RELAZIONE FINALE BORSA DI STUDIO

Strutture in mare per la conversione dell'energia delle onde di mare in energia elettrica

La presente relazione descrive il lavoro svolto durante il periodo relativo alla borsa di studio post-lauream dal titolo "*Strutture in mare per la conversione dell'energia delle onde di mare in energia elettrica.*" La stessa, finanziata mediante l'Accordo di Collaborazione con CARMA Società Agricola A.R.L. - Iniziativa di beneficenza ARTISTSXCARMAXCLIMATECHANGE, ha avuto inizio nel settembre del 2023 e si è conclusa recentemente, dopo essere stata rinnovata. Le attività di ricerca sono state svolte presso il Dipartimento DICEAM dell'Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria sotto la responsabilità scientifica del prof. Felice Arena.

A seguito di una fase iniziale di valutazione, si è scelto di sfruttare questa opportunità di studio per affrontare un tema in passato ritenuto utopico, ma attualmente di estremo interesse per la ricerca e lo sviluppo urbano: la città galleggiante. Le *strutture* galleggianti in mare, oggetto del tema proposto dalla borsa, sono state associate al concetto più generale di *città galleggiante*, diventando mezzo per la trasformazione e la conseguente fruizione di energia elettrica derivata dall'energia del modo ondoso e da altre fonti rinnovabili in mare. L'architetto, figura trasversale all'interno di questa ricerca, è chiamato a soddisfare un bisogno e, che sia abitativo, sociale, urbano, tecnico o ambientale, è propedeutico a vivere al meglio nel mondo, per cui gli obiettivi e i risultati ottenuti al termine di questo percorso hanno tenuto conto anche di questa attitudine.

INTRODUZIONE

Lo sviluppo di città galleggianti è un tema piuttosto ambizioso, verso il quale l'interesse sta crescendo a causa di molteplici fattori. Basti pensare al cambiamento climatico e alle devastanti conseguenze che stanno investendo il nostro pianeta, all'innalzamento del livello del mare che obbliga le popolazioni costiere ad abbandonare le proprie radici, agli impatti ambientali causati dalle attività umane, alle tante esigenze della popolazione in crescita e alla spinta verso il progresso che richiede modelli e spazi nuovi per lo sviluppo urbano.

Lo studio e la proposta di un'idea di città galleggiante costituiscono, infatti, non solo una potenziale soluzione alle problematiche ambientali suddette, ma offrono la possibilità di rivoluzionare il concetto di abitare, non solo nelle sue forme materiali e spaziali, ma soprattutto nel suo essere città. I caratteri identitari della ricerca, nonché principi inviolabili posti alla base dello studio, sono stati la sostenibilità ambientale e il rapporto con il mare.

Il mare, oltre a essere da sempre culla della civiltà e scenario fertile per lo sviluppo delle più importanti città, offre la possibilità all'umanità di interagire con un elemento unico, mutevole ma stabile. Questo porta all'identificazione di un attributo chiave della città galleggiante proposta: la resilienza. Mediante questa caratteristica, infatti, la città galleggiante potrebbe non solo assorbire gli urti delle onde marine e trarne energia, ripristinare rapidamente ciò che è stato sottoposto a perturbazioni e soprattutto creare un nuovo stile di vita, nell'ottica dell'avvicinamento tra uomo e natura, tra ciò che è artificiale e naturale.

Dall'analisi critica dello stato dell'arte sono emerse inizialmente proposte progettuali ad uno stato embrionale, legate alla sostenibilità ambientale e aventi caratteri comuni, come la modularità, necessaria per ridurre i costi di produzione delle strutture e facilitare la gestione progettuale e la scalabilità, indispensabile per consentire alla città di crescere nel tempo. Inoltre, la maggior parte di queste città galleggianti rimangono ancorate alla costa vicina, confrontandosi con un fattore di stress ondoso relativamente ridotto.

Questa ricerca, invece, mira a esplorare un concetto più generale, considerando una città galleggiante innovativa composta da moduli accostati, protetti e stabilizzati per mezzo dei necessari sistemi di galleggiamento e protezione, potenzialmente utilizzabile sia in zone costiere che offshore.

