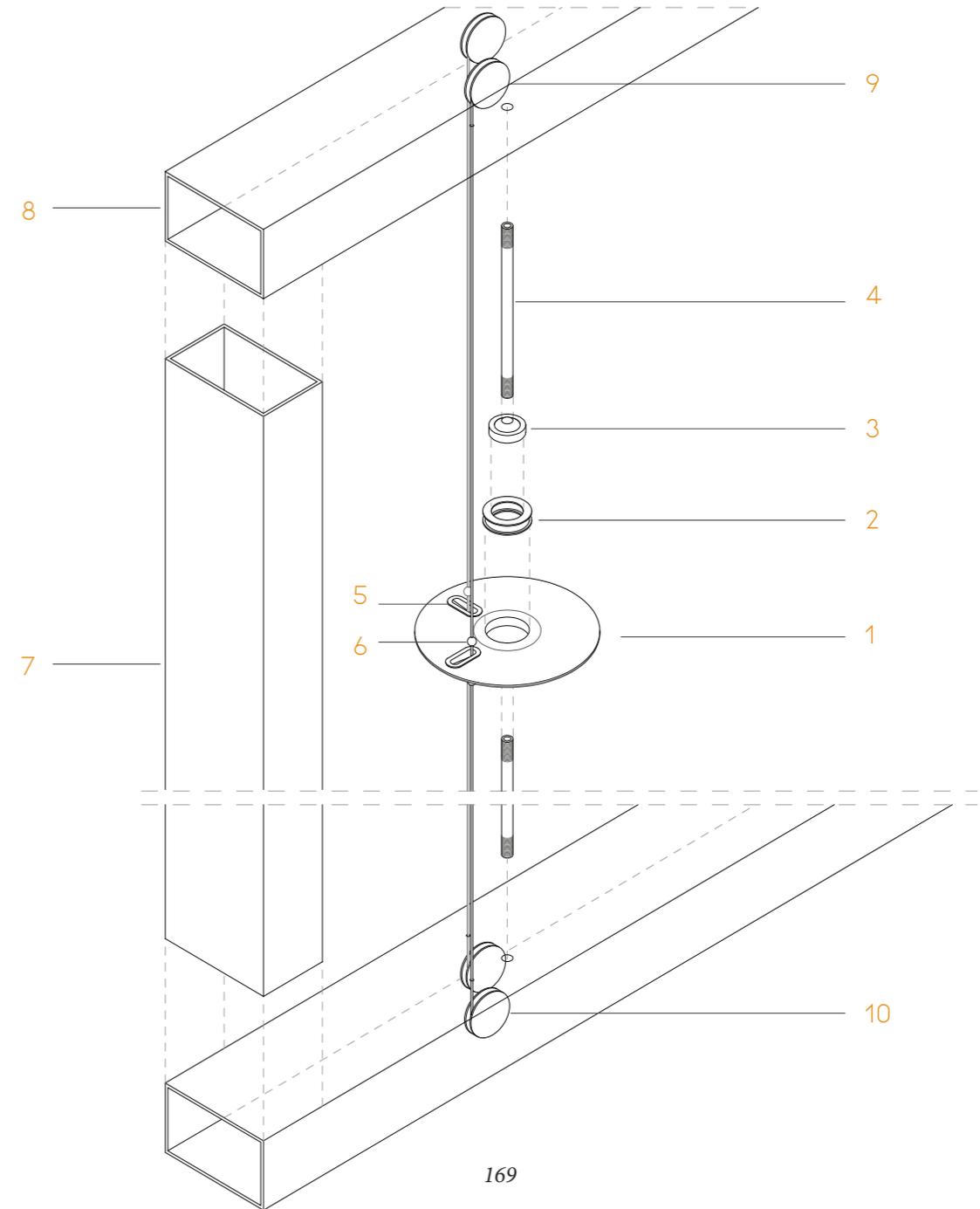
Prospetto | 1:50

5.3.

COMPONENTI DEL MODULO

COMPONENTI	N. PEZZI
1. Disco ceramico	60
2. Guarnizione del disco	60
3. Elemento rotante	60
4. Tubolare cavo	68
5. Guarnizione dell'asola	120
6. Sfere per fissaggio al cavo	240
7. Montante	2
8. Scatolare	2
9. Ingranaggi superiori	1 sistema
10. Ingranaggi inferiori	16

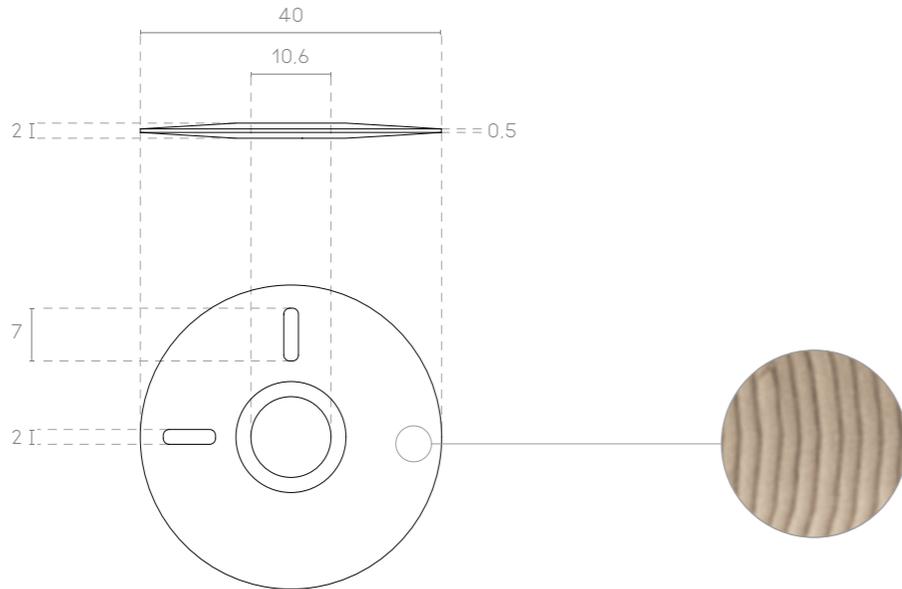
**nelle pagine seguenti misure in cm*



1. DISCO CERAMICO

Numero di pezzi per modulo: 60

Il dischi ceramici hanno la funzione di schermare i raggi solari, e per questo sono gli elementi più importanti dell'intero modulo. Per fare in modo che i dischi possano muoversi, sono state realizzate due asole all'interno delle quali passano due cavi metallici (uno per asola) a loro volta fissati agli ingranaggi superiori e inferiori. La forma circolare è stata scelta per rendere il pezzo più adattabile alle posizioni che deve assumere, e per evitare di avere angoli che rischierebbero di trasformarsi in punti di debolezza in quanto maggiormente soggetti a scalfiture. Sono pensati per essere realizzati con la tecnologia della stampa 3D, ed eventualmente con diverse miscele di argille a seconda delle necessità, dalle tradizionali alle avanzate. Possono inoltre prevedere una smaltatura superficiale.



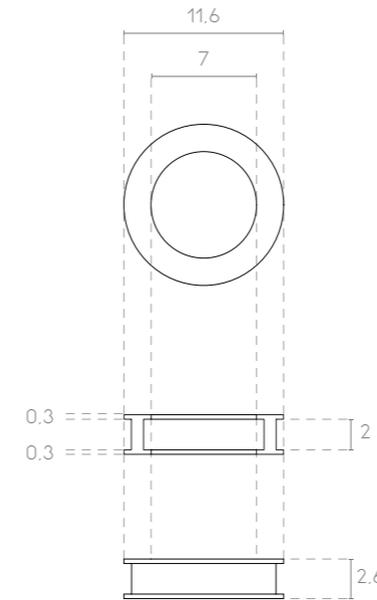
Pianta e prospetto | 1:10

2. GUARNIZIONE DISCO

Numero di pezzi per modulo: 60

Numero di pezzi per disco ceramico: 1

La guarnizione centrale è l'elemento di connessione tra il disco ceramico e il giunto sferico rotante. Serve per unire i pezzi e per contenere gli sbalzi termici della ceramica e del metallo dell'elemento rotante. È pensata per essere realizzata con gomme naturali in modo da ridurre al minimo l'impatto ambientale.



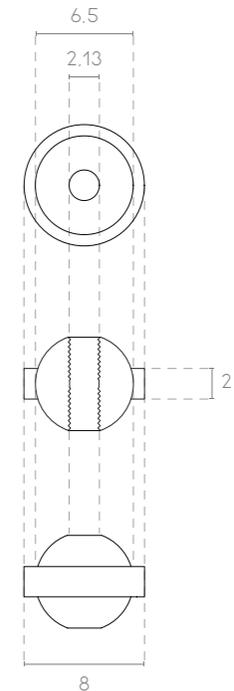
Pianta, sezione e prospetto | 1:5

3. ELEMENTO ROTANTE

Numero di pezzi per modulo: 60

Numero di pezzi per disco ceramico: 1

Il giunto sferico rotante si ispira ai cuscinetti a sfere, e consente di realizzare i movimenti necessari per far adattare il disco ceramico alle differenti radiazioni solari. La parte forata presenta una filettatura per avvitare il sostegno verticale. L'anello esterno, collegato al disco ceramico, è quello che consente il movimento.



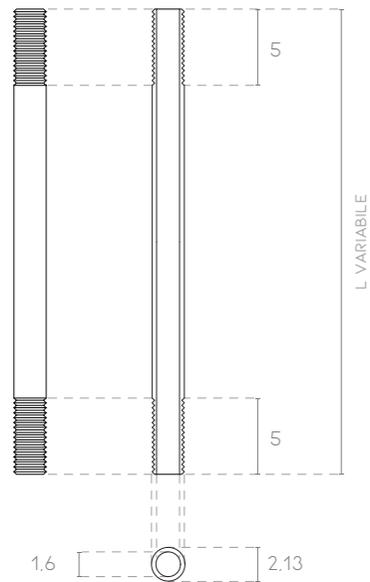
Pianta, sezione e prospetto | 1:5

4. TUBOLARE CAVO

Numero di pezzi per modulo: 68

Numero di pezzi per disco ceramico: *variabile*

Il tubolare cavo rappresenta l'elemento di fissaggio verticale tra gli elementi ceramici e gli scatolari orizzontali. Le dimensioni sono state scelte dal "Sagomario Commerciale Profili Cavi Strutturali a sezione circolare secondo EN 10210", realizzati seguendo le normative europee. Diametro 21,3 mm - spessore 3 mm.



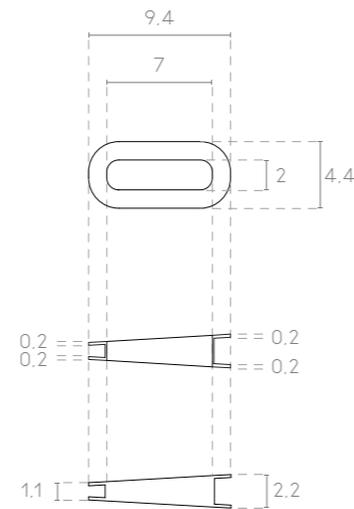
Pianta, sezione e prospetto | 1:5

5. GUARNIZIONE ASOLA

Numero di pezzi per modulo: 120

Numero di pezzi per disco ceramico: 2

Le guarnizioni delle asole sono state inserite per proteggere il pezzo ceramico dai movimenti del cavo. Anche in questo caso, sono pensate per essere realizzate con gomme naturali in modo da ridurre al minimo l'impatto ambientale.



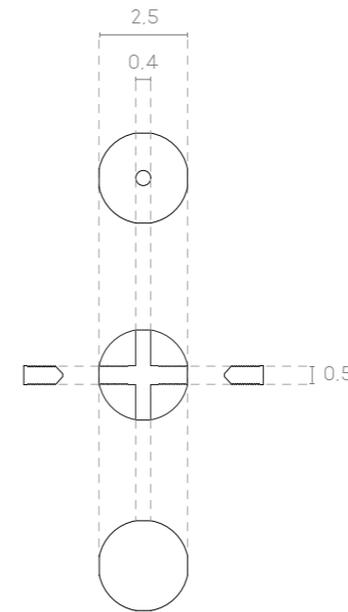
Pianta, sezione e prospetto | 1:5

6. SFERE PER FISSAGGIO AL CAVO

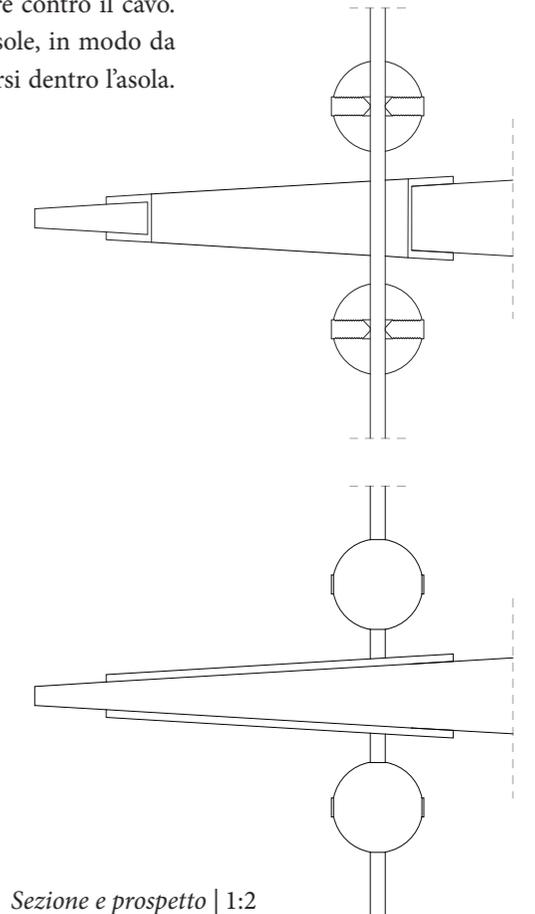
Numero di pezzi per modulo: 240

Numero di pezzi per disco ceramico: 4

Gli elementi sferici vengono fissati al cavo che passa dentro le asole, uno sopra e uno sotto rispetto l'altezza dell'asola, in modo che quando il cavo viene fatto muovere dagli ingranaggi il disco segua questo movimento. Il fissaggio avviene per mezzo di due viti laterali che vengono infilate all'interno delle sfere e vanno a premere contro il cavo. La dimensione delle sfere è maggiore rispetto alla larghezza delle asole, in modo da opporre resistenza durante il movimento e non rischiare di incastrarsi dentro l'asola. La distanza tra le sfere per poter seguire i movimenti è di 3,5 cm.



Pianta, sezione e prospetto | 1:2

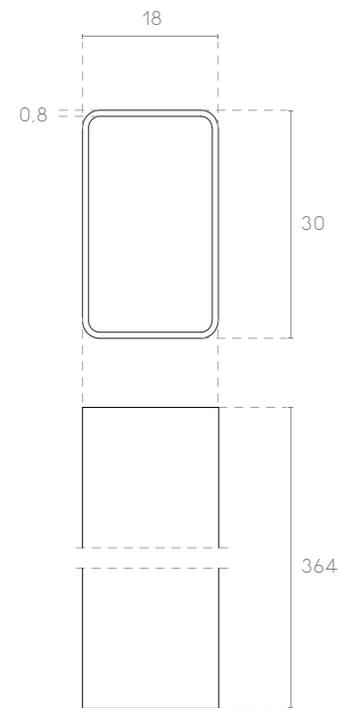


Sezione e prospetto | 1:2

7. MONTANTE

Numero di pezzi per modulo: 2

I montanti di ciascun modulo sono compresi tra i due scatolari orizzontali dove sono collocati gli ingranaggi. All'interno dei montanti possono passare i fili elettrici che collegano i motorini alle fonti di energia per generare il movimento. Variano solo in lunghezza rispetto agli scatolari, ma la sezione è la stessa.

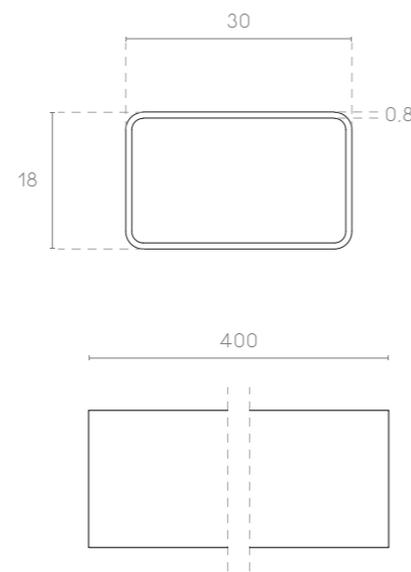


Sezione e prospetto | 1:10

8. SCATOLARE

Numero di pezzi per modulo: 2

Gli scatolari, oltre ad avere una funzione strutturare, servono per il contenimento e la protezione degli ingranaggi, e anche per il fissaggio dei tubolari verticali ai quali sono collegati i dischi ceramici. Sia quelli inferiori che quelli superiori del modulo presentano degli sportellini per garantire una facile manutenzione dei motori e degli altri pezzi per il movimento.



Sezione e prospetto | 1:10

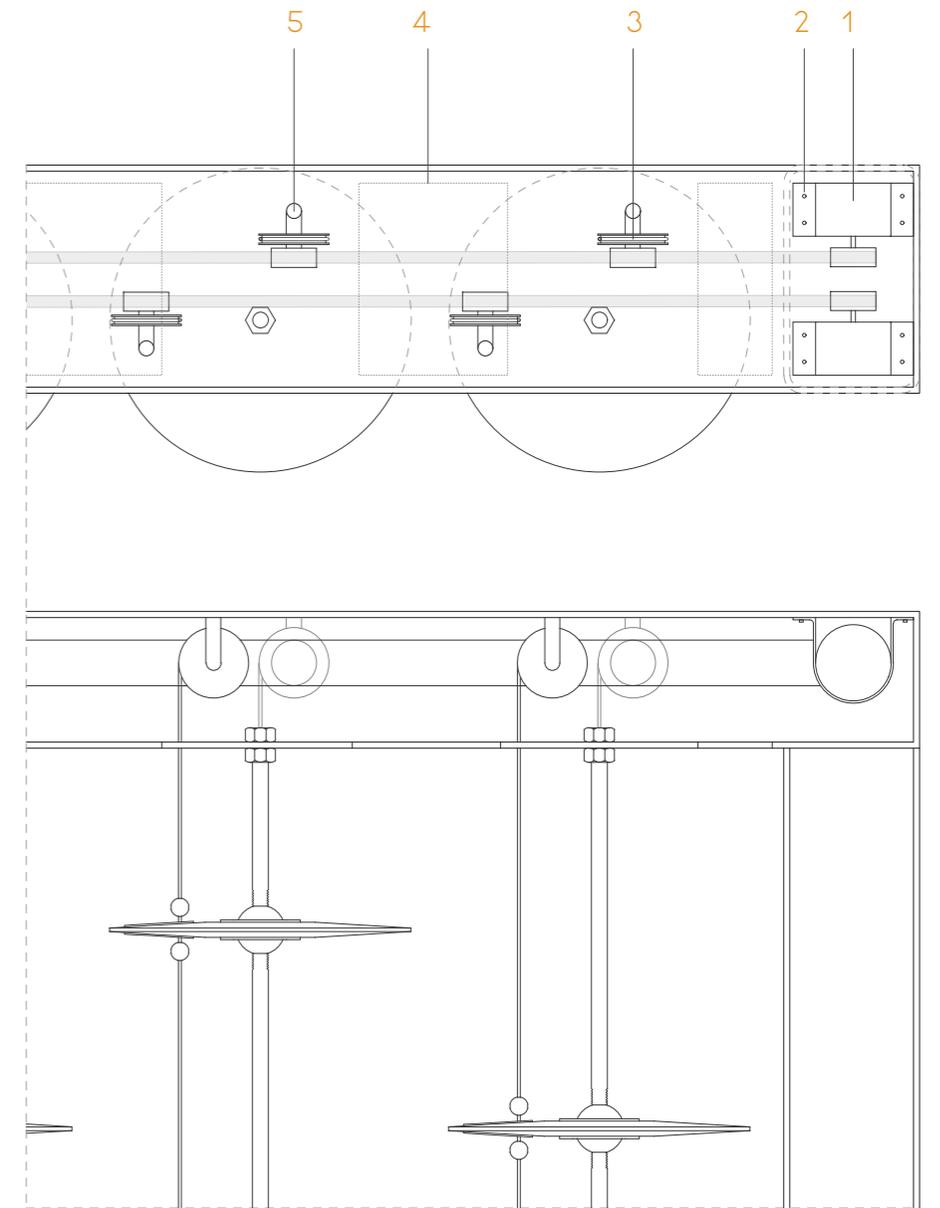
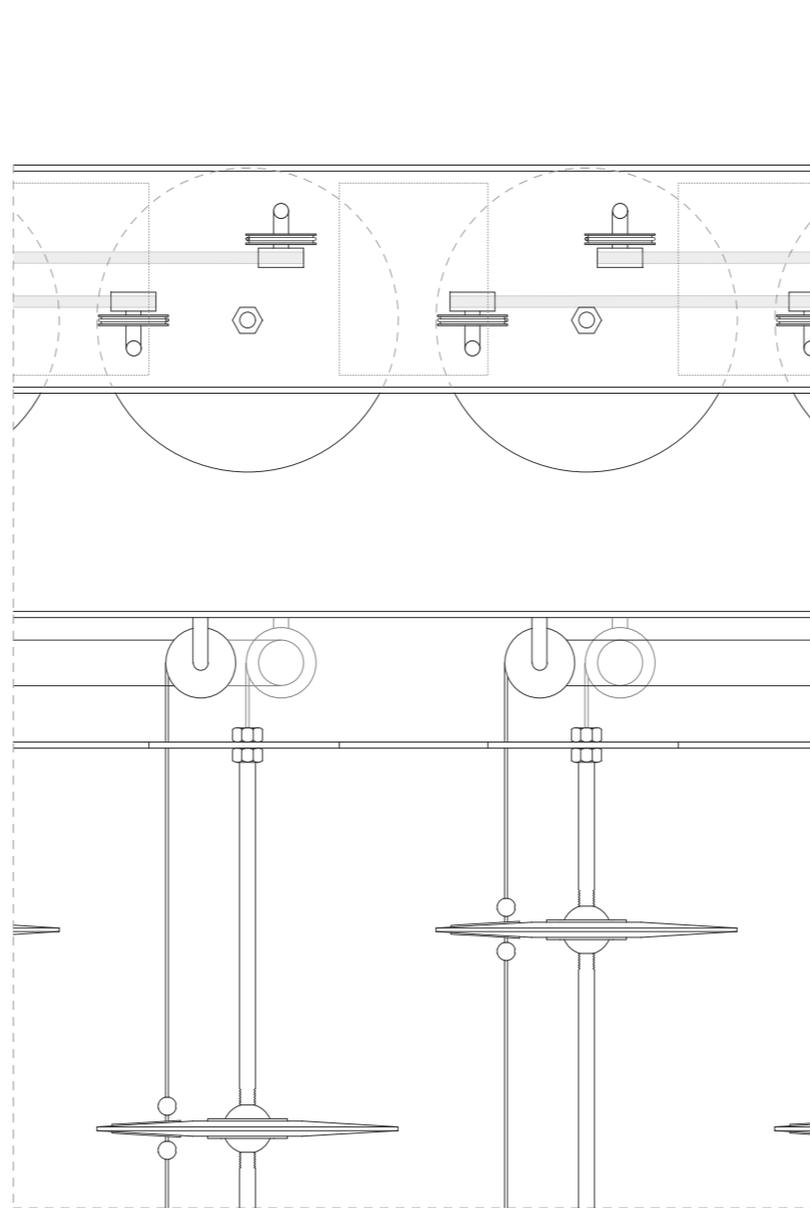
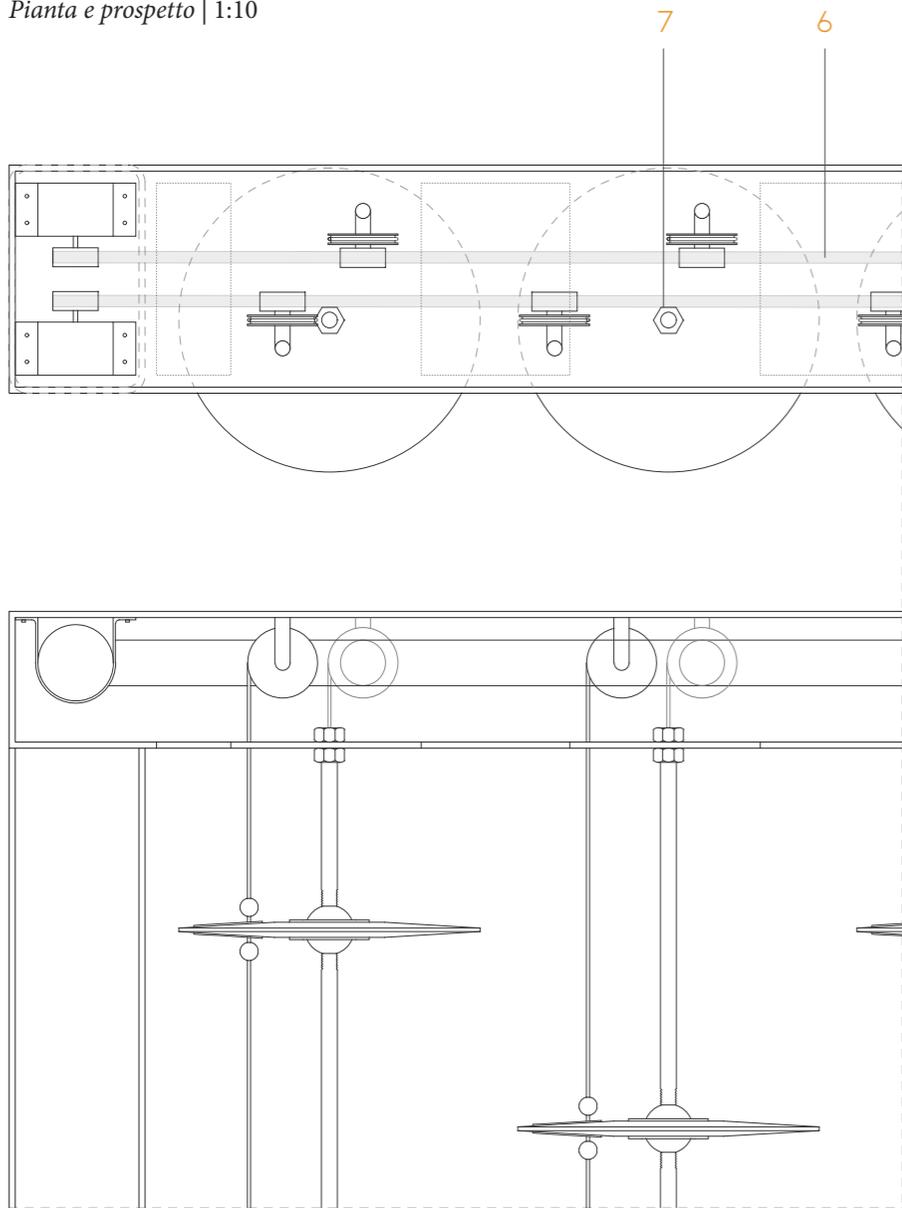
9. INGRANAGGI SUPERIORI-GENERATORI DEL MOVIMENTO