OBIETTIVI

L'obiettivo della ricerca è stato la definizione del concept, ovvero una visione che contiene sia l'idea che la strategia, composta da chiari principi architettonici, tecnologici e sociali, proponendo un design originale e innovativo degli spazi, orientato alla loro resilienza, ma anche con un focus sulla condivisione e sulla sostenibilità. Il concetto proposto è progettato tenendo conto di standard urbanistici e di vivibilità diversi da quelli tradizionali, è altamente scalabile per ospitare un numero variabile di abitanti, e rispettoso dell'ambiente in quanto autoproduce localmente

l'energia necessaria. Le innovazioni introdotte non si limitano al contesto galleggiante, ma comprendono la visione dello spazio, che diventa più resiliente per rispondere meglio alle esigenze degli abitanti ed al loro benessere.
Queste considerazioni hanno generato un triangolo di considerazioni interconnesse: la presenza del mare e la sua influenza sul progetto complessivo; le problematiche ambientali e le relative soluzioni sostenibili; le persone e i nuovi standard di qualità della vita. Acqua, Natura e Uomo sono, infatti, i tre elementi attorno ai quali ruota l'intero processo creativo e progettuale.
Infine, prendendo in considerazione un caso studio specifico di 50,000 abitanti, è stata condotta un'analisi quantitativa preliminare, volta a valutare le dimensioni generali e la sostenibilità energetica della città galleggiante.

RISULTATI
Lo studio dei grandi architetti del passato, dall'architettura razionalista, sintesi di forme geometriche essenziali e spazi funzionali, alle varie tendenze dell'architettura moderna, fino ai tratti dell'architettura contemporanea, è stato prezioso e indispensabile per scegliere quegli elementi che avrebbero lasciato una chiara impronta alla nuova città galleggiante.
La ricerca ha avuto inizio stilando un report energetico contenente un'analisi quantitativa preliminare volta a stimare il fabbisogno complessivo di elettricità della città galleggiante e la fattibilità di impianti di produzione offshore per la sua produzione. Questa analisi è stata necessaria per verificare che la città possa essere considerata autosufficiente dal punto di vista energetico. A tal fine, sono stati analizzati i consumi energetici di città esistenti, situate in vari Paesi, per scorporare i consumi energetici totali nei termini corrispondenti alle fonti utilizzate (elettricità, gas, ecc.) e alle funzionalità per le quali sono fornite (domestica, residenziale, servizi, industria, ecc.).
Questo studio, insieme alle diverse considerazioni fatte precedentemente, ha tracciato le direttrici della progettazione della città, dettando le dimensioni e la quantità di abitanti da considerare, in linea con l'affermazione "La forma segue la funzione" dell'architetto Louis Sullivan.
Il processo creativo ha avuto inizio con riflessioni, schizzi, ragionamenti e ipotesi che, in un secondo momento, si sono trasformati in disegni e rendering, volti a immaginare uno spazio apparentemente difficile da concepire. Il concept iniziale, infatti, nasce dalla rotazione e dalla divisione di due delle forme principali dell'architettura: il quadrato e il triangolo. A questi si aggiunge l'elemento linea che, come un filo, sembra cucire, collegare e/o bloccare le due forme speculari. Questi tre principi compongono e definiscono il concetto di base che, duplicato attraverso operazioni di rotazione e inclinazione, ha definito l'idea complessiva della città galleggiante in espansione. Essa prende forma grazie alla successione di elementi di base, ai quali vengono accostati quelli tipici che identificano una città marittima, tra cui: il porto, alcuni spazi per aree funzionali, una barriera protettiva dal moto ondoso e aree dedicate all'inserimento delle tecnologie di produzione di energia da fonti rinnovabili.
Dal concetto teorico, una mera suddivisione spaziale di forme, si è passati alla definizione del modulo architettonico, ovvero la progettazione di una porzione di città ideale, contenente le scelte urbanistiche e progettuali che la identificano come tale.
Questo passaggio della progettazione ha risentito delle teorie sulla società moderna proposte da Bauman, che la descrive come "liquida", cioè, sganciata dai punti di riferimento, da quei principi che per secoli hanno costituito e consolidato la sua identità. La società odierna, infatti, è caratterizzata dall'individualismo, preceduto dalla crisi del concetto di comunità e da una invadente sensazione di insicurezza. Tali considerazioni hanno condizionato la tipologia abitativa dell'innovativa città galleggiante, preferendo una soluzione "co-housing", capace di integrare il cambiamento del concetto degli spazi con la volontà di migliorare le relazioni tra gli abitanti. La ricerca propone la progettazione non solo degli spazi "pieni", ma valorizza il "vuoto" rendendolo fruibile e vivibile.
Mediante la zonizzazione dello spazio, si sono definite le macroaree, ovvero gli spazi serventi e serviti tra cui le residenze, le aree destinate ai diversi servizi, gli spazi verdi, quelli dedicati all'acqua e alla mobilità. Queste sono state progettare in relazione al numero di abitanti al metro quadro per singolo modulo. Ogni macroarea è stata studiata singolarmente e presenta caratteristiche identitarie brevemente specificate di seguito.
Le residenze sono state progettate secondo la tipologia del "co-housing", rispondendo concretamente alla domanda abitativa odierna. Oltre alle abitazioni private, questa particolare soluzione prevede spazi comuni, all'aperto e al chiuso, per la lettura, lo sport, il co-working e il benessere della persona, così da combinare le varie esigenze antropologiche. Sono state proposte due tipologie di edifici residenziali: la tipologia "a stecca", con