Numero di pezzi per modulo: 1 sistema

Gli ingranaggi superiori sono i responsabili del moto dei dischi ceramici. Tutto ciò che ha a che fare con il movimento avviene all'interno degli scatolari, i cavi elettrici passano tra gli scatolari e i travetti e si connettono alle fonti di energia. Gli impulsi per il movimento vengono trasmessi ai motori per mezzo di sistemi interni all'edificio che non hanno bisogno di collegamenti tramite fili elettrici.

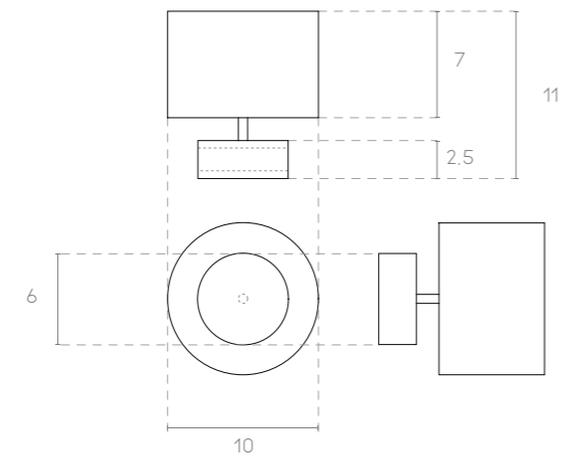
Il funzionamento del sistema è molto semplice: il moto viene azionato da un motorino con una potenza tale da sollevare i dischi per i centimetri necessari; il movimento dal motore è trasmesso per mezzo di una banda di gomma (l'equivalente di una catena di un qualunque ingranaggio rotante) a degli elementi circolari collocati in corrispondenza di ciascuna asta verticale di dischi ceramici. Gli elementi circolari sono composti da una parte sulla quale scorre la banda di gomma, e una parte più arretrata alla quale sono collegati i cavi che passano dentro le asole delle ceramiche, due per ciascun sistema verticale. Quando il moto viene trasmesso agli elementi circolari, i cavi vengono tirati e si arrotolano attorno alla parte arretrata dell'elemento circolare, tirando a loro volta i dischi ceramici (che sono fissati con le sfere di cui si è parlato precedentemente) consentendo il cambio di angolazione. I due cavi servono per far muovere i dischi nelle quattro direzioni principali e in tutte quelle intermedie. È importante che i cavi rimangano sempre ben tesi tra gli ingranaggi superiori e quelli inferiori che verranno spiegati nelle pagine più avanti.

Per evitare di avere una banda elastica di lunghezza spropositata e un motorino di dimensioni troppo grandi, il sistema è stato diviso in due parti, una che muove i dischi delle quattro aste verticali di destra, una per i dischi delle quattro aste verticali di sinistra, e si avranno così in totale quattro motori per sistema. I movimenti vengono comunque effettuati a livello di modulo, dunque ciascun modulo può muoversi indipendentemente rispetto agli altri, per poter rispondere a differenti esigenze di ombreggiamento anche all'interno di uno stesso ambiente.



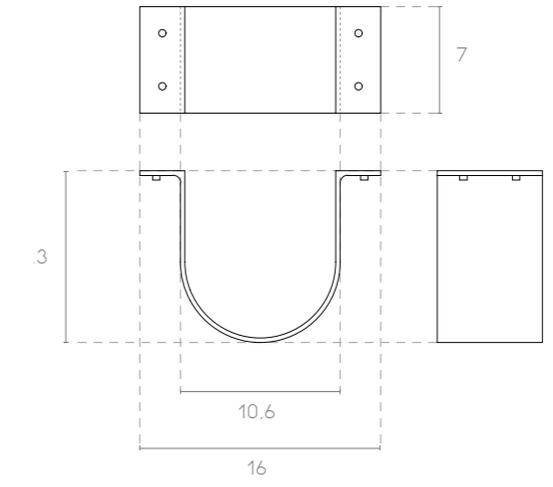
COMPONENTI	N. PEZZI
1. Motore	4
2. Sostegno motore	4
3. Ingranaggio rotante	16
4. Sportelli manutenzione	9
5. Sostegno ingranaggi	16
6. Banda di gomma	4
7. Fissaggio sistema tubolare-dischi	8

1. MOTORE



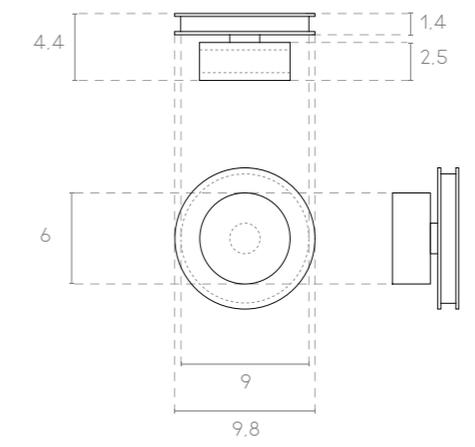
Pianta e prospetti | 1:5

2. SOSTEGNO MOTORE



Pianta e prospetti | 1:5

3. INGRANAGGIO ROTANTE



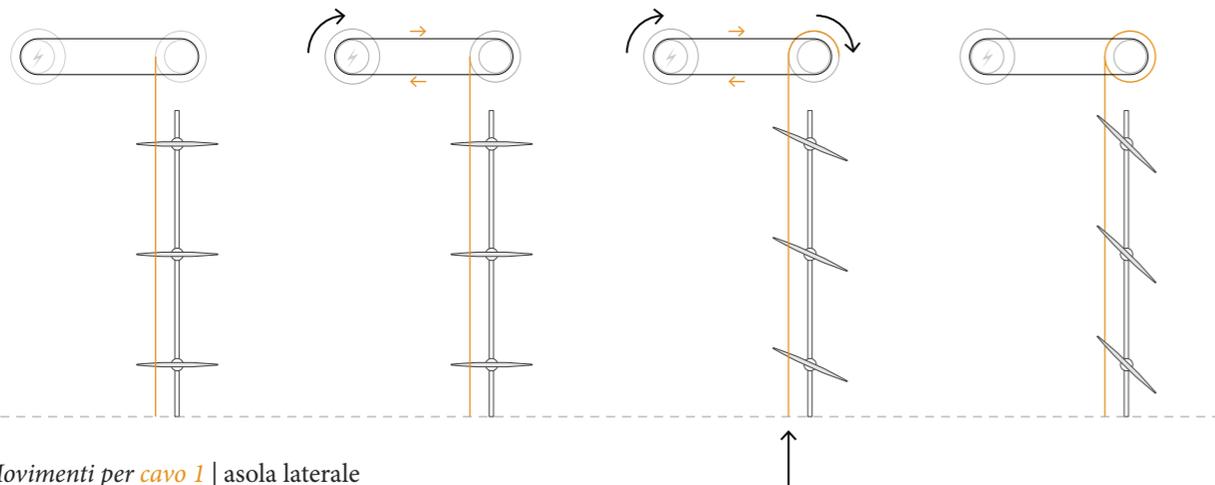
Pianta e prospetti | 1:5

Sistema a riposo

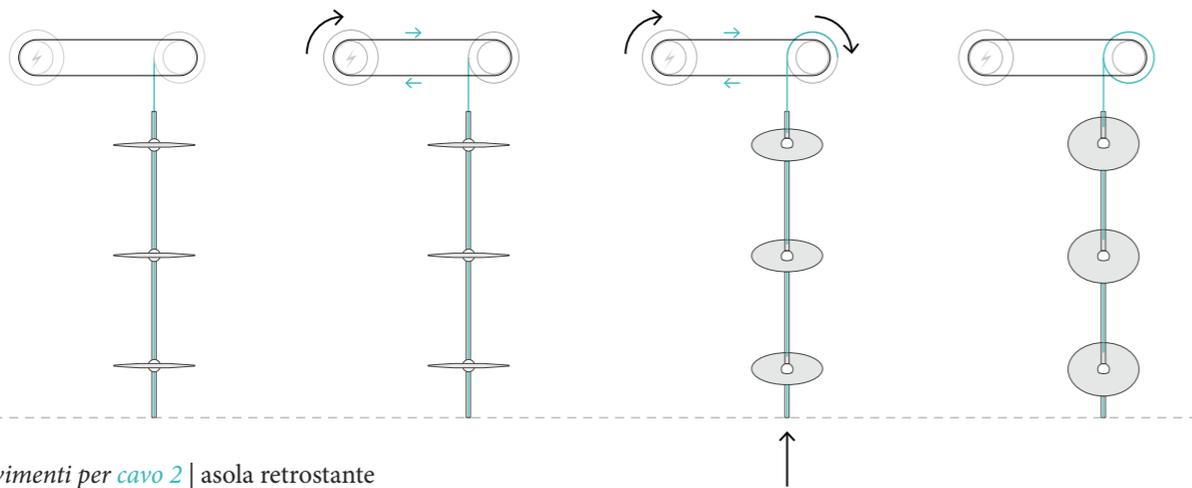
Inizio del moto

Trasmissione del moto

Fine del moto



Movimenti per cavo 1 | asola laterale

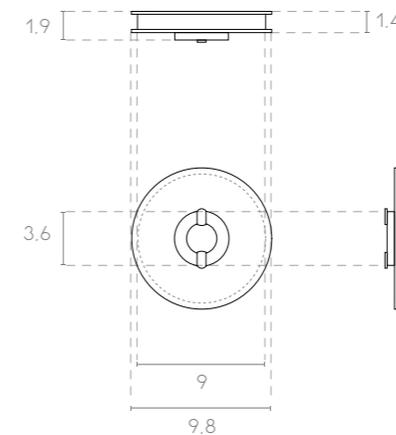


Movimenti per cavo 2 | asola retrostante

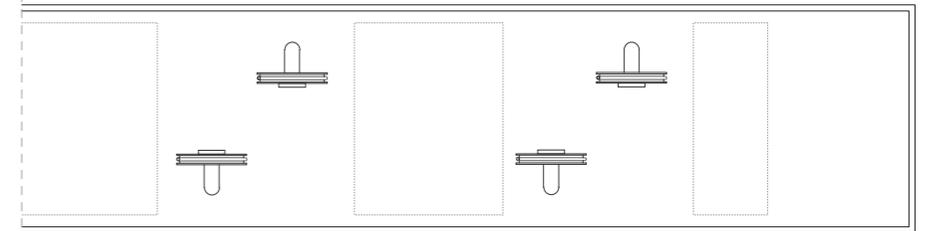
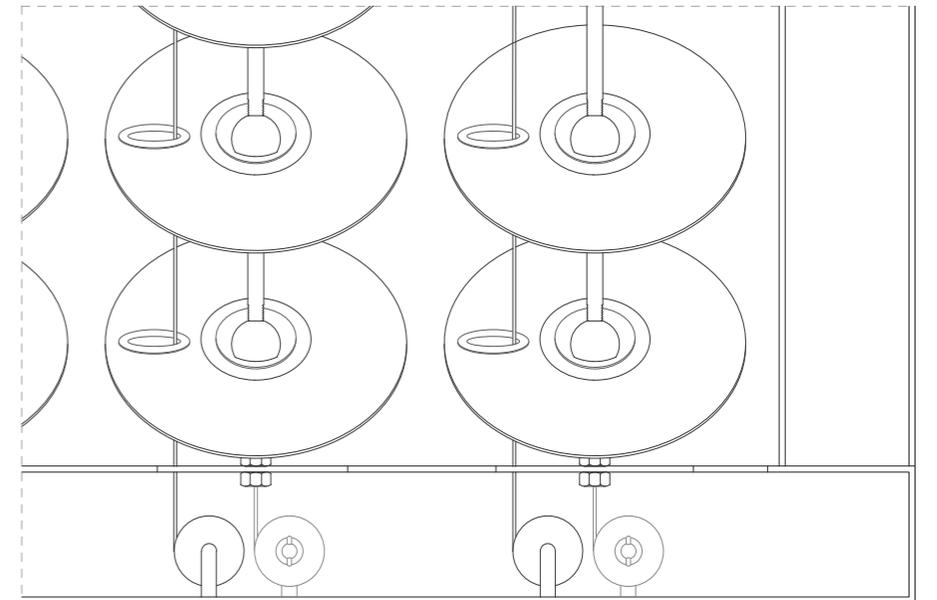
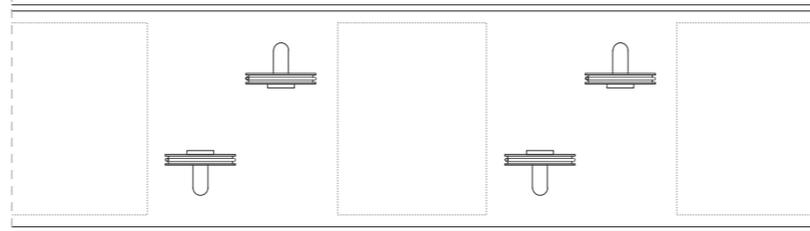
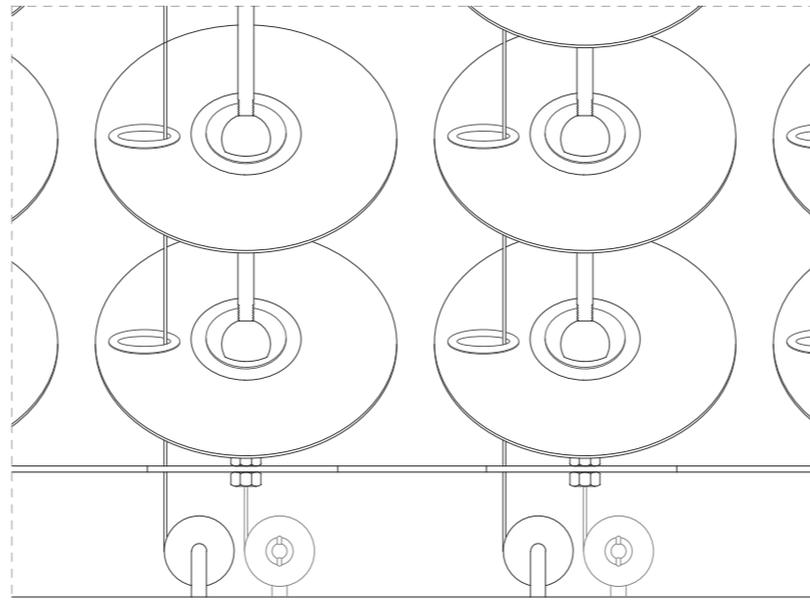
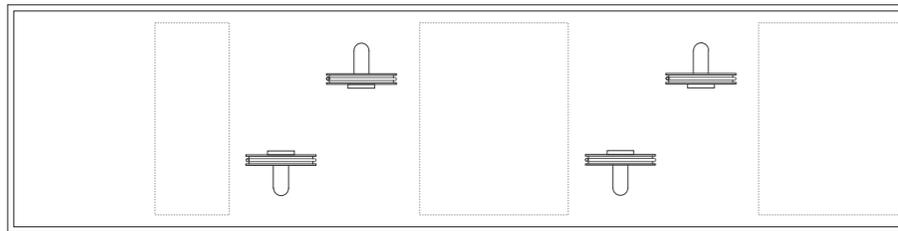
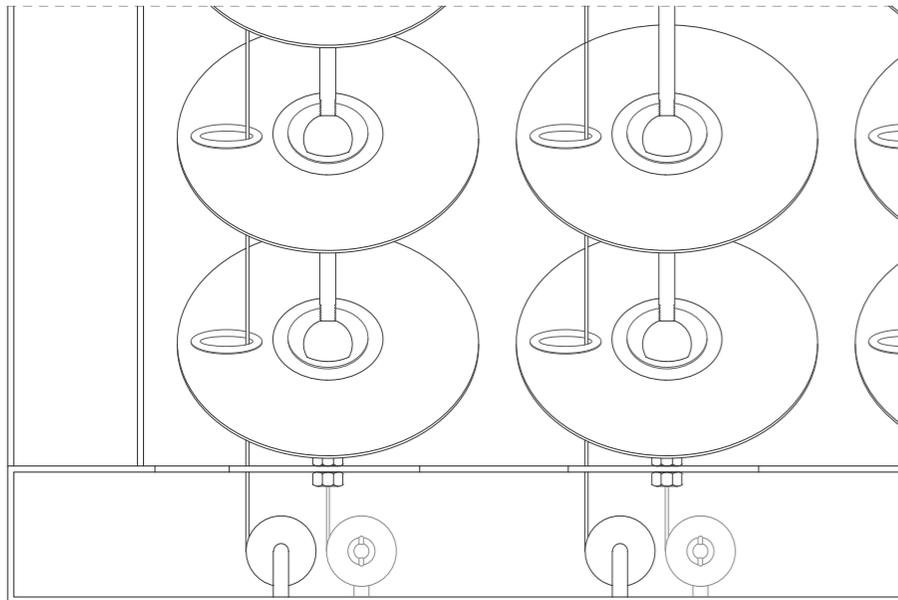
10. INGRANAGGI INFERIORI

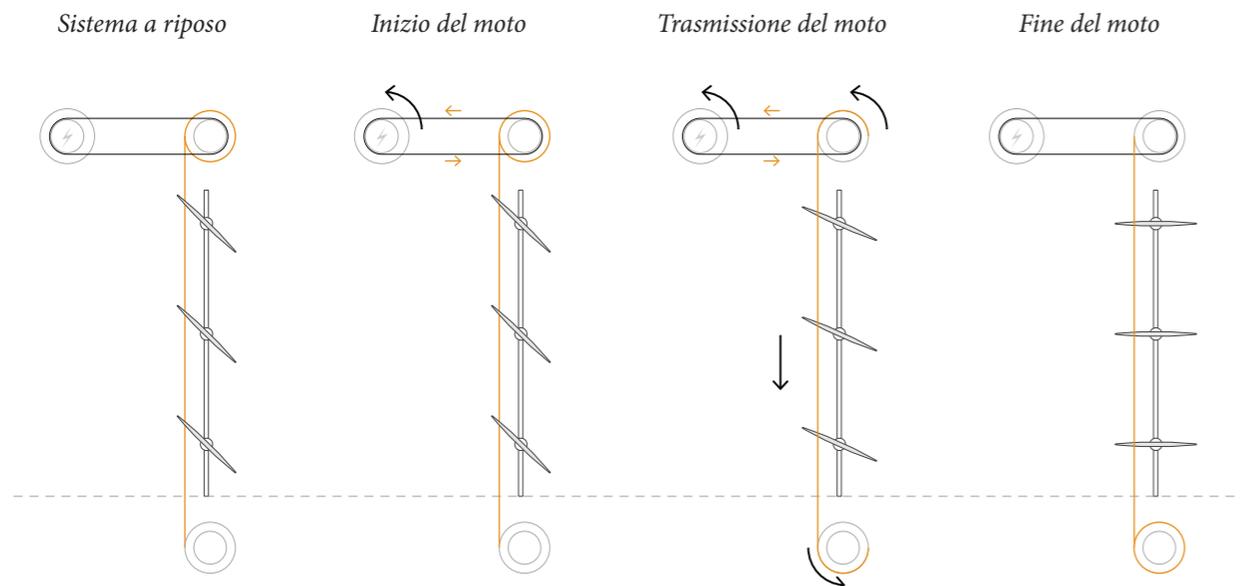
Numero di pezzi per modulo: 16

La parte inferiore degli ingranaggi è composta unicamente da degli elementi rotanti "di ritorno". Si tratta infatti di elementi all'interno dei quali è presente una molla a spirale (come quelle delle comuni avvolgibili) che consente di mantenere i cavi costantemente in tensione. I cavi sono collegati all'elemento rotante come nel caso precedente. Quando il motore riceve l'impulso di far muovere i cavi verso il basso, la molla compie un movimento che consente al cavo di arrotolarsi sull'elemento circolare inferiore. Lo sforzo compiuto dal motore nella fase di discesa è per questo motivo molto minore rispetto alla fase di salita. Gli ingranaggi completi si possono vedere nell' **Allegato 2**.

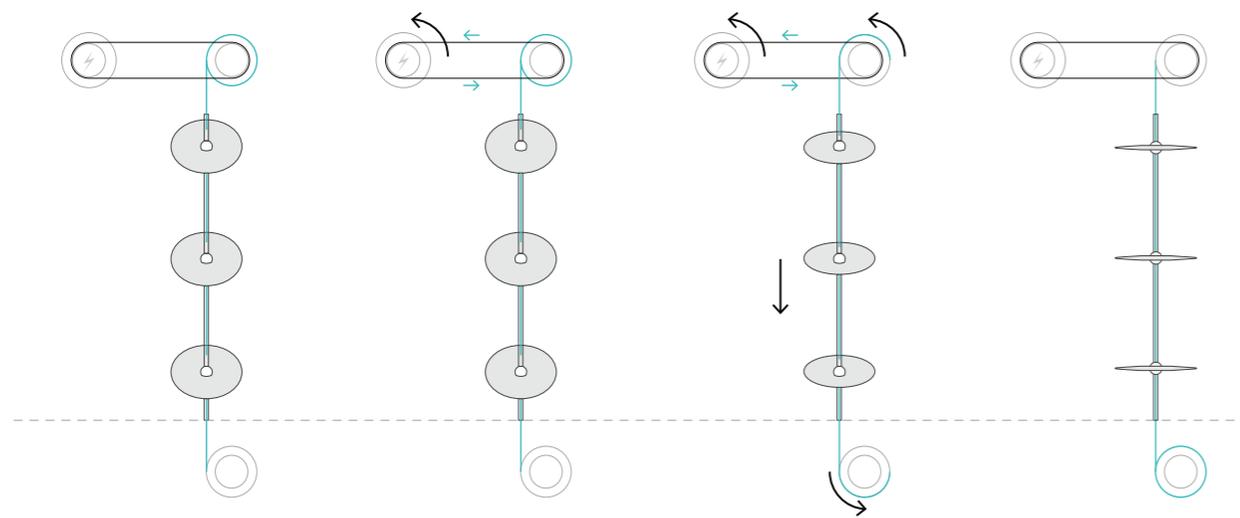


Pianta e prospetti | 1:5





Movimenti per *cavo 1* | asola laterale



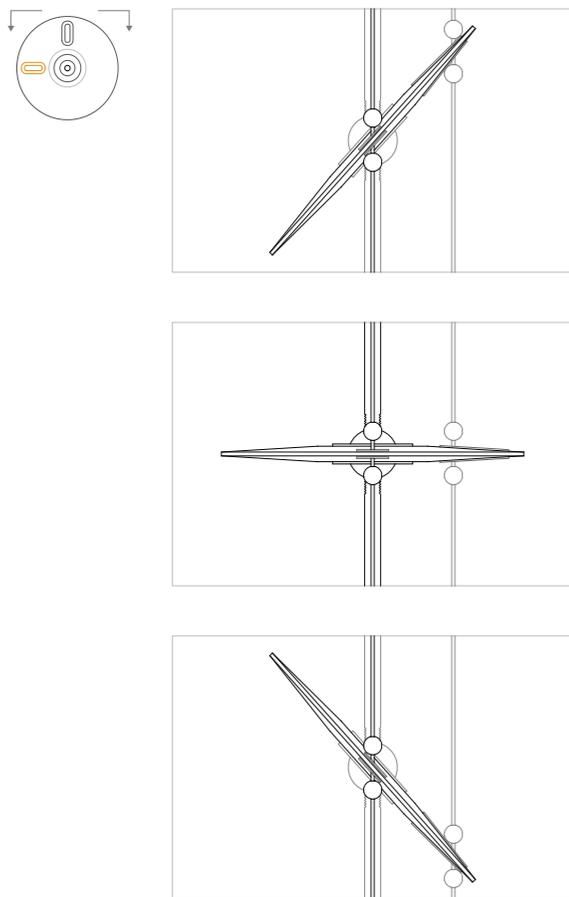
Movimenti per *cavo 2* | asola retrostante

I movimenti che i dischi possono effettuare sono stati studiati tramite il disegno al cad e un modello fisico. Oltre ai quattro movimenti principali, infatti, sono possibili un'altra serie di posizioni ottenute dalla combinazione del movimento dei due cavi contemporaneamente. Nelle prossime pagine sono presenti le analisi dei movimenti, con sezioni in corrispondenza delle asole per studiare il comportamento del cavo a contatto con l'asola stessa, e per ipotizzare la distanza tra le sfere fissate ai cavi. Le foto fatte al plastico sono utili per osservare anche le altre posizioni. La serie completa dei movimenti si può vedere nell' **Allegato 3**.



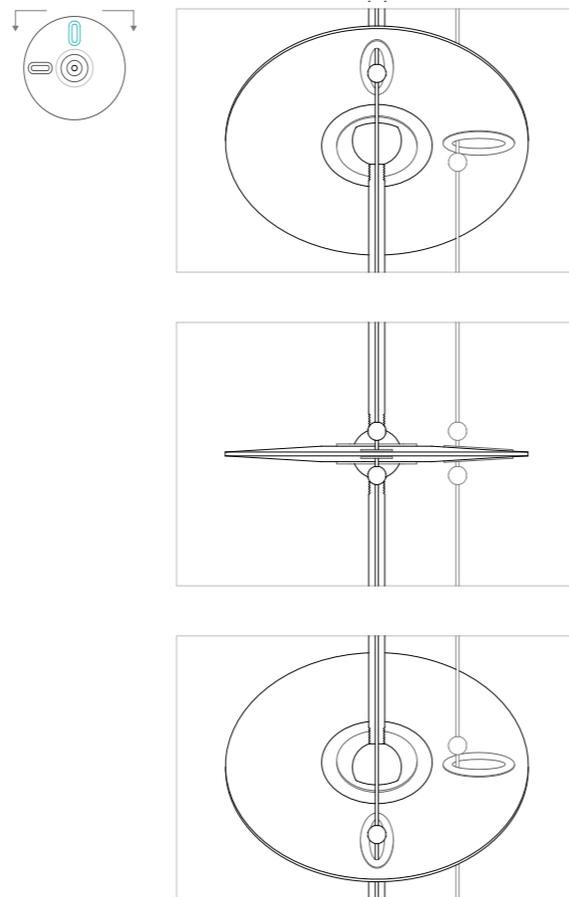
ANGOLAZIONI MASSIME

Movimenti per *cavo 1*



Prospetto | 1:10

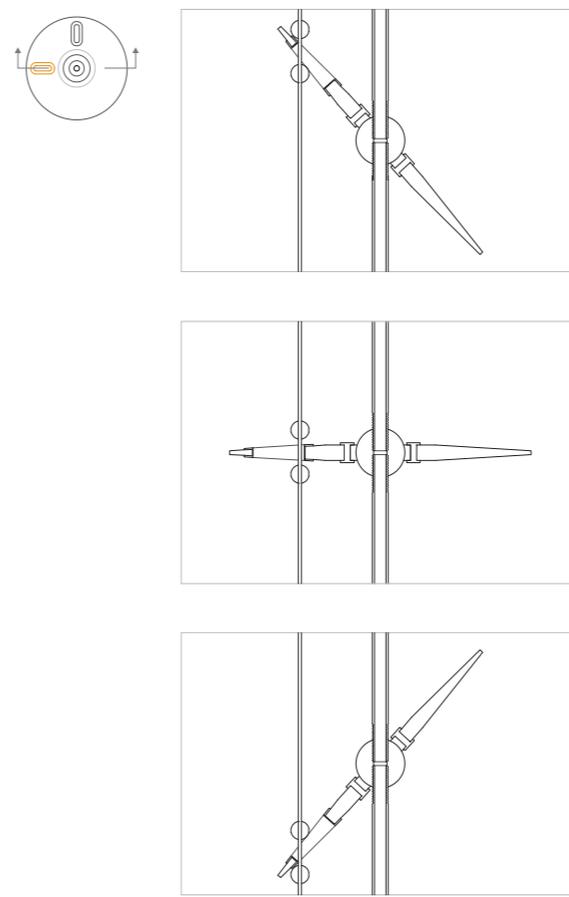
Movimenti per *cavo 2*



Prospetto | 1:10

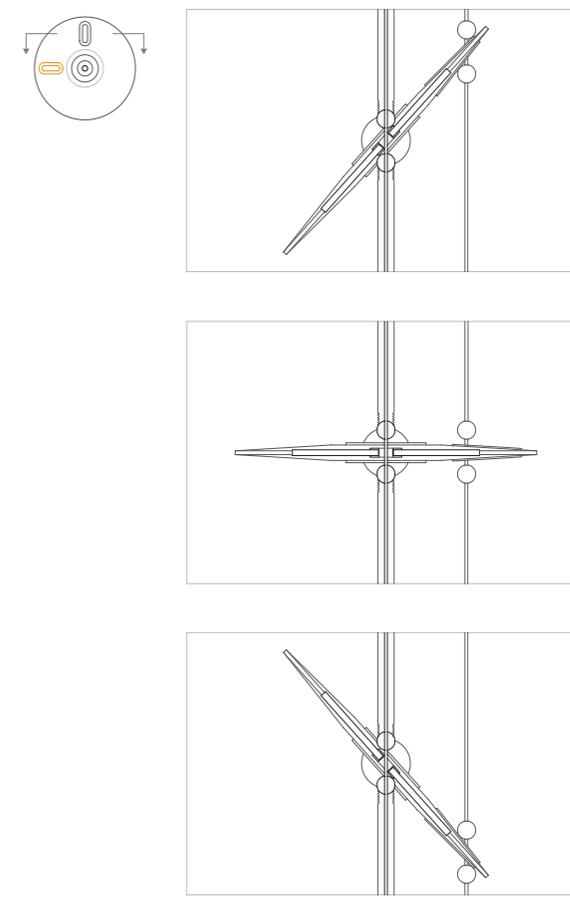
ANGOLAZIONI MASSIME – COMPORTAMENTO ASOLE

Movimenti per *cavo 1*



Sezione | 1:10

Movimenti per *cavo 1*



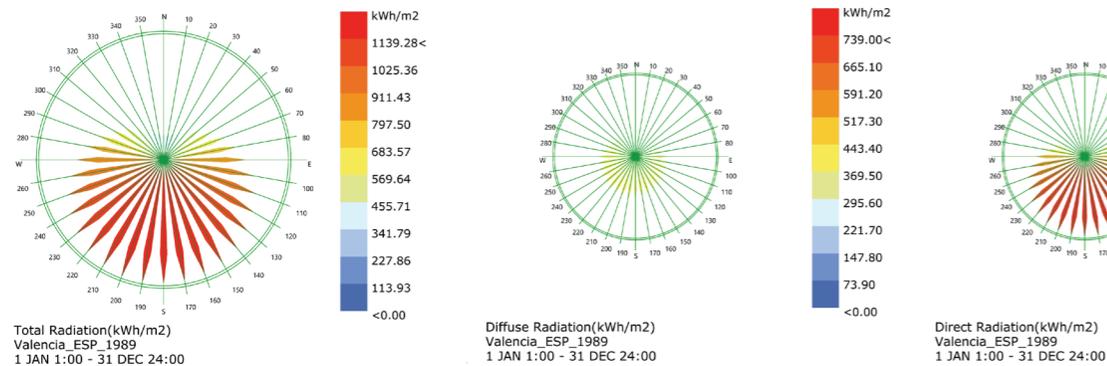
Sezione | 1:10



Per testare la funzionalità dei moduli, sono state fatte delle analisi che consentono di quantificare l'intensità delle radiazioni che incidono sull'edificio con l'utilizzo della schermatura. Il software utilizzato, chiamato Ladybug, è un'estensione gratuita di Grasshopper (a sua volta un'applicazione di Rhino) che aiuta a definire i progetti architettonici considerando i fattori ambientali della località del progetto. Il programma infatti consente di scaricare i così detti EPW - *Energy Plus Weather files* - un pacchetto di dati climatici specifici di ciascun luogo, che permettono di prendere in considerazione, a seconda del tipo di calcolo che si vuole effettuare, i dati relativi alle radiazioni solari, al vento, all'umidità e molti altri.

Poiché l'applicazione del modulo, nel prossimo capitolo, viene effettuata su un caso studio situato a Valencia, le analisi fatte per il progetto considerano i dati climatici (EPW files) della città spagnola, le cui caratteristiche ambientali tuttavia non si scostano particolarmente da quelle di molte città italiane e del Mediterraneo. Come accennato precedentemente, le analisi riguardano le radiazioni solari incidenti, e il software considera congiuntamente sia le radiazioni dirette sia le radiazioni diffuse.

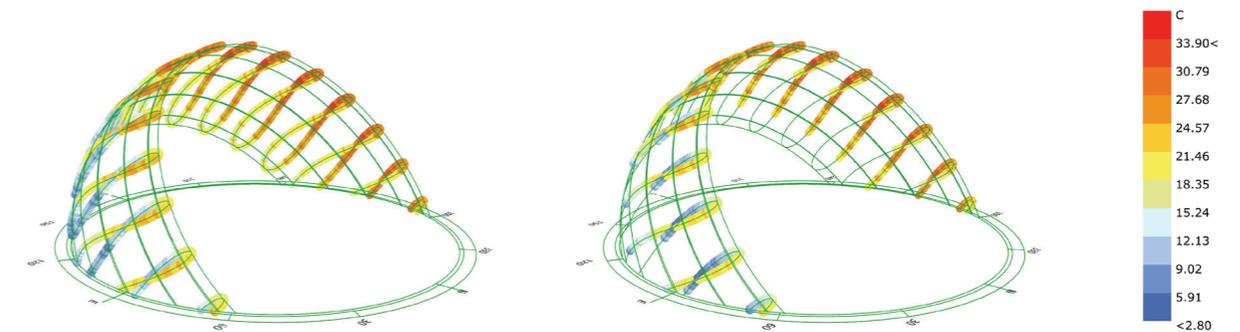
Grafici sulle radiazioni totali, diffuse e dirette per Valencia - ricavati da Ladybug



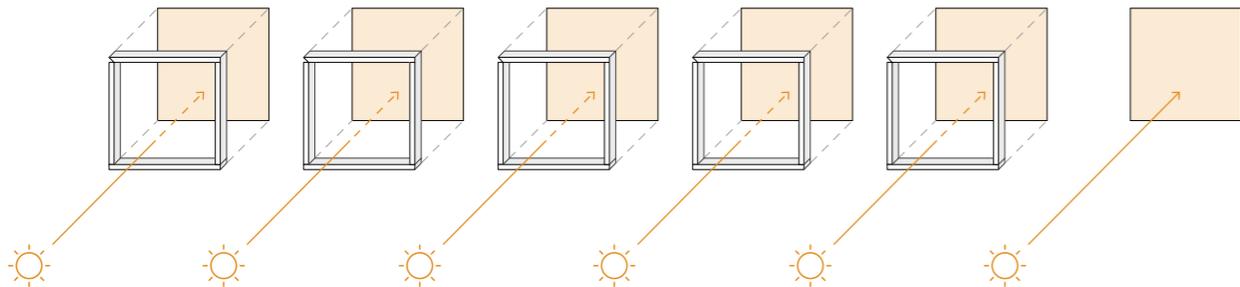
Per le analisi è stato utilizzato il modulo tipo esaminato nel paragrafo 5.2. Anche in questo caso sono state prese in considerazione le cinque inclinazioni principali dei dischi ceramici, in modo da verificare il comportamento specifico delle radiazioni per ciascun caso. Per quantificare la radiazione incidente è stata inserita, dietro ciascuna schermatura, una superficie di calcolo della grandezza del modulo (4x4 m) a una distanza di 30 cm dal modulo stesso, che serve come superficie sulla quale far proiettare le radiazioni. La distanza tra la griglia e il modulo sarebbe la distanza che c'è tra l'edificio e il modulo nella sua applicazione. È stata considerata inoltre un'ulteriore superficie priva di schermatura davanti, in modo da consentire alla totalità delle radiazioni di depositarsi su di essa, ed utilizzarla, una volta terminati i calcoli, come elemento di comparazione per le altre superfici schermate. Dunque le superfici di calcolo in tutto sono sei, e cinque di esse sono schermate. Poiché i raggi più incidenti durante l'arco delle stagioni sono quelli provenienti da sud, e dunque i principali da schermare, l'analisi è stata fatta per l'esposizione dei moduli a sud.

Sono state fatte due analisi considerando due archi di tempo differenti. Nel primo caso è stato considerato l'anno intero, per esaminare il comportamento generale del modulo schermante durante i 12 mesi. La seconda analisi è stata fatta nell'arco dei sette mesi che vanno da Aprile a Ottobre, i più soleggiati dell'anno che comprendono i mesi estivi, per verificare l'efficacia delle schermature soprattutto nel periodo in cui le radiazioni solari sono più forti. Si possono osservare nei grafici sottostanti i due periodi considerati, nel secondo dei quali non è presente il percorso del sole per i mesi più freddi dell'anno. I dati ottenuti dal calcolo delle due analisi vengono poi comparati.

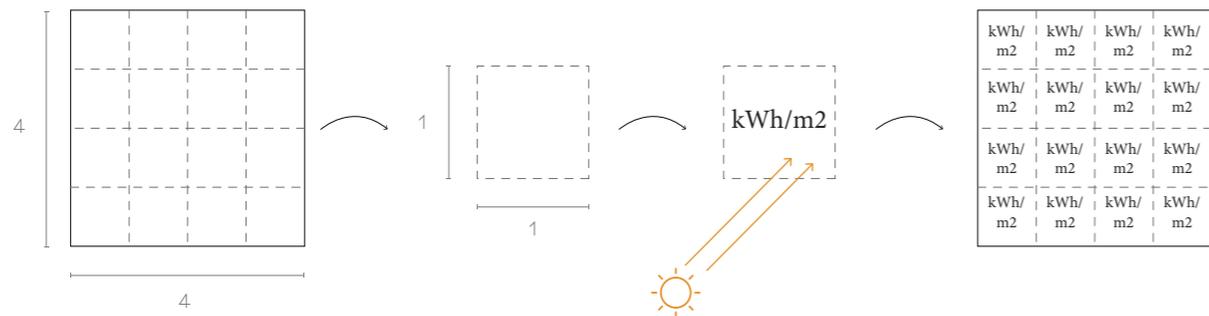
Grafici sul percorso compiuto dal sole, nel primo caso considerando i 12 mesi, nel secondo i 7 mesi - dati per Valencia ricavati da Ladybug



I dati ottenuti dall'analisi dunque sono riferiti alla quantità di radiazioni che si depositano sulle superfici di calcolo. Le radiazioni vengono calcolate in kWh/m², che in seguito vengono trasformate in percentuali in riferimento alla superficie non schermata.



Nel momento del calcolo delle radiazioni, ciascuna superficie viene suddivisa in una griglia, che sarà più o meno fitta a seconda del valore che viene inserito. Ciascun quadrato della griglia riporta un valore relativo alle radiazioni che si depositano in quel punto specifico, e consente di fare un'analisi dettagliata dell'incidenza solare per ciascuna superficie di calcolo schermata. Il parametro che determina la dimensione dei quadrati si chiama *gridsize*, e può essere impostato con le unità di misura del metro e del pollice; in questo caso è stato impostato uguale a 1, che equivale a 1 metro. Poiché il modulo è di 4x4 metri, la griglia verrà suddivisa in 4x4 parti, dunque si otterranno 16 quadrati di 1x1 metro ciascuno, di conseguenza 16 valori di radiazioni incidenti in kWh/m².

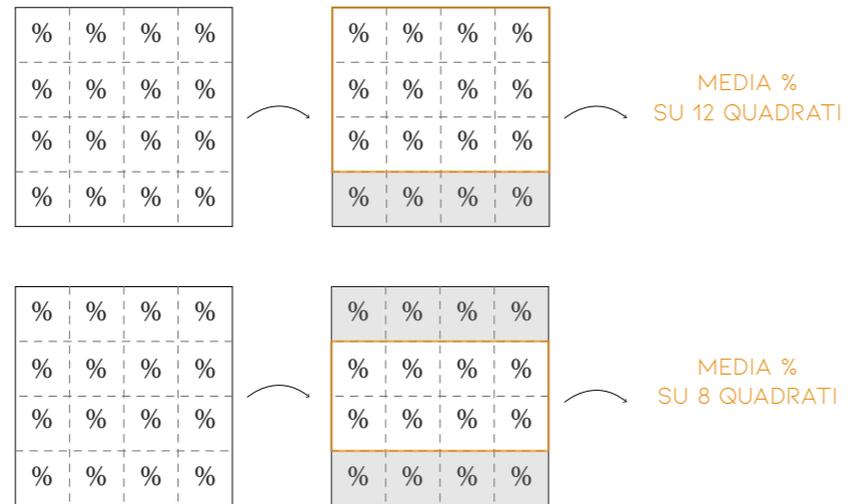


Ciascuno dei 16 risultati ottenuti è una media delle radiazioni incidenti nel periodo considerato. Si è detto precedentemente che i periodi esaminati sono due, uno che considera l'intero anno, uno che considera il periodo più caldo. I numeri ottenuti saranno così nel primo caso un risultato della media delle radiazioni per i 12 mesi, nel secondo caso una media delle radiazioni dei 7 mesi caldi.

Vengono ricavati 16 valori per ciascuna delle sei superfici di calcolo, di cui cinque schermate, e una non schermata sulla quale si deposita la totalità delle radiazioni. Considerando che la superficie non schermata rappresenta il 100% delle radiazioni, i valori ottenuti per le altre superfici vengono trasformati in percentuale in relazione ad essa, in modo da ottenere la percentuale delle radiazioni incidenti con l'utilizzo delle schermature. Si ricavano così 16 percentuali, di radiazioni medie per i periodi considerati, per ciascun modulo.

Ciò che interessa sapere, tuttavia, è la percentuale totale di radiazioni che il modulo può schermare, e dunque la media delle 16 percentuali calcolate, in modo da ottenere il comportamento generale della schermatura per il periodo considerato. Nel conteggio della media per ciascuna superficie di calcolo schermata, in un primo caso non verranno considerati i quattro valori dei quadrati alla base, poiché in corrispondenza dei dischi ceramici che rimangono sempre fissi e chiusi, e di conseguenza bloccano sempre l'ingresso delle radiazioni. In questo modo si evita di "falsare" i risultati. In seguito, nel secondo caso, viene calcolata una media senza considerare né i quattro valori dei quadrati alla base, né i quattro valori dei quadrati sulla sommità, che essendo vicini alla struttura risultano maggiormente ombreggiati dallo spessore dello scatolare. In questo modo è possibile analizzare il comportamento della schermatura nella parte centrale del modulo.

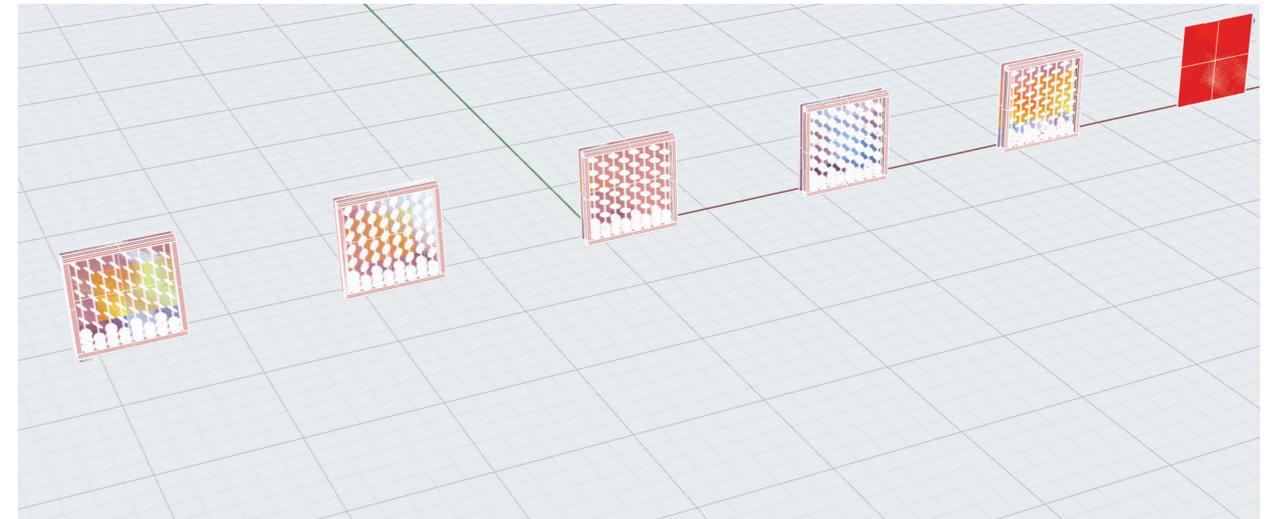
Il calcolo di queste due percentuali di media servono per analizzare in maniera più dettagliata il comportamento delle schermature nei due periodi analizzati.



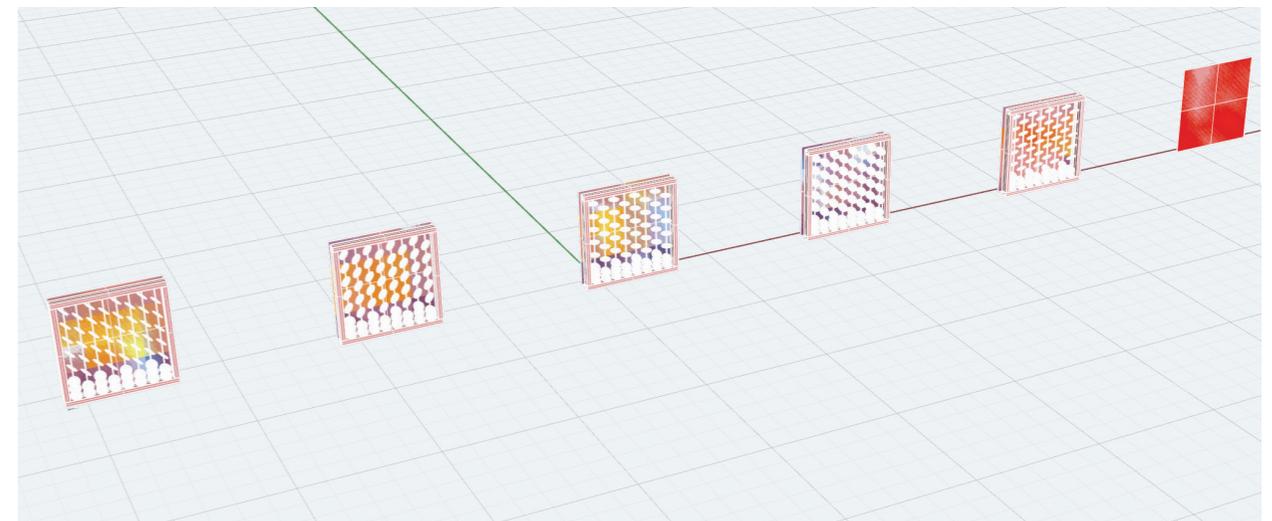
Con i risultati ottenuti è possibile conoscere la quantità di radiazioni che arrivano sulla facciata dell'edificio con l'uso delle schermature, e di conseguenza calcolare la quantità di radiazioni che la schermatura, nelle cinque inclinazioni, è capace di bloccare, sempre in riferimento ai due lassi di tempo considerati.

Si può inoltre fare un calcolo per verificare la quantità di radiazioni che la schermatura può gestire, ovvero il massimo e il minimo di radiazioni che la schermatura può far passare.

Le diverse inclinazioni verranno analizzate singolarmente nelle prossime pagine, e verranno espone le caratteristiche schermanti di ciascuna.



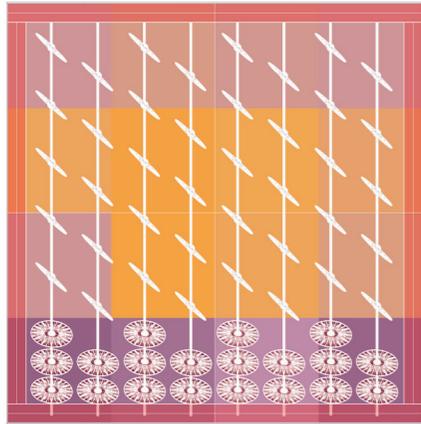
Radiazioni incidenti 12 mesi | modello Ladybug



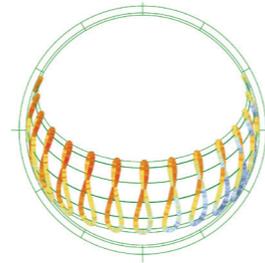
Radiazioni incidenti 7 mesi | modello Ladybug

INCLINAZIONE 1

12 MESI



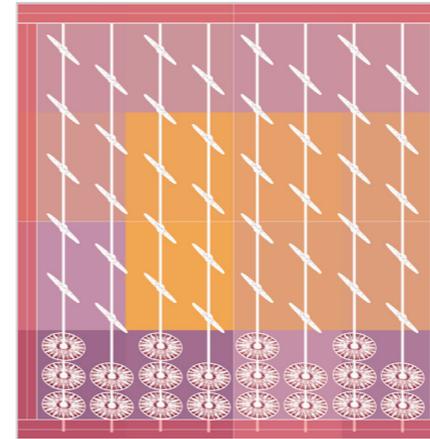
Radiazioni incidenti | modello Ladybug



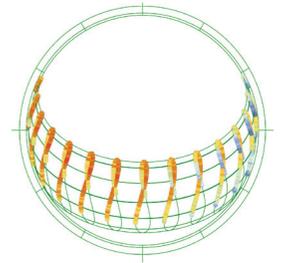
Gennaio - Dicembre

INCLINAZIONE 1

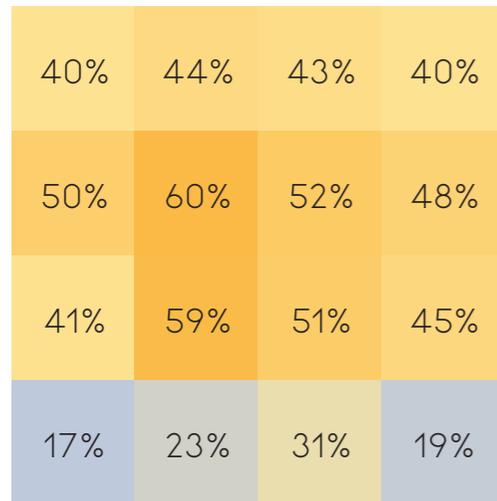
7 MESI



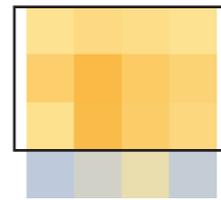
Radiazioni incidenti | modello Ladybug



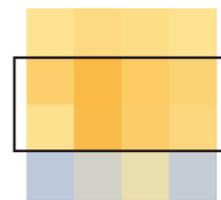
Aprile - Ottobre



Percentuale radiazioni incidenti

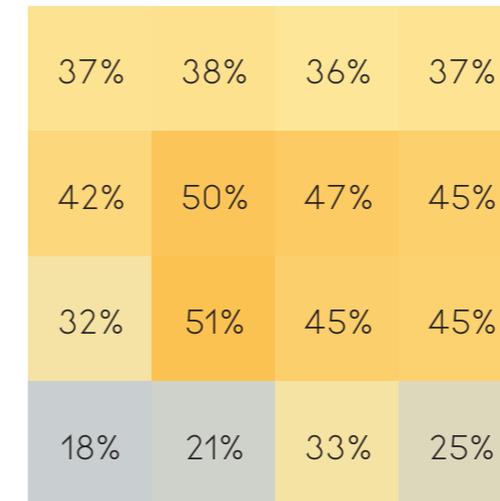


RADIAZIONI INCIDENTI: 48%
RADIAZIONI SCHERMATE: 52%

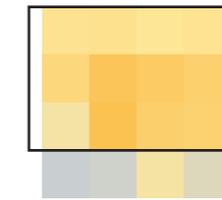


RADIAZIONI INCIDENTI: 51%
RADIAZIONI SCHERMATE: 49%

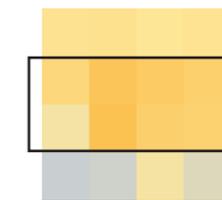
☐ Parte di modulo considerata



Percentuale radiazioni incidenti



RADIAZIONI INCIDENTI: 42%
RADIAZIONI SCHERMATE: 58%

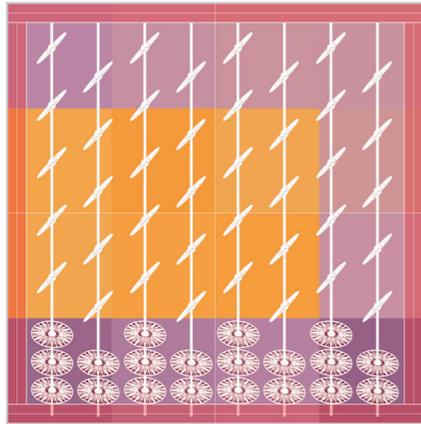


RADIAZIONI INCIDENTI: 45%
RADIAZIONI SCHERMATE: 55%

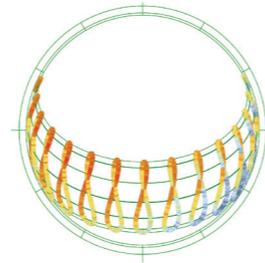
☐ Parte di modulo considerata

INCLINAZIONE 2

12 MESI



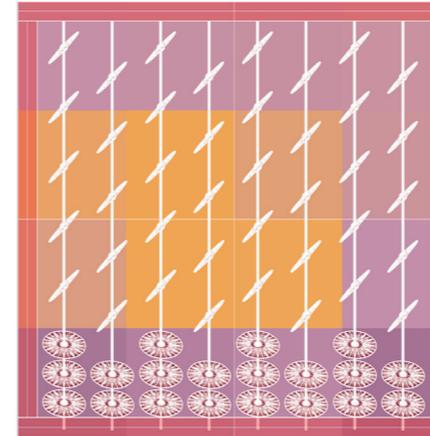
Radiazioni incidenti | modello Ladybug



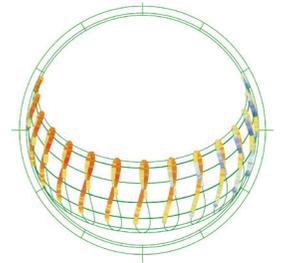
Gennaio - Dicembre

INCLINAZIONE 2

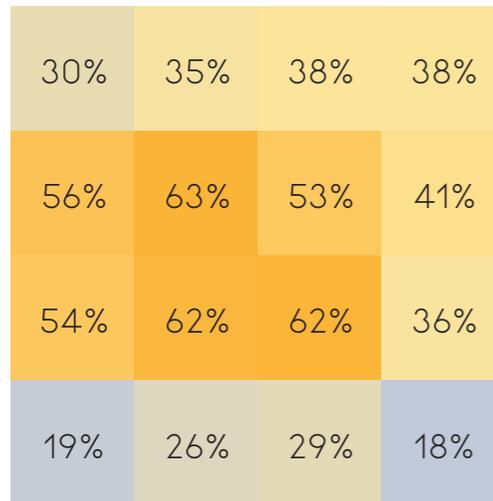
7 MESI



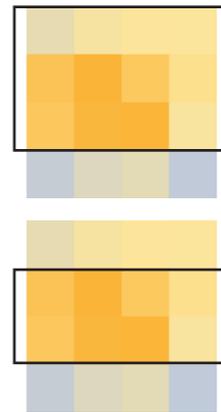
Radiazioni incidenti | modello Ladybug



Aprile - Ottobre



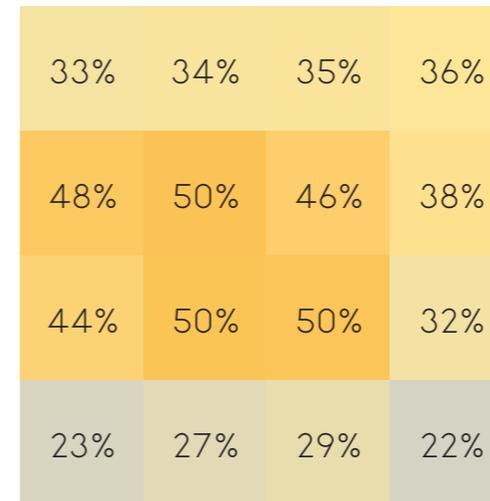
Percentuale radiazioni incidenti



☐ Parte di modulo considerata

RADIAZIONI INCIDENTI: 47%
RADIAZIONI SCHERMATE: 53%

RADIAZIONI INCIDENTI: 53%
RADIAZIONI SCHERMATE: 47%



Percentuale radiazioni incidenti



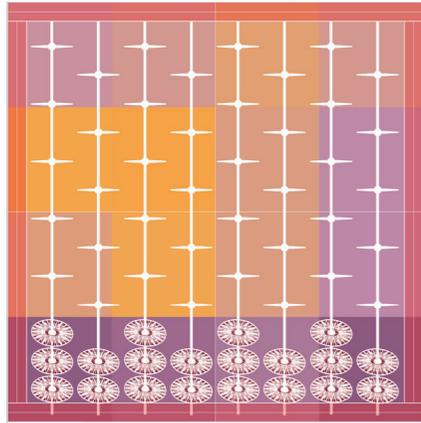
☐ Parte di modulo considerata

RADIAZIONI INCIDENTI: 41%
RADIAZIONI SCHERMATE: 59%

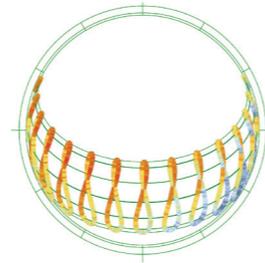
RADIAZIONI INCIDENTI: 45%
RADIAZIONI SCHERMATE: 55%

INCLINAZIONE 3

12 MESI



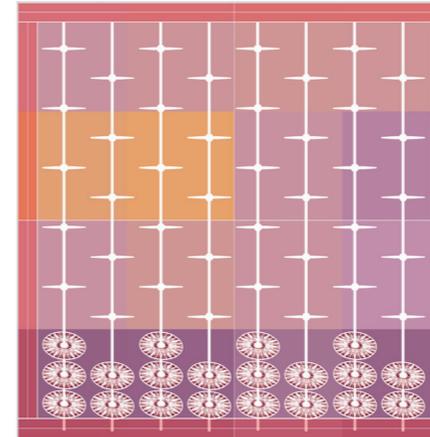
Radiazioni incidenti | modello Ladybug



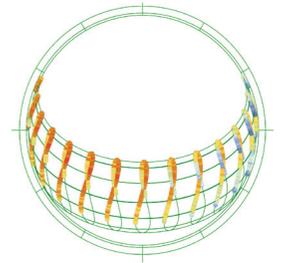
Gennaio - Dicembre

INCLINAZIONE 3

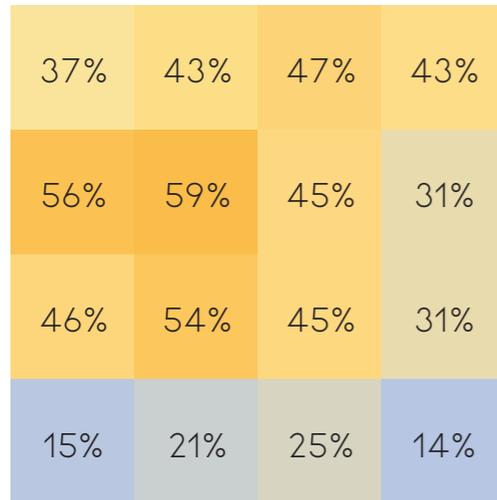
7 MESI



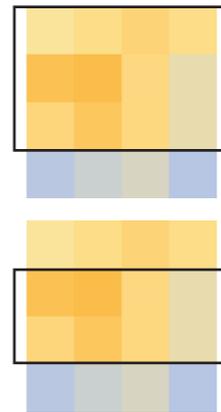
Radiazioni incidenti | modello Ladybug



Aprile - Ottobre

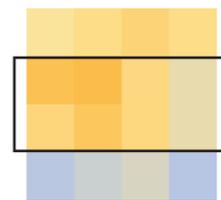


Percentuale radiazioni incidenti



RADIAZIONI INCIDENTI: 45%

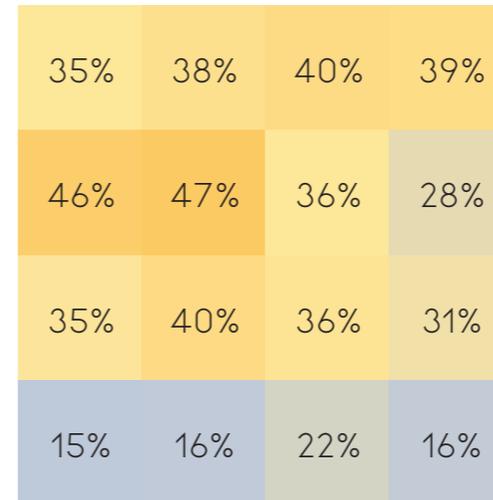
RADIAZIONI SCHERMATE: 55%



RADIAZIONI INCIDENTI: 46%

RADIAZIONI SCHERMATE: 54%

☐ Parte di modulo considerata

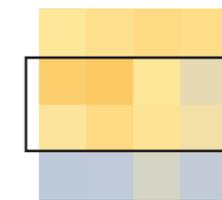


Percentuale radiazioni incidenti



RADIAZIONI INCIDENTI: 38%

RADIAZIONI SCHERMATE: 62%



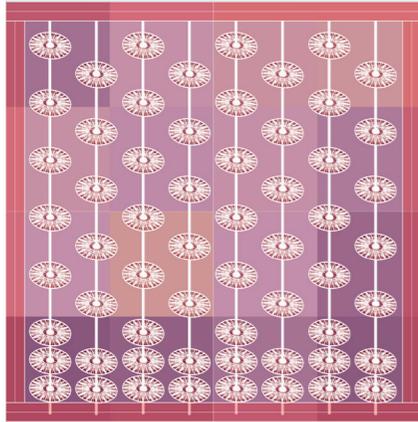
RADIAZIONI INCIDENTI: 37%

RADIAZIONI SCHERMATE: 63%

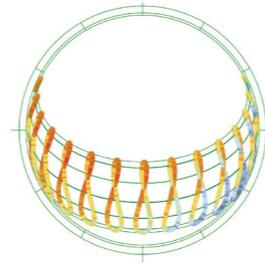
☐ Parte di modulo considerata

INCLINAZIONE 4

12 MESI



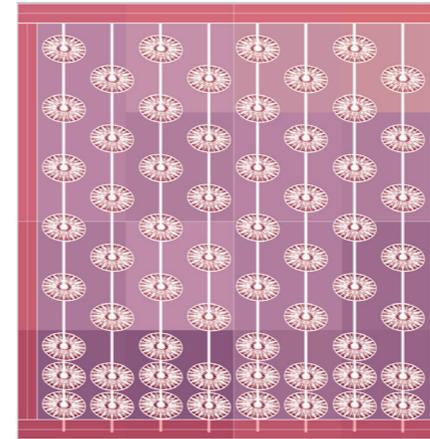
Radiazioni incidenti | modello Ladybug



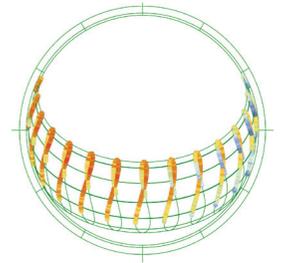
Gennaio - Dicembre

INCLINAZIONE 4

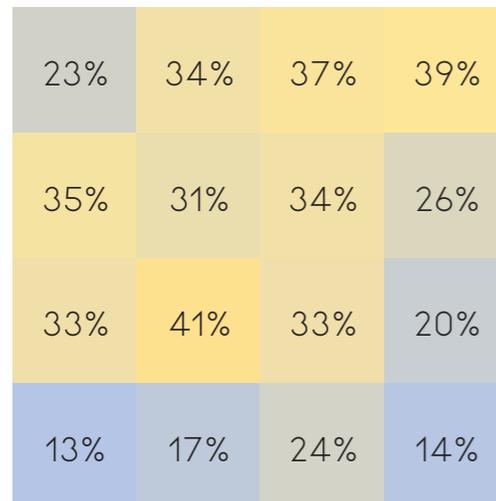
7 MESI



Radiazioni incidenti | modello Ladybug



Aprile - Ottobre



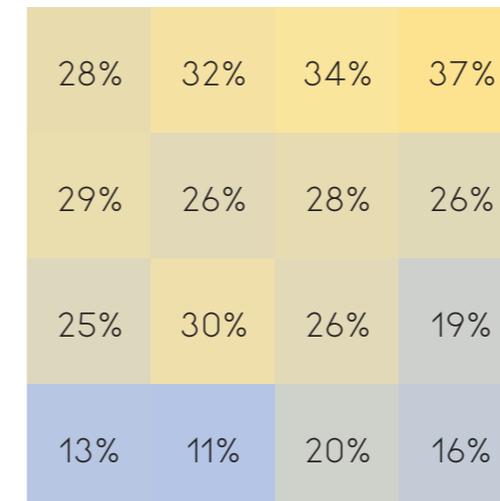
Percentuale radiazioni incidenti



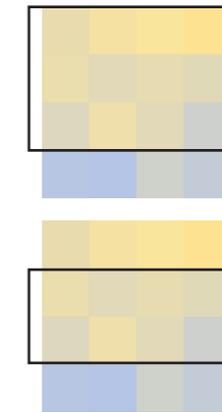
☐ Parte di modulo considerata

RADIAZIONI INCIDENTI: 32%
RADIAZIONI SCHERMATE: 68%

RADIAZIONI INCIDENTI: 32%
RADIAZIONI SCHERMATE: 68%



Percentuale radiazioni incidenti



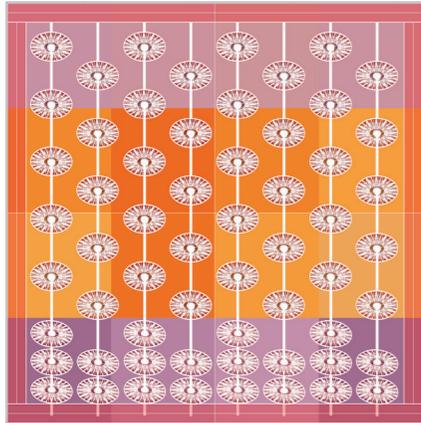
☐ Parte di modulo considerata

RADIAZIONI INCIDENTI: 28%
RADIAZIONI SCHERMATE: 72%

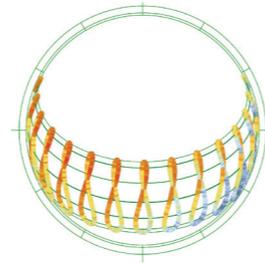
RADIAZIONI INCIDENTI: 26%
RADIAZIONI SCHERMATE: 74%

INCLINAZIONE 5

12 MESI



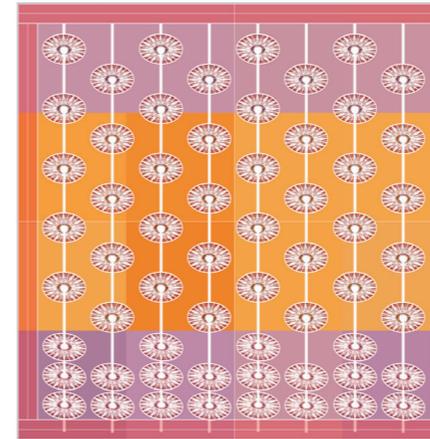
Radiazioni incidenti | modello Ladybug



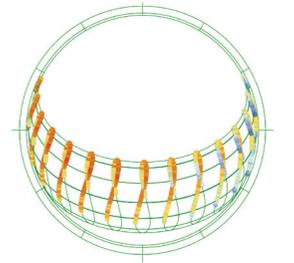
Gennaio - Dicembre

INCLINAZIONE 5

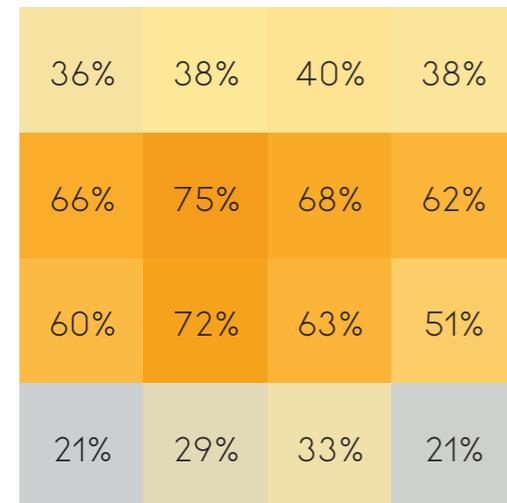
7 MESI



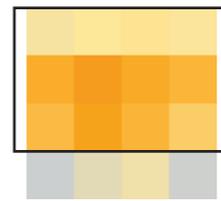
Radiazioni incidenti | modello Ladybug



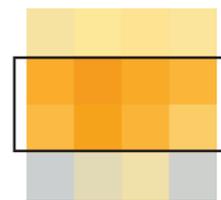
Aprile - Ottobre



Percentuale radiazioni incidenti

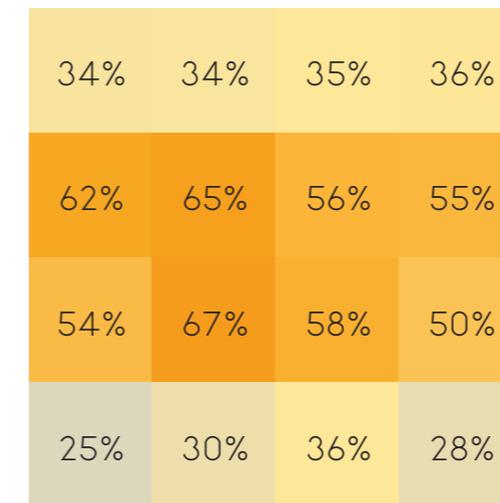


RADIAZIONI INCIDENTI: 56%
RADIAZIONI SCHERMATE: 44%

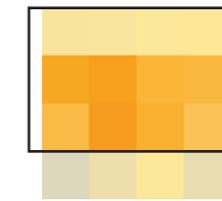


RADIAZIONI INCIDENTI: 65%
RADIAZIONI SCHERMATE: 35%

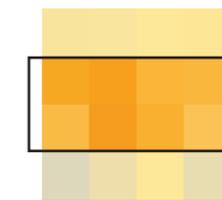
☐ Parte di modulo considerata



Percentuale radiazioni incidenti



RADIAZIONI INCIDENTI: 51%
RADIAZIONI SCHERMATE: 49%



RADIAZIONI INCIDENTI: 59%
RADIAZIONI SCHERMATE: 41%

☐ Parte di modulo considerata

Arrivati a questo punto è necessario fare delle considerazioni sulle analisi effettuate, ed esaminare così il comportamento dei moduli schermanti rispetto ai due periodi considerati. Le analisi fatte sono riferite a ciascuna inclinazione per esaminarne il comportamento generale, tuttavia va ricordato che i dischi ceramici possono cambiare la loro conformazione durante l'arco della giornata, a seconda di come vengono gestiti dall'interno dell'edificio.

Il primo aspetto che si vuole evidenziare è relativo ai valori ottenuti dal calcolo delle radiazioni incidenti, che, per tutte le inclinazioni studiate, durante l'anno risultano sempre maggiori rispetto ai sette mesi più caldi. Nel periodo più soleggiato, infatti, i raggi sono più alti e verticali, e tendono a essere schermati maggiormente rispetto al periodo invernale, durante il quale i raggi, più bassi e orizzontali, riescono a penetrare in parte all'interno dell'edificio. Da questo si può dedurre che il modulo schermo le radiazioni in maniera più efficace durante il periodo più caldo e soleggiato dell'anno, e consente l'ingresso di una parte delle radiazioni durante il periodo più freddo, rispecchiando così gli obiettivi del progetto.

La seconda considerazione è relativa alle inclinazioni analizzate. I primi due casi hanno un comportamento molto simile e per entrambi i periodi considerati i valori ottenuti si muovono attorno al 50-60% di radiazioni schermate. La loro conformazione consente di non avere grosse differenze in un'esposizione a sud, e se in un caso vengono schermate maggiormente le radiazioni provenienti da sud-est, nell'altro caso viene schermato l'ingresso di quelle provenienti da sud-ovest; i valori medi finali sono abbastanza omogenei.

La terza inclinazione, seppur simile per comportamento alle due precedenti, è quella che consente di schermare in maniera più efficace e uniforme le radiazioni estive. Le lamelle orizzontali durante i 7 mesi bloccano circa il 60% delle radiazioni, durante l'anno intero un po' più del 50%. Queste tre conformazioni consentono di schermare le radiazioni e allo stesso tempo di spaziare con la vista verso l'esterno dell'edificio.

La quarta inclinazione è quella che, in entrambi i periodi analizzati, blocca la maggior

parte delle radiazioni, arrivando a schermarne più del 70%. La quinta inclinazione, al contrario, consente sempre l'ingresso dei raggi solari, e di conseguenza registra i valori più alti di incidenza delle radiazioni, che arrivano a superare il 60%, schermandone circa il 40-50%.

Riassumendo i dati ottenuti dal software:

Inclinazione 1 - dischi diagonali (1):

Radiazioni incidenti 12 mesi: **48 e 51 %**

Radiazioni incidenti 7 mesi: **42 e 45 %**

Inclinazione 2 - dischi diagonali (2):

Radiazioni incidenti 12 mesi: **47 e 53 %**

Radiazioni incidenti 7 mesi: **41 e 45 %**

Inclinazione 3 - dischi orizzontali:

Radiazioni incidenti 12 mesi: **45 e 46 %**

Radiazioni incidenti 7 mesi: **38 e 37 %**

Inclinazione 4 - dischi abbassati:

Radiazioni incidenti 12 mesi: **32 e 32 %**

Radiazioni incidenti 7 mesi: **28 e 26 %**

Inclinazione 5 - dischi alzati:

Radiazioni incidenti 12 mesi: **56 e 65 %**

Radiazioni incidenti 7 mesi: **51 e 59 %**

Poiché le ultime due configurazioni sono quelle che permettono l'ingresso della quantità rispettivamente minore e maggiore di raggi all'interno dell'edificio, consentono anche di calcolare la mole di radiazioni che il modulo, nelle varie inclinazioni e per entrambi i periodi considerati, consente di gestire, ovvero il *range* di radiazioni che l'utente, durante l'anno, può governare dall'interno per il soddisfacimento delle proprie necessità.

Range radiazioni 12 mesi: **24 e 33 %**

Range radiazioni 7 mesi: **23 e 33 %**

La differenza tra i valori dei due periodi analizzati è praticamente inesistente. Si può concludere che in media, durante l'anno e durante il periodo più soleggiato, il modulo nelle cinque inclinazioni principali può governare una percentuale di radiazioni solari che varia tra il 23-24% e il 33%, il primo risultato ottenuto senza considerare le radiazioni che incidono alla base del modulo, il secondo dato riferito unicamente alla parte centrale del modulo.

Tutti i fattori analizzati si ripercuotono inevitabilmente sul comfort interno dell'edificio, che è l'obiettivo per il quale l'uso della schermatura è pensato oltre che per contribuire al risparmio energetico complessivo dell'edificio. Anche a tal proposito ci sono alcune considerazioni da fare.

Innanzitutto il modulo, come scritto nelle prime pagine di questo paragrafo, è distaccato rispetto all'edificio di 30 centimetri, separazione che consente di evitare il surriscaldamento della facciata, che rimane così protetta. L'incidenza delle radiazioni infatti, concentrandosi sulla struttura e sui dischi della schermatura, arriva consistentemente ridotta sulla superficie del fabbricato, contribuendo anche in questo aspetto al comfort termico. Un surriscaldamento minore delle superfici dell'edificio riducono la necessità di avvalersi di supporti elettrici per la climatizzazione e di conseguenza a una riduzione dei dispendi energetici e dei costi ad essi legati.

Un altro aspetto che influisce positivamente sul comfort interno è, come accennato precedentemente, il fatto che una schermatura di questo tipo consente di regolare il flusso delle radiazioni in entrata e allo stesso tempo garantire una visuale sull'esterno, non possibile con l'uso di una normale tenda. Questo contatto costante con l'ambiente esterno influisce positivamente su come gli utenti vivono l'edificio, rendendo gli spazi più piacevoli e accoglienti, senza rinunciare alle performance in termini di comfort termico e luminoso.

CARATTERISTICHE MODULO



CERAMICA STAMPA 3D



COMPOSIZIONE A INTRECCIO



MODULO RIPETIBILE



VERSATILITÀ



INCLINAZIONI DIFFERENTI



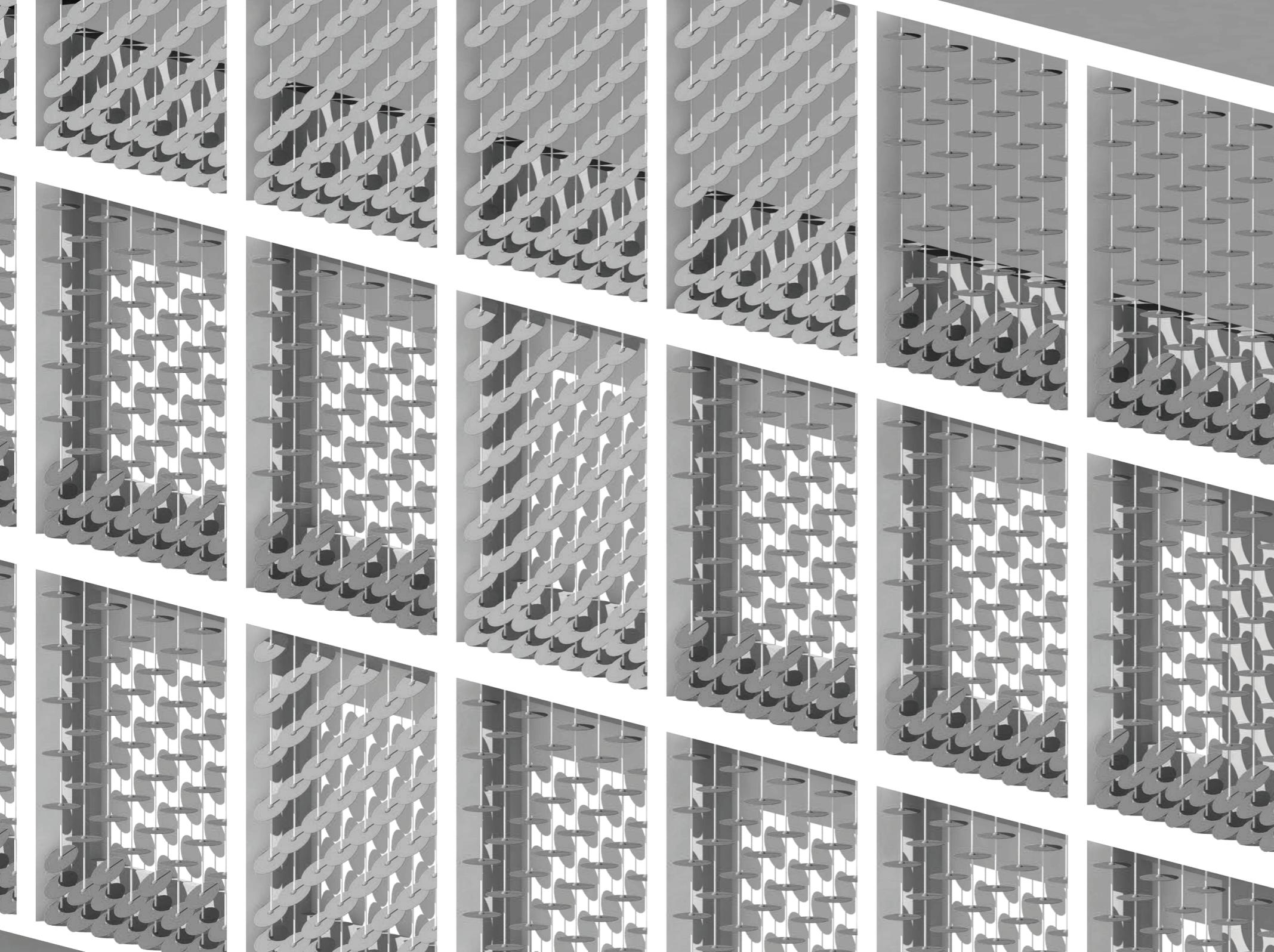
COMFORT TERMICO



CONTATTO CON L'ESTERNO



GOVERNABILE DALL'UTENTE



6

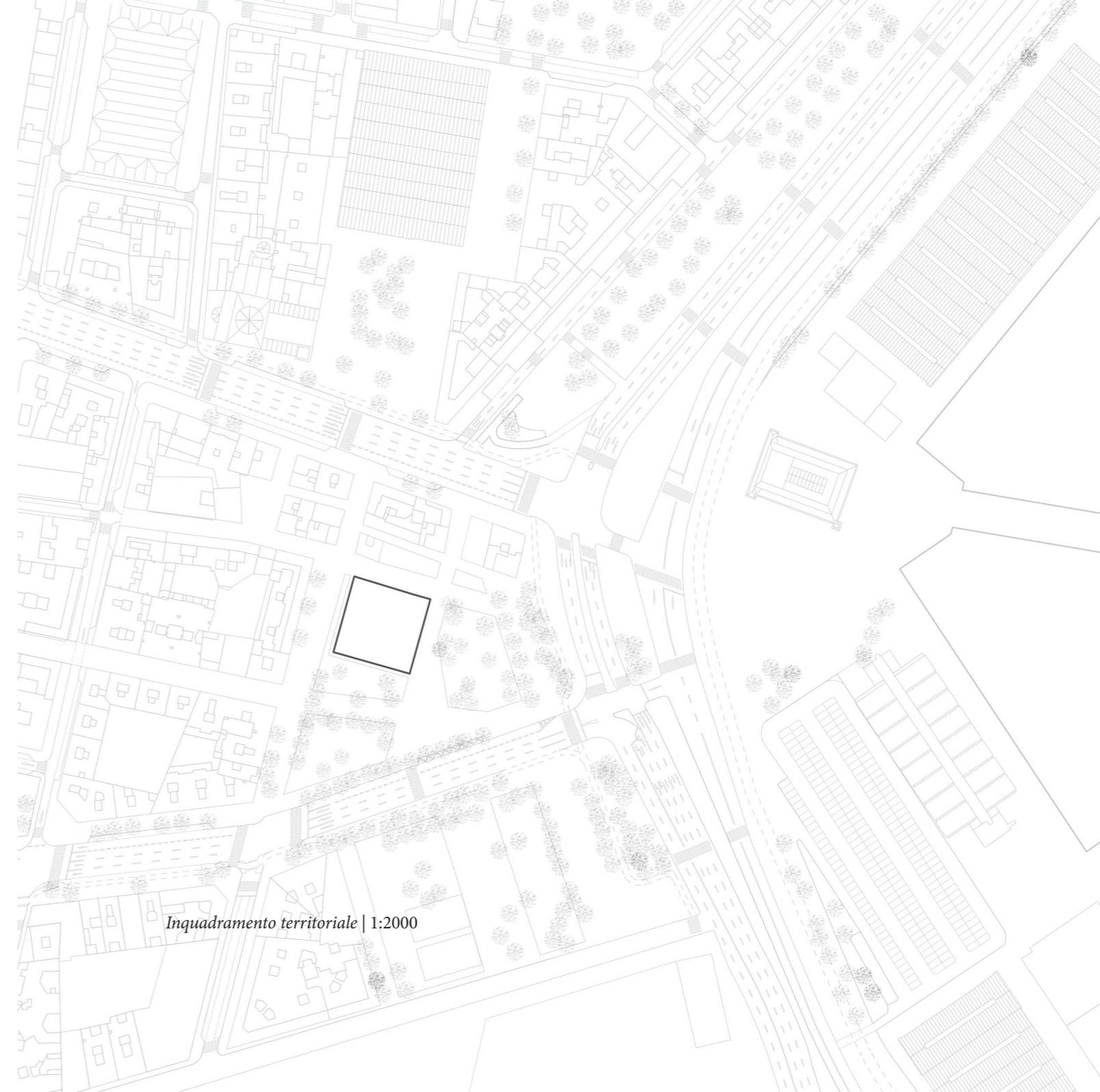
APPLICAZIONE
A UN CASO
STUDIO

Vista sul progetto, prospetto sud

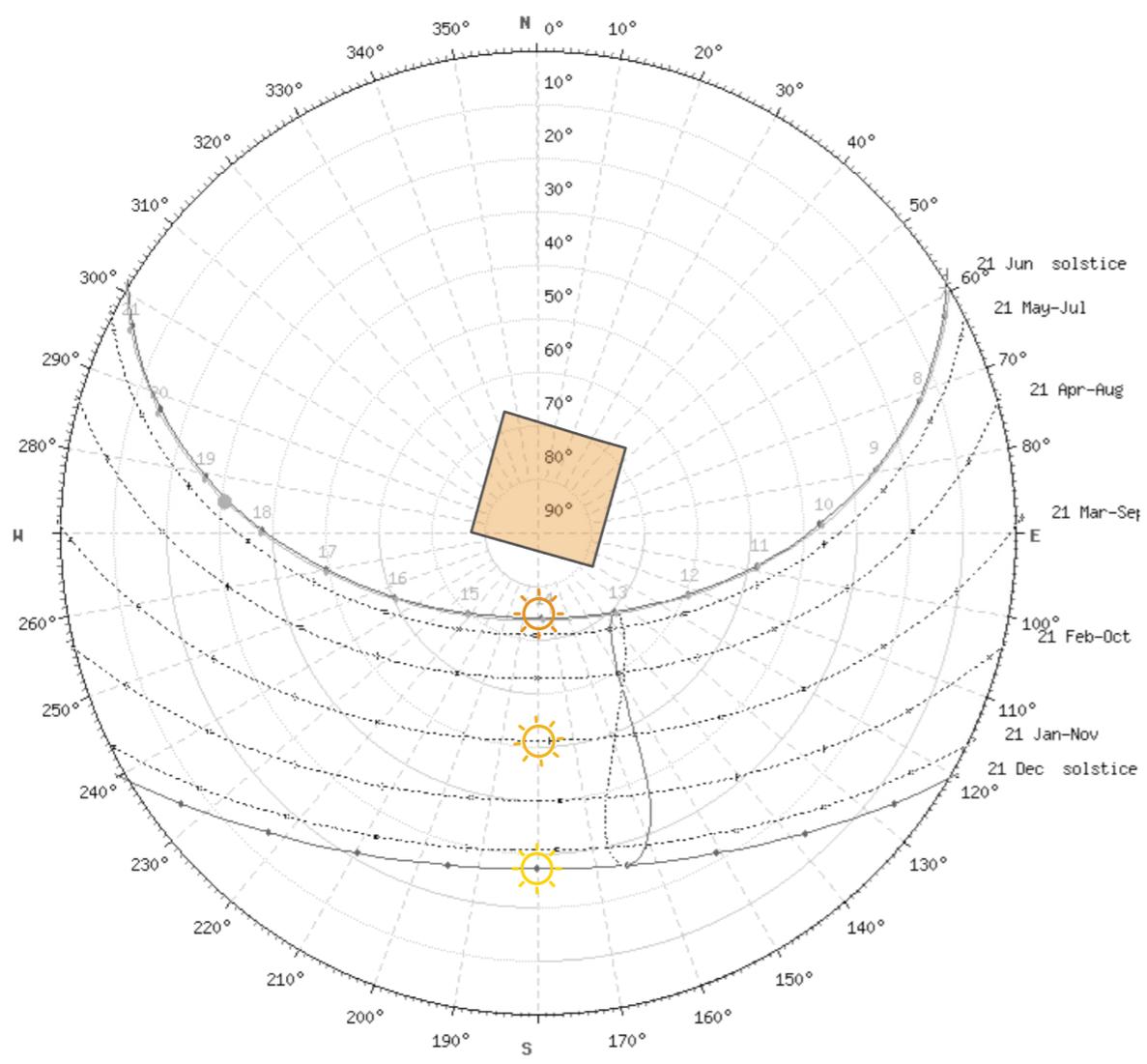
Per mostrare un'applicazione del modulo trattato nel capitolo precedente è stato scelto un caso studio ubicato a Valencia, che consiste nella nuova sede per il Green Building Council dei paesi che affacciano sul Mediterraneo (GBCm). Poiché il World Green Building Council è la più grande organizzazione internazionale che si occupa del mercato delle costruzioni sostenibili, si è pensato che l'applicazione del modulo a questo progetto potesse essere ben contestualizzata.

Anche il contesto valenciano, per caratteristiche ambientali e culturali, risulta particolarmente adatto per l'applicazione del modulo. La città infatti gode di un clima mediterraneo, con inverni miti e poco piovosi ed estati calde e soleggiate, appropriato per l'utilizzo di elementi schermanti. Valencia inoltre, come tutta la Spagna, vanta una cultura fortemente legata alla ceramica, tutt'ora in continua evoluzione ed espansione soprattutto per quanto riguarda il mondo architettonico e in particolare delle schermature ceramiche, sempre più diffuse in tutto il territorio spagnolo. Per quanto, infatti, il modulo sia stato pensato per essere adattabile a molte situazioni, è essenziale che venga sempre adeguatamente contestualizzato.

Il lotto del progetto è situato nella zona portuale della città, più nello specifico nel Grau, un quartiere con origini antiche di carattere commerciale e industriale, inevitabilmente legato alle attività del porto. Il terreno si trova in uno snodo importante dell'area, un punto dove si incrociano alcune delle vie principali della città: Avinguda del Port, Avinguda Manuel Soto, Carrer de Joan Verdeguer. L'esposizione est e sud sono totalmente libere dalla presenza di edifici, e di conseguenza le più esposte alla radiazione solare diretta. Il progetto non verrà trattato in maniera dettagliata in tutti i suoi aspetti in quanto non è l'oggetto del lavoro, ma verranno fornite quelle informazioni utili per contestualizzare l'applicazione del modulo.



Inquadramento territoriale | 1:2000



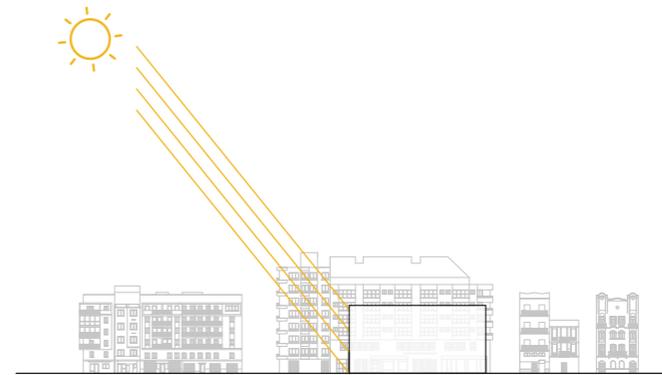
Carta solare - Grafico polare | da Sunearthtools

Sud
Solstizio d'inverno



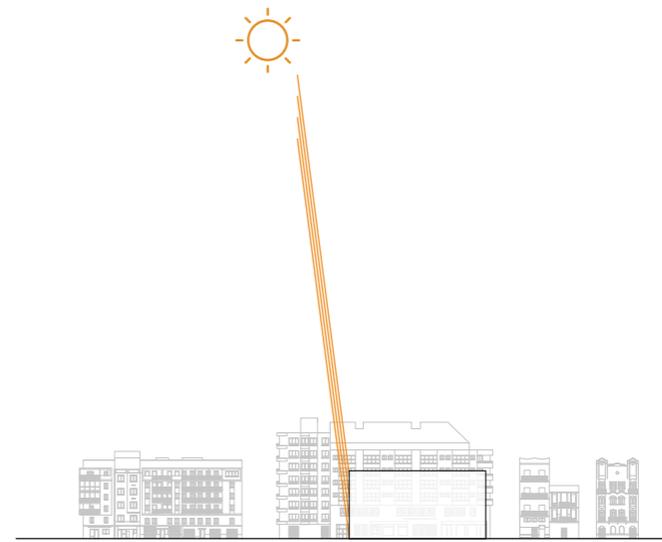
h 14:00
Inclinazione: 28°

Sud
Equinozi



h 14:00
Inclinazione: 51°

Sud
Solstizio d'estate



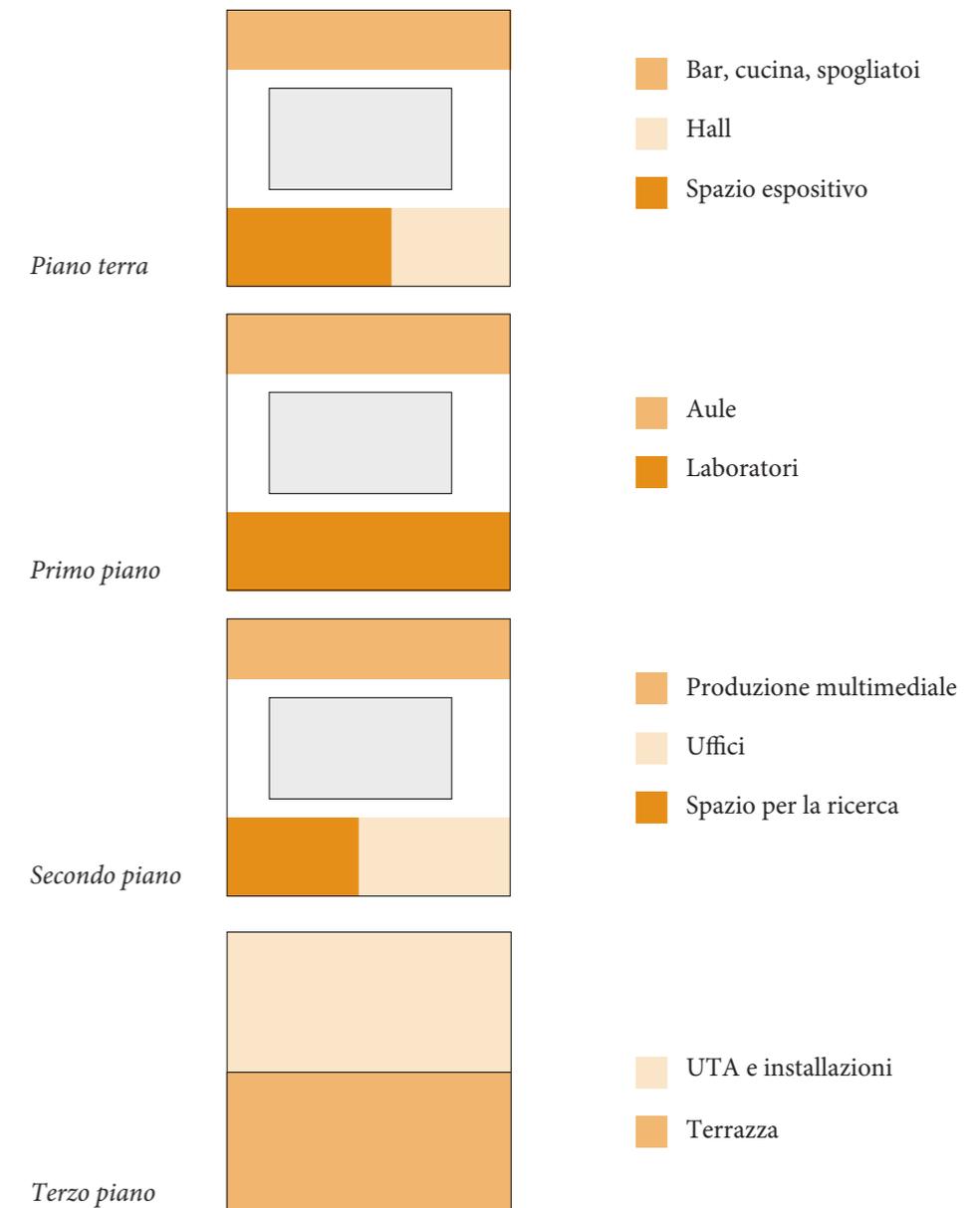
h 14:00
Inclinazione: 83°

L'edificio presenta una forma regolare che si adatta alle linee del contesto urbano. L'interno ospita varie funzioni tutte dedicate alle attività di sviluppo e promozione degli obiettivi del Green Building Council, dalla formazione, all'innovazione, alla divulgazione e tante altre, aspetto che richiede necessariamente spazi dinamici e modificabili nel tempo.

Le attività dell'associazione sono suddivise su tre piani, piano terra, primo piano e secondo piano, mentre l'ultimo piano, il terzo, aperto, è interamente dedicato alla UTA e alla terrazza. L'organizzazione interna dei piani segue uno schema preciso e uguale per tutti: la parte centrale è dedicata alla distribuzione verticale (scale e ascensori) e orizzontale (corridoi), ai bagni, allo stoccaggio e agli spazi per le installazioni di elettricità, acqua e ventilazione; gli spazi che fiancheggiano longitudinalmente la parte centrale, esposti a sud e nord, sono quelli che ospitano le attività, dunque gli spazi del lavoro e della produzione.

Nel primo paragrafo è stato accennato che le esposizioni sud ed est sono quelle più soggette all'incidenza delle radiazioni in quanto libere da qualunque ostacolo. Gli spazi a sud (verrà considerato sud anche se l'esposizione corretta sarebbe tra sud e sud-ovest) sono quelli che ospitano la maggior parte degli spazi lavorativi e sono anche i più esposti alle radiazioni durante l'arco della giornata. Anche la facciata est è molto esposta alle prime radiazioni del giorno, mentre quella ovest risulta per la gran parte del giorno ombreggiata dagli edifici circostanti, dunque la schermatura per questa esposizione non risulta essenziale.

Anche l'ultimo piano, che ospita la terrazza e gli impianti dell'UTA, verrà rivestito con la schermatura per dare continuità all'involucro con la parte sottostante e ridurre l'inquinamento acustico.





Pianta | scala n.d.

218



Sezione | scala n.d.

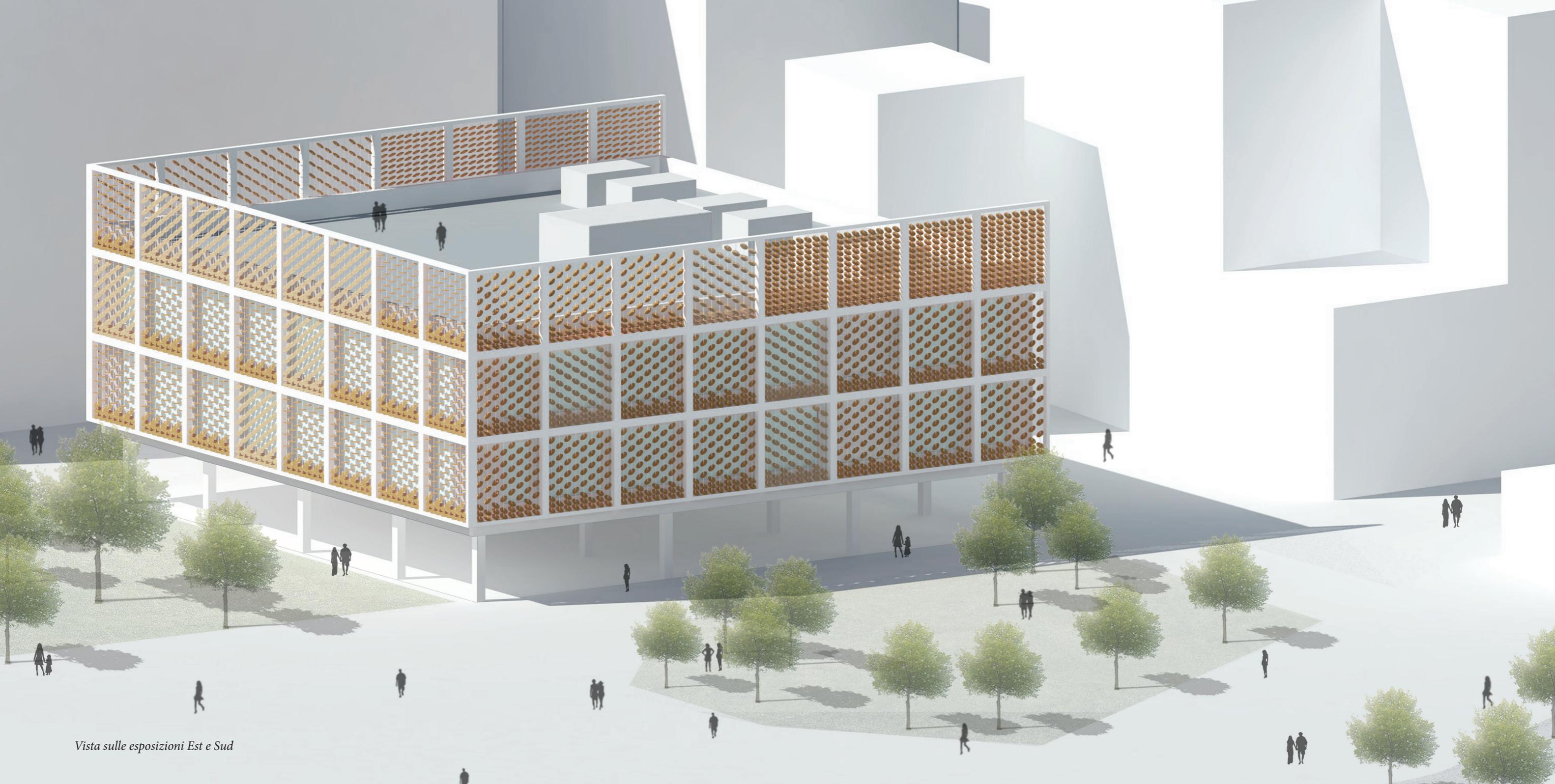
219



Prospetto Sud | 1:200



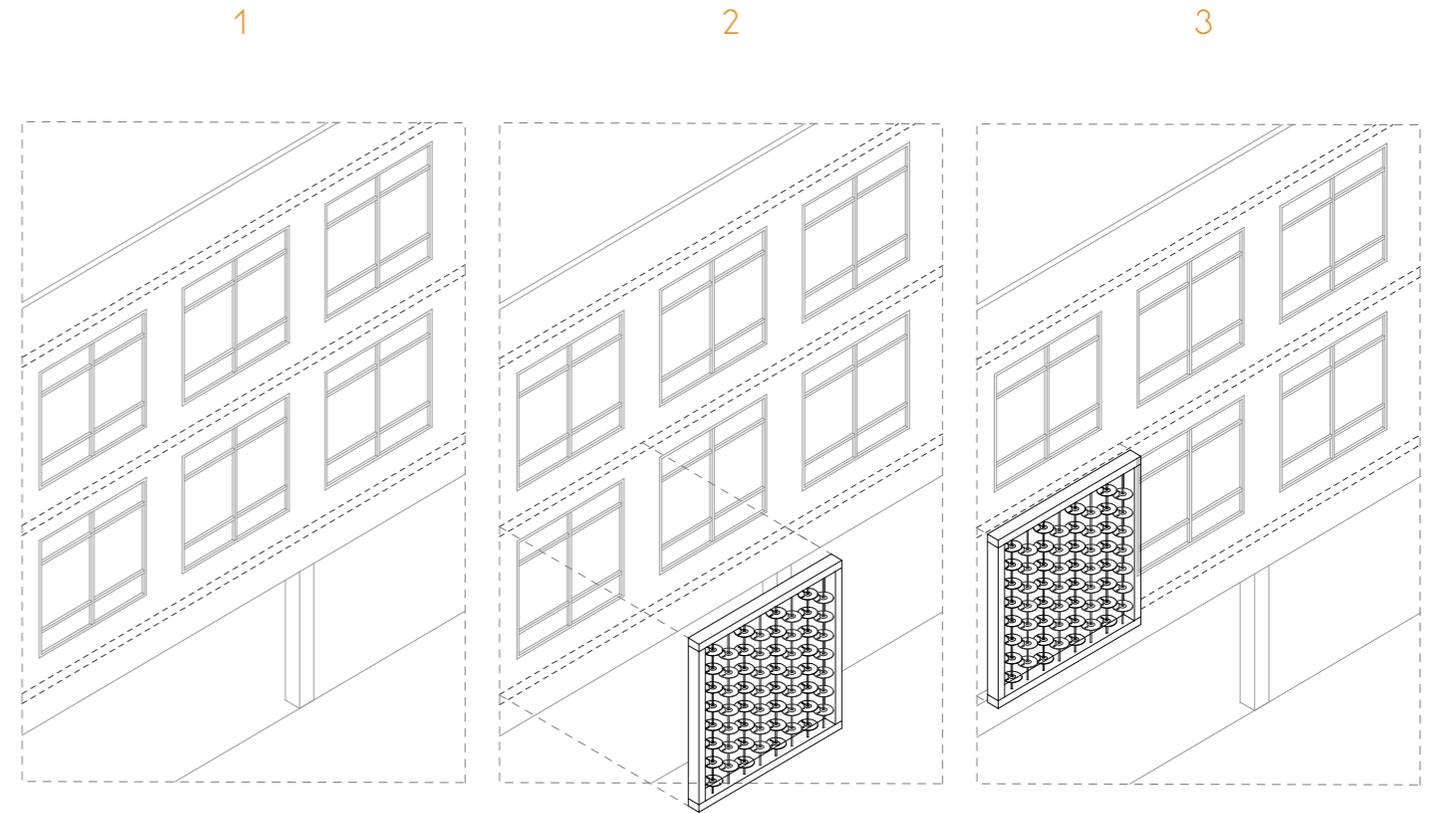
Prospetto Est | 1:200



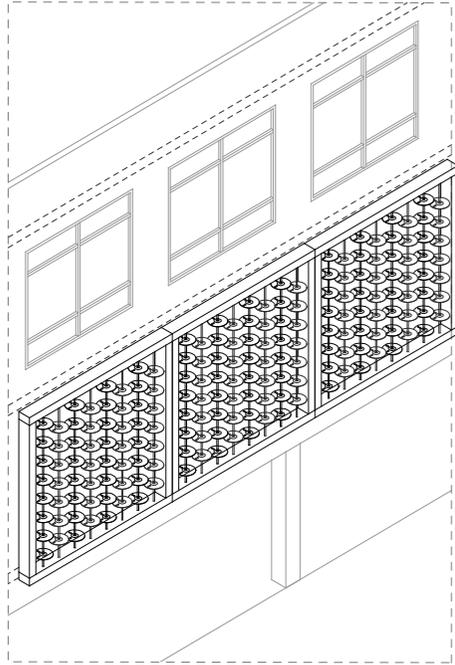
Vista sulle esposizioni Est e Sud

Come specificato nel paragrafo 5.2., una delle caratteristiche della schermatura progettata è la leggerezza, che consente di agganciare i moduli all'edificio senza avvalersi dell'uso di montanti. Queste considerazioni valgono per l'adattamento della schermatura a edifici che possono supportarne il peso, e non viene esclusa la possibilità di utilizzare strutture differenti che consentano di scaricare il peso della schermatura direttamente a terra per mezzo di montanti. L'aggancio rimane così un aspetto specifico di ciascun caso al quale il modulo viene adattato, risolvibile in diversi modi e, di conseguenza, non interpretato in maniera univoca.

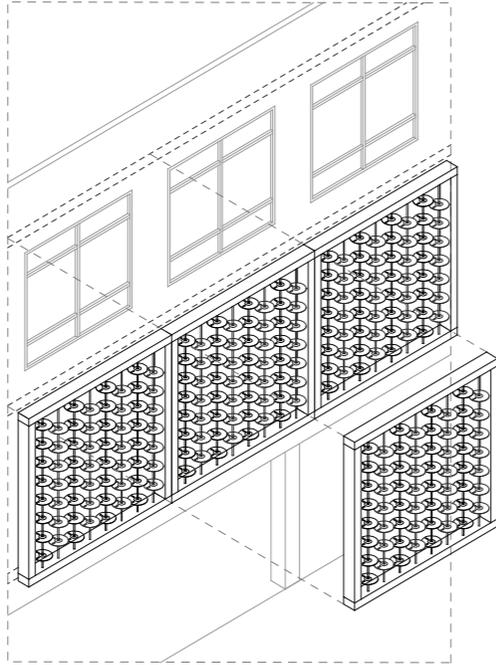
Nel caso del progetto trattato si suppone che l'edificio possa sostenere il peso della schermatura senza l'ausilio di montanti. L'aggancio tra la struttura dei moduli e la struttura del fabbricato avviene in corrispondenza dei solai, dove sono presenti una serie di elementi di collegamento ai quali i moduli si fissano nella parte inferiore e superiore. Il montaggio dei moduli avviene dal basso verso l'alto, come mostrato nelle sequenze delle prossime pagine, e tra un modulo e l'altro vengono inseriti dei "cuscinetti" per evitare il contatto diretto tra le strutture quadrangolari.



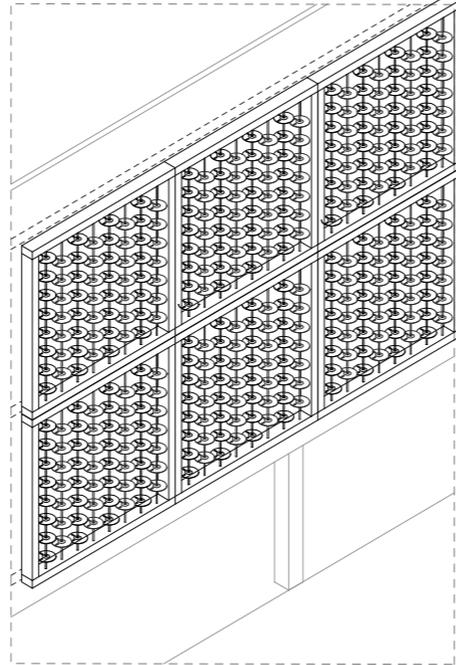
4



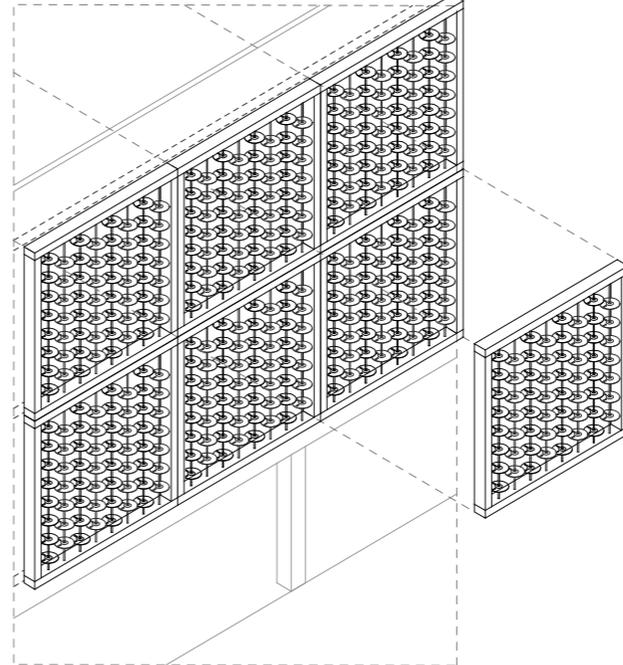
5



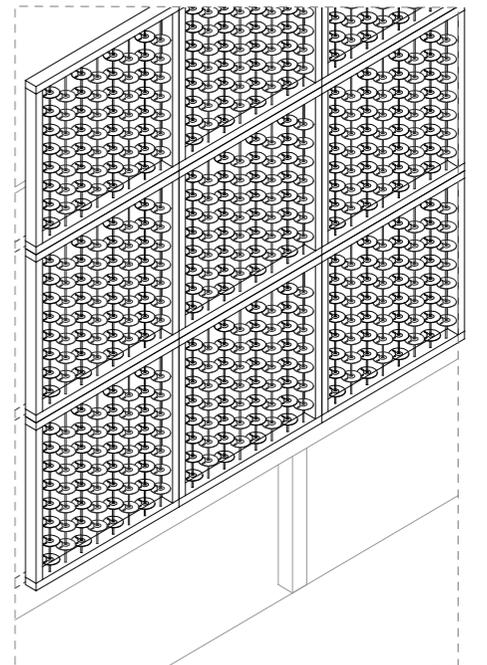
6

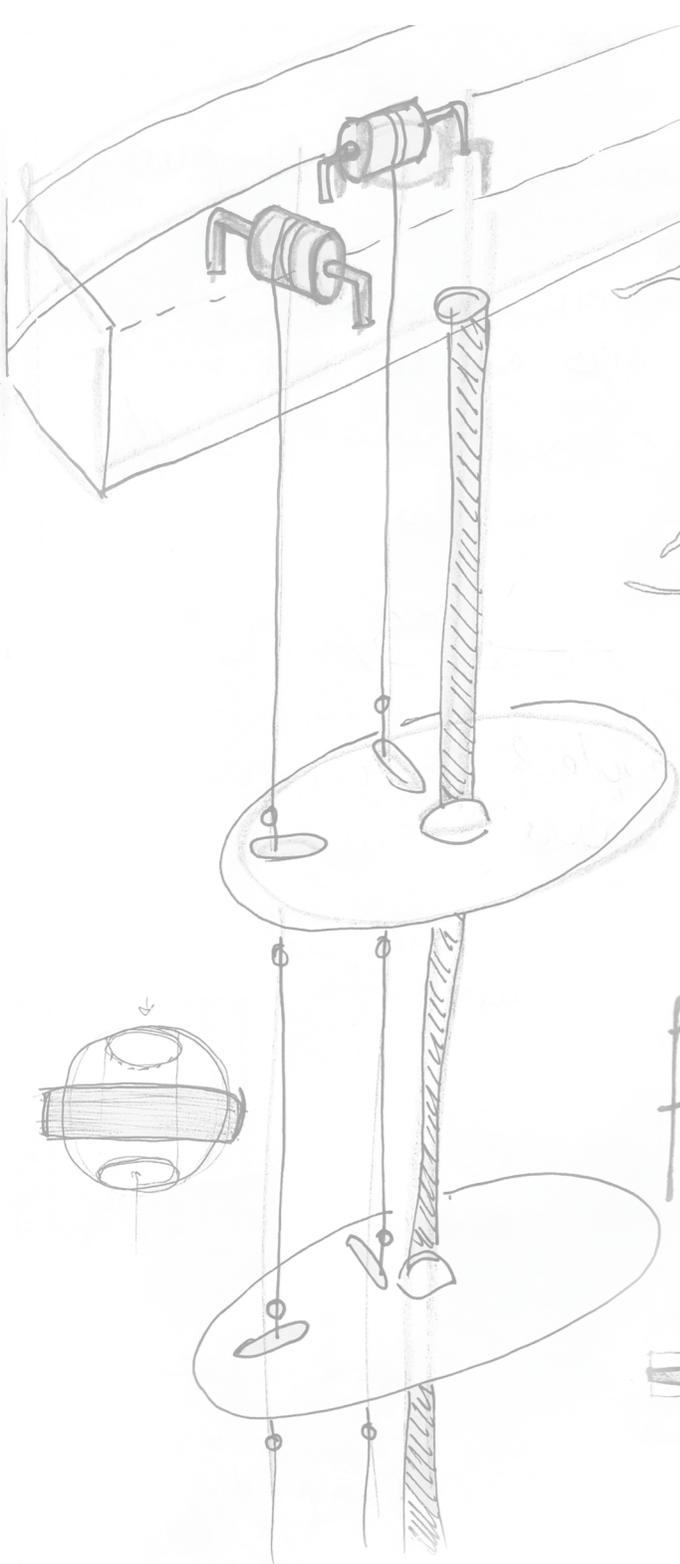


7



8

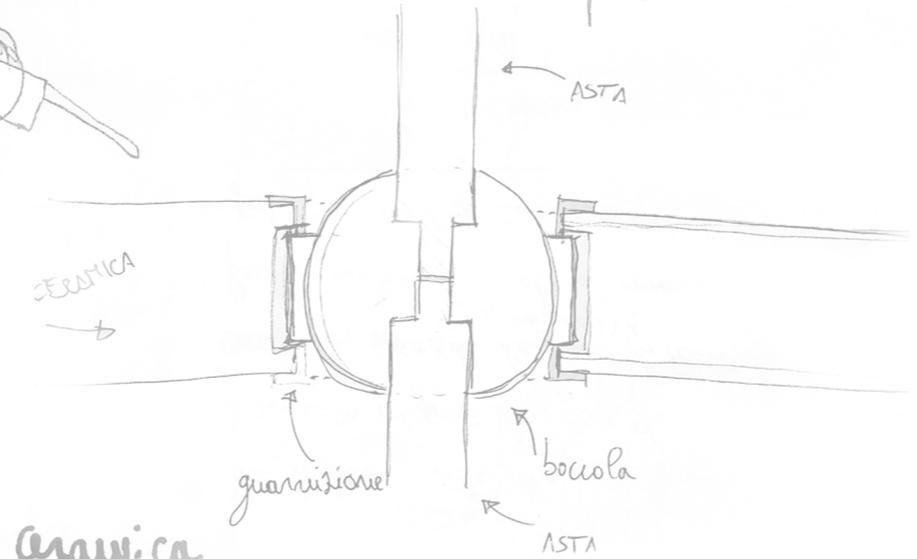




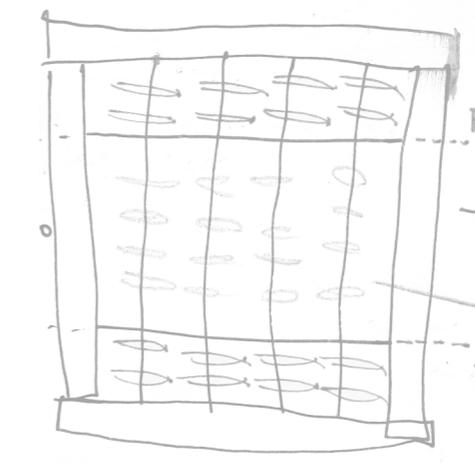
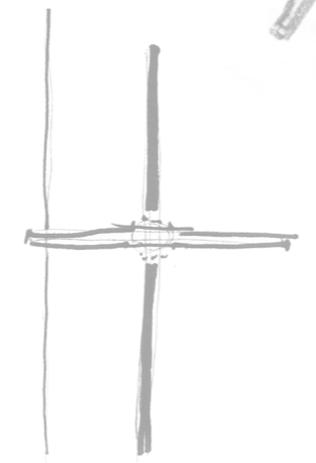
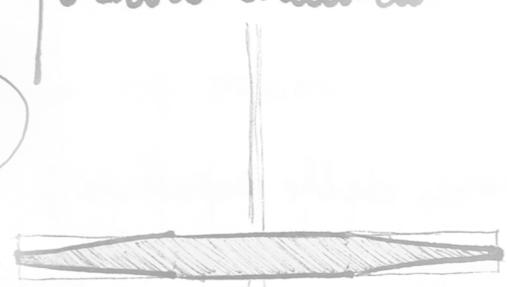
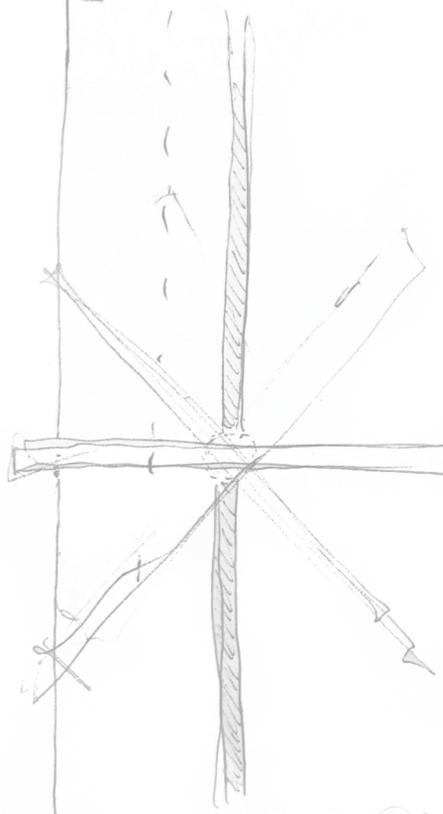
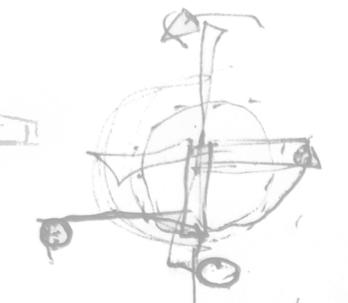
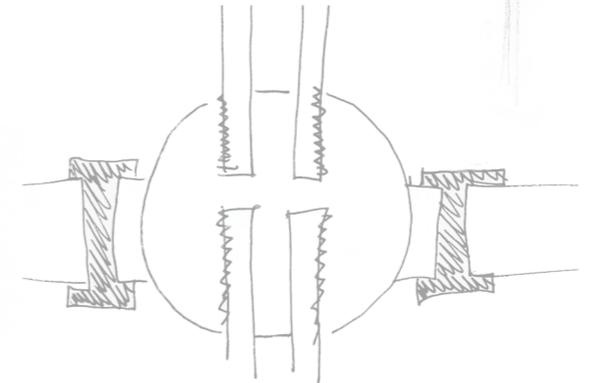
CERAMICA = trave
ACCIAIO = ordito

la sfera rimane fissa

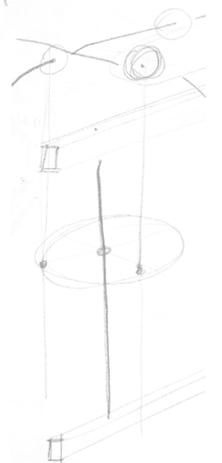
fora ceramica



rivestimento di gomma



→ TRAVE
FISSI
→ MONTANTI
MOBILI
FISSI



CONCLUSIONI

Partendo dalle considerazioni fatte nel primo capitolo, che sottolineano la necessità di perpetuare uno sviluppo che rispetti l'ecosistema e risulti quanto meno impattante dal punto di vista ambientale, il presente lavoro di Tesi è stato sviluppato senza mai perdere di vista questo obiettivo, utilizzandolo come punto di riferimento durante tutto il percorso.

La combinazione di tessile e ceramica e le peculiarità che caratterizzano queste due pratiche, tanto distinte ma accomunate da un'origine antichissima, si sono rivelate essenziali nel determinare i tratti più distintivi del modulo di schermatura solare, oltre che per il perseguimento degli obiettivi precedentemente citati. I benefici che ne derivano sono molteplici. Innanzitutto la versatilità, compositiva e formale, che caratterizza le due tematiche rende la schermatura estremamente variabile ed eterogenea. La composizione a intreccio - che determina l'assemblaggio dei pezzi variabile e modificabile nel tempo, la reversibilità del modulo, la possibilità di smontaggio e una facile manutenzione dei pezzi - contribuisce all'ottimizzazione della produzione e consente il possibile riutilizzo delle componenti in futuro. L'uso della ceramica, un materiale naturale, longevo e resistente, prodotto con le tecniche della stampa 3D, permette un consistente risparmio di materiale e, in generale, un basso impatto ambientale nella produzione dei pezzi. Le recenti innovazioni, inoltre, permettono l'impiego di miscele autopulenti o capaci di ridurre gli agenti inquinanti presenti nell'aria, arricchendo il ruolo del materiale nel contesto progettuale.

Per quanto riguarda invece la funzione della schermatura, il controllo delle radiazioni solari incidenti ha una ricaduta importante sul bilancio energetico dell'edificio in quanto riduce la necessità di ricorrere ad apparecchiature tecnologiche supplementari per il comfort termico interno. La possibilità di regolare ciascun modulo indipenden-

temente da parte dell'utente contribuisce al rispetto delle esigenze dei singoli individui, mentre l'opportunità di schermare i raggi solari con elementi che consentono contemporaneamente la vista sull'esterno favorisce una piacevole percezione degli spazi, e influisce sul benessere psicologico dei fruitori.

Infine, l'aspetto esteriore dei moduli accostati tra loro conferisce carattere forte e uniformità all'edificio, e la possibilità di applicare colorazioni differenti ai pezzi ceramici favorisce l'integrazione della schermatura e dell'edificio con il contesto circostante.

Intreccio e ceramica vogliono essere interpretati come una forza del passato che viene proiettata nel futuro, per dare forma a una soluzione architettonica che possa contribuire a rispondere agli impellenti problemi ambientali e alle esigenze di comfort interno dei fruitori degli edifici, proponendo una soluzione innovativa nel campo delle schermature ceramiche tessili. Il lavoro di Tesi si propone come l'inizio di un percorso che può essere ulteriormente studiato e approfondito, al fine di garantire un'efficacia del modulo progettato a 360 gradi e un'applicabilità a contesti sempre più numerosi e diversificati.

Un primo ringraziamento va al Professor Pollo, Relatore della Tesi, per avermi guidata in questo percorso con vivo e pieno interesse, e per avermi sempre spronata a spingere il lavoro verso nuovi traguardi.

Grazie infinite a Matteo Giovanardi, Correlatore, per avermi seguita durante l'intero sviluppo della Tesi con estrema costanza e disponibilità, fornendo un supporto essenziale per la stesura del lavoro e per il raggiungimento dei risultati finali.

Grazie infinite a Matteo Trane per gli immancabili e preziosi consigli, e per l'aiuto e la solidarietà dimostrati fin dal primo momento.

Mai avrei pensato che un percorso di Tesi potesse essere così piacevole.

Un doveroso ringraziamento va alle persone che mi sono state vicine in questi ultimi mesi e non solo, alla mia famiglia, sempre presente e disponibile, e ai miei amici sparsi per il mondo, distanti ma sempre vicini nel condividere consigli ed esperienze.



“Un ago entra ed esce da qualcosa lasciandosi dietro un filo, segno del suo cammino che unisce luoghi e intenzioni. Le cose unite restano integralmente quelle che erano, solo attraversate da un filo.”

Maria Lai

BIBLIOGRAFIA

TESTI E ARTICOLI

Acocella A., (2005). Involucri in cotto : sistemi innovativi per il rivestimento in architettura. *Sannini Impruneta, Sannini Project, Ferrone.*

Aelenei D., Aelenei L., & Pacheco Vieira C., (2016). Adaptive Façade: concept, applications, research questions. SHC 2015, International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry. *Energy Procedia, 91, pp.269-275.*

Aliprandi G., Milanese M., (1986). La ceramica europea. Introduzione alla tecnologia, alla storia e all'arte. *Edizioni Culturali Internazionali Genova, Genova.*

Ashraf Fauzi M., Nurhayati A. M., (2013). Green Building assessment tools: evaluating different tools for green roof system. *International Journal of Education and Research, vol.1 n.11, pp. 1-14.*

Associazione Culturale Architetando (a cura di), (2010). Equivivere: per un'architettura sostenibile. *Il Poligrafo, Padova.*

Bernat E., Gila L., Rocab P., Sarrabloc V., Escriga C., (2013). Structural characterisation of textile ceramic technology used as a curtain wall. *Engineering Structures, 57, pp. 277-288.*

Bertolini L., Gastaldi M., (2011). Introduzione ai materiali per l'architettura. *CittàStudi, Torino.*

Bertozzi P., Ghini A., Guardigli L.,(a cura di), (2010). Le forme della tradizione in architettura. Esperienze a confronto. *FrancoAngeli, Milano.*

Biraghi M., (2008). Storia dell'architettura contemporanea I, 1750-1945. *Einaudi, Torino.*

Bonvicini G., Resca R., Bignozzi M.C., (2018), Centro Ceramico Bologna. Impatto ambientale, ceramica a livelli di eccellenza. *Ecoscienza, 2, pp.40-41.*

Canetti A., (2018), Confindustria Ceramica. Produzione ceramica e prospettive di sviluppo. *Ecoscienza, 2, pp.36-37.*

Caruso N., (2003). Ceramica viva. *Terza edizione, Hoepli, Milano.*

Ceppa C., Lerma, B., (2014). Towards conscious design. Research, environmental sustainability, local development. Verso una progettazione consapevole. Ricerca, sostenibilità ambientale, sviluppo locale. *Programma Alcotra 2007-2013.*

Collotti F., (2002). Appunti per una teoria dell'architettura. Con una raccolta di testi su architetture e città. *Quart Edizioni Lucerna.*

Del Grosso A E; Basso P, (2010). Adaptive building skin structure. *Smart Materials and Structures 19, 1-12.*

Deplazes A., (2005). Constructing Architecture. Material processes structures. A handbook. *Birkhäuser, Basilea- Svizzera.*

Filippi M., Fabrizio E., (2011). Il concetto di Zero Energy Building. *pp. 1-14.*

García-Escudero D., Bardí i Milà B., (2014). Antonio Armesto Aira (ed. y PRÓL.): escritos fundamentales de Gottfried Semper. El fuego y su protección. *Arquitectura e Infraestructura, 13, pp.122-123.*

Giannichedda E., Volante N., (2007). Metodologie di studio della ceramica. Materiali e tecniche di fabbricazione. *Introduzione allo studio della ceramica in archeologia*, pp. 3-32.

Giovine F., (2013). Nascita ed evoluzione dell'involucro. L'involucro edilizio. *Architettura*, NF 388, pp. 60-64.

Herzog T., Krippner R., Lang W., (2005). Atlante delle Facciate. *Grande Atlante di Architettura*, UTET, Torino.

Jones P., Shan Shan Hou, Xiaojun Li, (2015). Towards zero carbon design in offices: Integrating smart facades, ventilation, and surface heating and cooling. *Renewable Energy* 73, pp.69-76.

Karagül Fatih M., (2004). Usage of the ceramic tiles as exterior coating material in architecture. *Journal of Turkish Ceramics Federation*, 06, pp.105-110.

La Repubblica, (2007). Il pianeta impazzito. *Atlante de La Repubblica*.

Larsson N. K., Cole R. J., (2001). Green Building Challenge: the development of an idea. *Building Research and Information*, n. 29 (5), pp. 336-345.

Loos A., (1972). Parole nel vuoto. *Adelphi, Milano*.

Mario Cucinella architects studio, (2016). Mario Cucinella architects. Creative empathy. *Skira, Milano*.

Niero, M., Hauschild, M. Z., & Olsen, S. I. (2016). Limitations and opportunities of combining Cradle to Grave and Cradle-to-Cradle approaches to support the circular economy. In *10th Convegno dell' Associazione Rete Italiana LCA 2016*.

Panopoulos K. & Papadopoulos A. M. (2017). Smart facades for non-residential buildings: an assessment. *Advances in Building Energy Research* 11:1, pp.26-36.

Paris S., Beccu M., (2008). L'involucro architettonico contemporaneo tra linguaggio e costruzione. *Tipografia Ceccarelli, Grotte di Castro, Viterbo*.

Peterson, S., (1998). Fare ceramica. *Zanichelli, Bologna*.

Pollo, R., (2015). Progettare l'ambiente urbano. Riflessioni e strumenti. *Carocci editore, Roma*.

Premier A., (2012). Dinamic facades and smart technologies for building envelope riquification. *Research Gate*, pp.65-69.

Procházková Z., Gelpí C., París J., Pich Aguilera F., Sarrablo V., (2019). Ceramic skin of Sant Pau Research Institute. *Conference on advanced building skins*, pp.260-270.

Radwan A.H., (2017). Smart Facades. From adaptation with climate, changing esthetical values, till digital drawings on buildings envelope.

Romano R., (2011). Smart Skin Envelope: sistemi di involucro "intelligente". Integrazione architettonica di tecnologie dinamiche e innovative per il risparmio energetico. *Firenze University Press, Firenze*.

Romano R., Aelenei L., Aelenei D., Mazzucchelli E.S., (2018). What is an adaptive facade? Analysis of recent terms and definitions from an international perspective. *Journal of facade design and engineering*, volume 6, number 3, pp.65-76.

Sabatini F., (2007). La decorazione in Semper. Un momento della storia della cultura architettonica nell'Ottocento. *Hortus* 1, pp. 1-3.

NORMATIVE E
REPORTS

Sala M., Romano R., (2011). Innovazione per l'involucro architettonico: Smart Facade per edifici non residenziali. *Techne 02*, pp.158-169.

Schmitthenner, P., Schmitthenner, E. (1988). La forma costruita: variazioni su un tema. *Electa, Milano*.

Sümengen Berker O., (2015). Architecture and Ceramics. *Procedia - Social and Behavioral Sciences 191*, pp.291 – 295.

Direttiva (UE) 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia (rifusione), pp.L 153/13-L 153/35.

Direttiva (UE) 2018/244 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 30 maggio 2018 che modifica da direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia e la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica, pp.L 156/75-L 156/91.

International Energy Agency (IEA), per Global Alliance for Buildings and Construction (GlobalABC), (2019). 2019 Global Status Report for Buildings and Construction. Towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector. *UN environment programme*.

Campanella P. Involucro tessile e comfort ambientale. Potenzialità e limiti delle chiusure a membrana pretesa. Coordinatore: Losasso M., Tutor: Capasso A., Co-tutor: Bellia L., *Dottorato di ricerca in Tecnologia dell'Architettura, XXIII ciclo, Università degli Studi di Napoli "Federico II", a.a. 2010-2011*.

Cossu G. La casa a Wee Lewo. Rappresentazione infografica dell'architettura vernacolare per la comunicazione sociale dei rischi legati alla globalizzazione nelle fasce climatiche tropicali. Relatore: Cicalò E., *Corso di Laurea Magistrale in Architettura, DADU, Università degli Studi di Sassari, a.a. 2018-2019*.

Forni F. Progettare e costruire con l'intreccio: ideazione e sperimentazione di spazi trasformabili per interni. Relatore: Zanelli A., Correlatore: Monticelli C., *Corso di Scienze dell'Architettura, Laurea Triennale, Politecnico di Milano, a.a. 2015-2016*.

Frigo C. Passaluce. Passa-tempo. Linea di illuminazione d'ambiente in porcellana. Relatore: Del Curto B., *Scuola del Design, Corso di Laurea Magistrale in Design del Prodotto per l'Innovazione, Politecnico di Milano, a.a. 2012-2013*.

Miotti M.L. Ceramica digitale, progettare per la stampa 3D in materiale ceramico. Relatore: Levi M., Correlatore: Pacelli F., *Scuola del Design, Corso di Laurea Magistrale in Design & Engineering, Politecnico di Milano, a.a. 2015-2016*.

SITOGRAFIA

1

<https://www.reteclima.it/>
<http://www.comitatoscientifico.org/>
<https://www.confartigianato.it/>
<https://www.qualenergia.it/>
<https://data.worldbank.org/>
<https://eur-lex.europa.eu/>
<https://www.enac.gov.it/>
<https://www.iea.org/>
<https://unric.org/it/>
<https://www.ediltecnico.it/65215/nuova-direttiva-ue>
<https://www.mcarchitects.it/>
<http://www1.lastampa.it/>
<https://ec.europa.eu/>

2

<http://www.treccani.it/>
<https://www.designboom.com/>
<https://www.archdaily.com/>
<https://divisare.com/>
http://www.architetturassile.polimi.it/membrane_scocche/home.htm#
<http://www.vg-hortus.it/>
<https://www.academia.edu/>
<https://www.teknoring.com/wikitecnica/storia/facciata/>
<https://www.teknoring.com/wikitecnica/tecnologia/involucro/>
<https://www.dezeen.com/>
<https://www.flickr.com/>

3-4

<https://www.domusweb.it/>
<https://www.perungiorno.it/vitruvio-de-architectura>
<http://www.architetturadipietra.it/>
<http://www.sardolog.com/>
<https://www.archiproducts.com/>
<http://www.arredodesigncitta.it/la-nascita-dei-primi-grattacielo/>
<https://www.studocu.com/>
<https://www.teknoring.com/>
<https://inspiration.detail.de/japanese-pavilion-at-the-expo-in-hanover>
<https://www.plastecomilano.com/palloni-pessostatici.html>
<https://www.akzero.org/>

<http://www.cumella.cat/>
<http://www.ceramicarchitectures.com/>
<https://www.designboom.com/>
<https://www.picharchitects.com/>
<https://www.archdaily.com/>
<http://www1.lastampa.it/>
<https://cerlovers.com/>
<https://www.arteceramica.it/>
<https://www.stampa3dstore.com/>
<https://www.madeinitalyfor.me/info/evolution-ceramics-human-history/>
<https://www.italforni.it/cuocere-la-ceramica/>
<https://www.flexbrick.net/en/>
<https://www.fratellipellizzari.it/blog/piastrelle-storia>
<http://www.treccani.it/>
<https://www.dezeen.com/>
<https://www.architectural-review.com/>
<https://www.flickr.com/>
<https://vimeo.com/>
<https://anc.masilwide.com/558>

5-6

<https://materialdistrict.com/material/ceramic-textile/>
<https://research.gsd.harvard.edu/maps/>
<http://www.confindustriaceramica.it/>
<https://www.ceramica.info/en/>
<https://www.arketipomagazine.it/>
<https://www.3dwasp.com/stampa-3d-ceramica-wasp-clay/>
<https://www.slideshare.net/Cerame-Unie/european-ceramic-industry-manifesto-20142019-italiano>
<http://cerameunie.eu/>

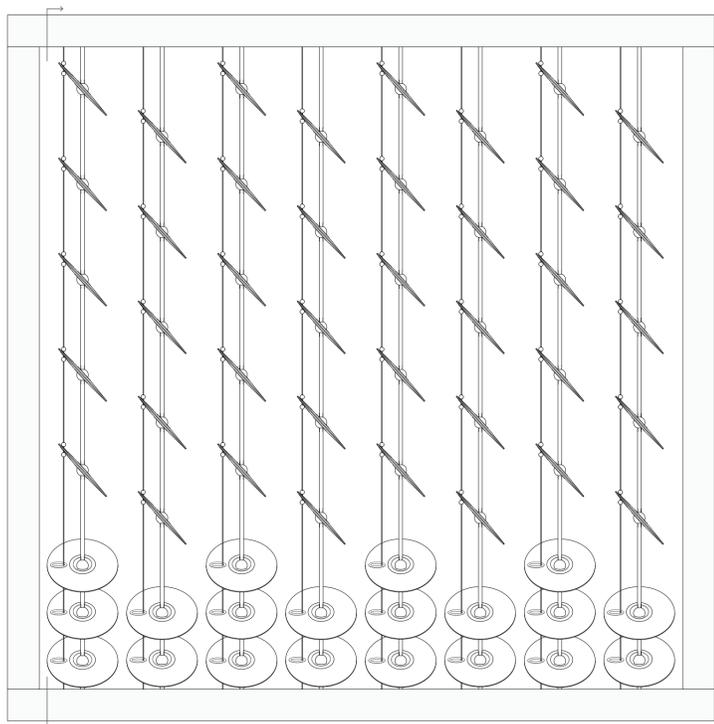
<https://www.oppo.it/>
<https://www.promozioneacciaio.it/UserFiles/File/pdf/sagomario-commerciale/sagomario-commerciale-tubi-circolari-10210.pdf>
<https://www.ladybug.tools/>
<https://www.ladybug.tools/epwmap/>
<https://www.sunearthtools.com/>

ALLEGATI

- 1 **Inclinazioni** | Scala 1:20
- 2 **Ingranaggi** | Scala 1:10
- 3 **Movimenti** | Scala 1:10

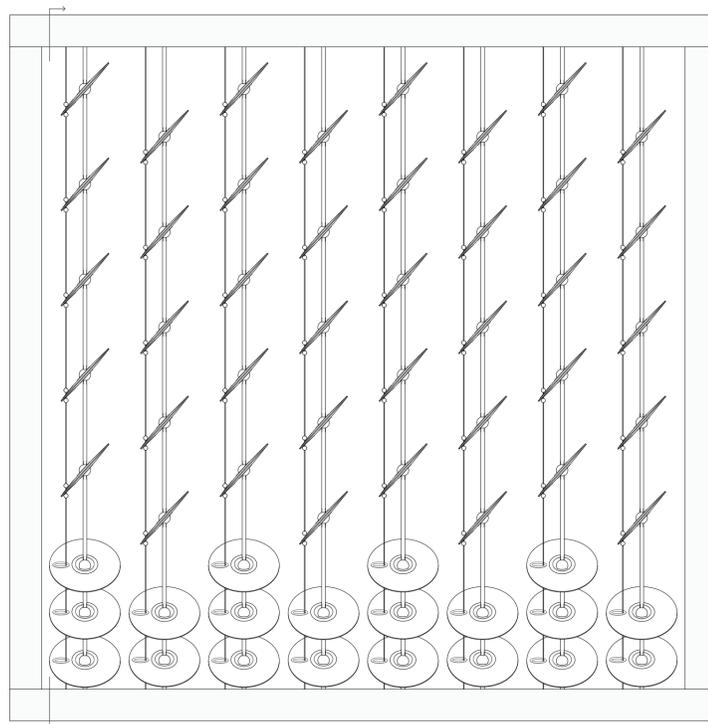


INCLINAZIONE 1



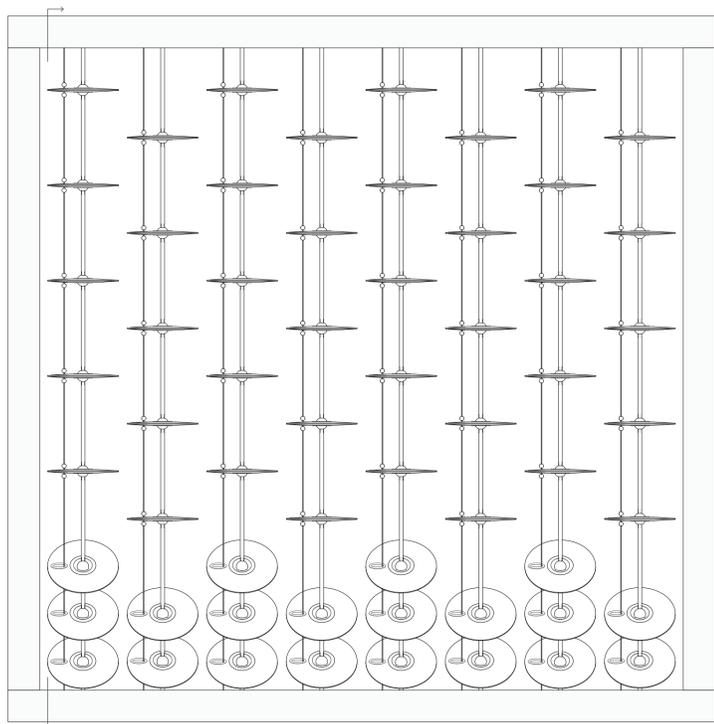
Prospetto e sezione | 1:20

INCLINAZIONE 2



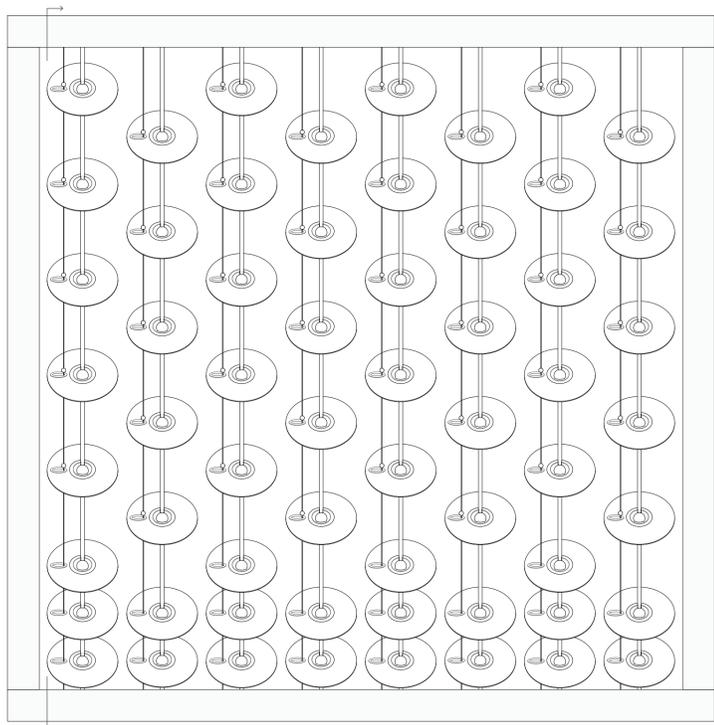
Prospetto e sezione | 1:20

INCLINAZIONE 3



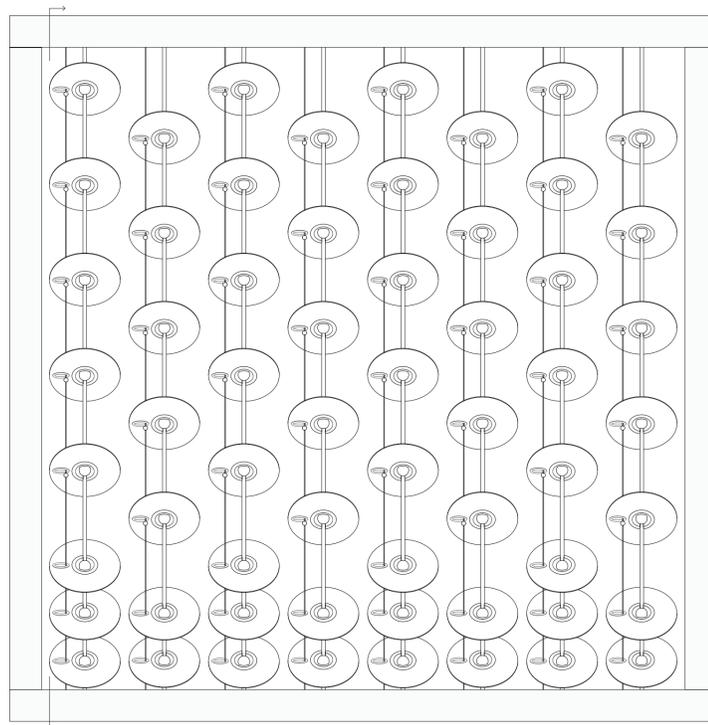
Prospetto e sezione | 1:20

INCLINAZIONE 4



Prospetto e sezione | 1:20

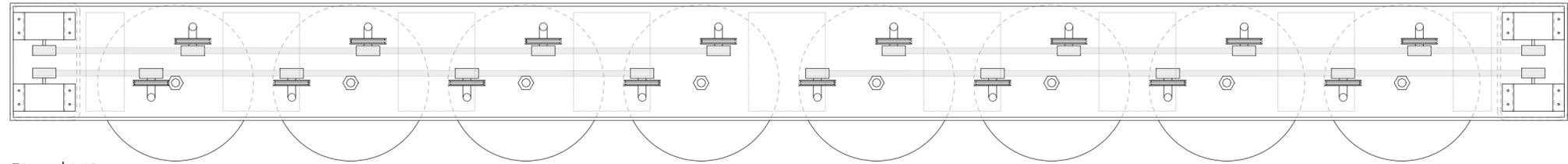
INCLINAZIONE 5



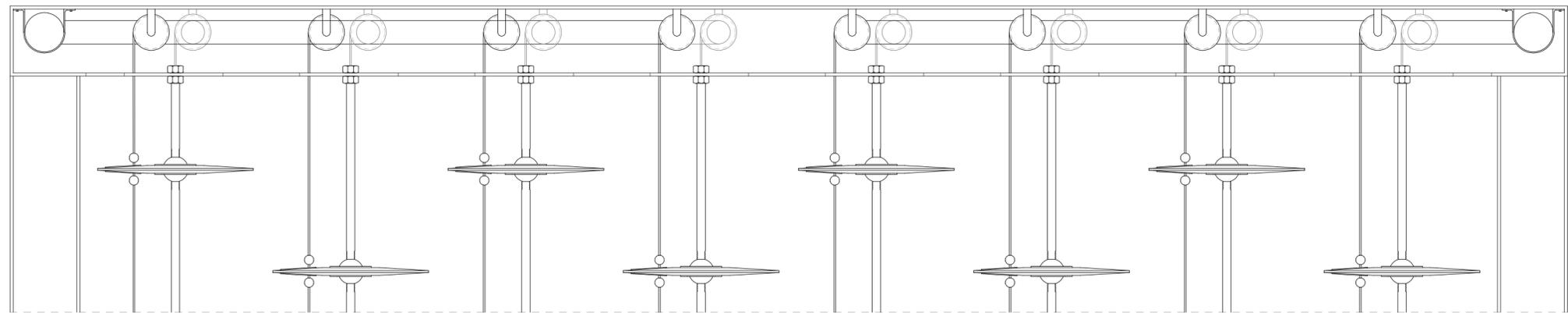
Prospetto e sezione | 1:20



INGRANAGGI SUPERIORI

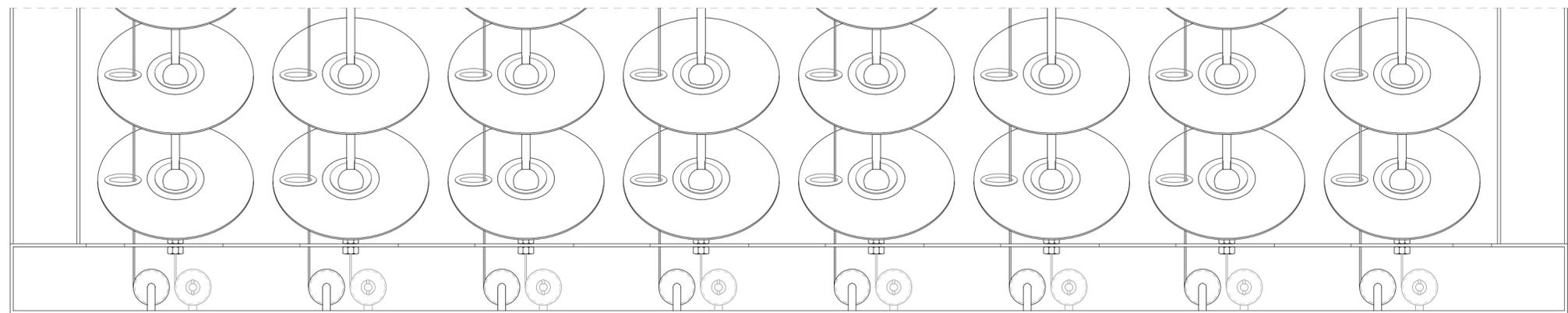


Pianta | 1:10

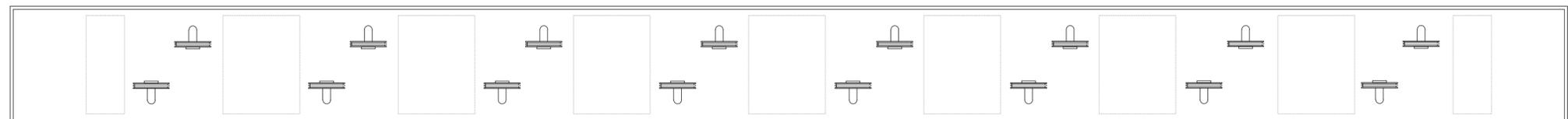


Prospetto | 1:10

INGRANAGGI INFERIORI



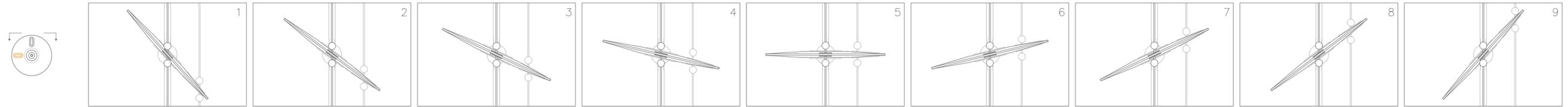
Prospetto | 1:10



Pianta | 1:10

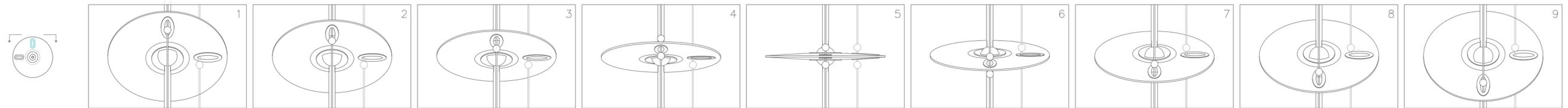


MOVIMENTI PER CAVO 1



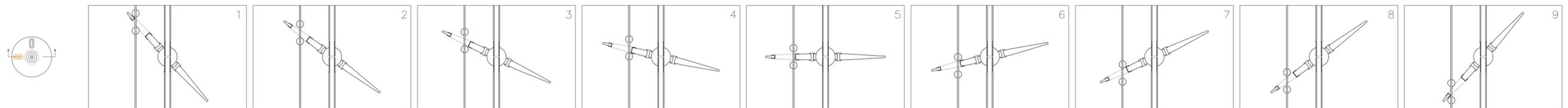
Prospetto | 1:10

MOVIMENTI PER CAVO 2



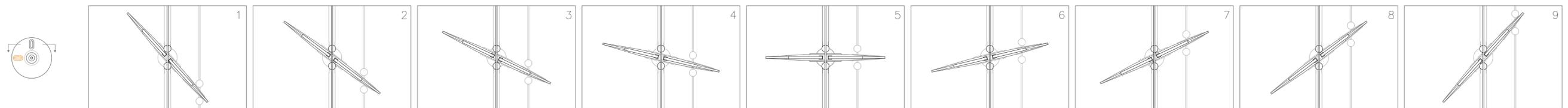
Prospetto | 1:10

MOVIMENTI PER CAVO 1



Sezione su asola 1 | 1:10

MOVIMENTI PER CAVO 1



Sezione su asola 2 | 1:10