chiostrini e pozzi luce e la tipologia "a corte". La forma e la disposizione degli edifici all'interno del piano urbano non sono state influenzate dall'esposizione alla luce solare, in quanto, grazie ai movimenti lenti che il mare provoca alla città, il suo orientamento è sempre mutevole, garantendo una buona esposizione solare. La capacità residenziale dei complessi è elevata, in quanto un singolo modulo architettonico quadrato, di dimensioni di circa 300 m per lato, può ospitare circa 3.000 abitanti.

I servizi sono caratterizzati da strutture e architetture ausiliarie che hanno richiesto una specifica progettazione. I negozi e gli uffici sono stati inseriti in una grande struttura, che fa da basamento alle tre stecche residenziali. Questa struttura contiene anche spazi esterni coperti dedicati alla lettura, al pranzo o al tempo libero. Vengono inseriti, per ogni modulo, le infrastrutture scolastiche, gli spazi per il culto, punti di primo soccorso e spazi per lo sport e per il tempo libero. Inoltre, vengono proposti ulteriori spazi esterni, attrezzati e ombreggiati non solo da arbusti naturali, ma anche da nuove strutture, chiamate "alberi fotovoltaici". Essi producono energia rinnovabile dal sole e, grazie alle loro forme morbide, si inseriscono perfettamente nel contesto urbano.

Le aree verdi, che siano pubbliche, condivise o coltivate, sono elementi necessari e identitari della città galleggiante. Esse, infatti, migliorano la qualità dell'aria, favoriscono la biodiversità e contribuiscono ad uno stile di vita sano. Inoltre, le aree verdi possono accogliere installazioni temporanee culturali, tecnologiche e interattive all'aperto. Si propongono anche dei giardini pensili, nei quali ospitare colture per una coltivazione volontaria e condivisa.

L'acqua è l'elemento identitario che identifica la città galleggiante, tanto da essere trattata sotto diversi punti di vista: quello spaziale, poiché definisce tutti gli spazi della città, quello strutturale, in quanto il galleggiamento governa la tipologia strutturale, e quello relazionale, perché è l'elemento principale con cui gli abitanti si relazionano. I collegamenti con i diversi moduli e con l'esterno della città avvengono via acqua, mediante il porto principale e porti minori inseriti all'interno del singolo modulo. Inoltre, ogni modulo accoglie due piscine naturali e una scalinata suggestiva, che porta direttamente in acqua.

Un altro importante argomento oggetto di ricerca è stato il piano di mobilità della città, comprendente tutti gli spostamenti, via terra e via mare. La viabilità è suddivisa con un modello a tre livelli. Il primo si trova a livello del mare (0.00 m) e riguarda il movimento esterno da un modulo all'altro, con imbarcazioni elettriche di dimensioni piccole/intermedie. Il secondo si trova a livello del piano cittadino, cioè a circa 2.00 m sopra il livello del mare, e consente gli spostamenti terrestri, attraverso veicoli elettrici e biciclette. In generale, la mobilità è immaginata come condivisa e multimodale, per gestire al meglio la domanda di trasporto, anche con il supporto di piattaforme digitali dedicate. Il terzo, posto a un livello di circa 20 m sopra il livello del mare, è un percorso pedonale, volto a offrire una bella vista panoramica dello skyline della città nel suo contesto marino.

Infine, è stata valutata l'identificazione preliminare dei concetti strutturali adottati, per fornire le opportune proprietà di galleggiamento e protezione dalle onde alla città. Il modulo strutturale si basa su un supporto semisommergibile, stabilizzato a colonna. Il posizionamento orizzontale è ottenuto mediante linee di ormeggio a fune e catenarie, eventualmente condivise tra i moduli, regolabili per profondità d'acqua variabili. Un sistema di posizionamento attivo, ottenuto mediante eliche sommerse, è inoltre prefigurato per controllare gli spostamenti eccessivi, soprattutto quelli differenziali tra moduli contigui. La protezione dalle onde è ottenuta attraverso una barriera galleggiante in calcestruzzo, che integra un frangiflutti verticale e un convertitore di energia ondosa (WEC) a colonna d'acqua oscillante a forma di U (U-OWC), noto anche come REWEC3. La sommità del frangiflutti è completata da piastre verticali in acciaio inox perforate, che ne alleggeriscono l'aspetto e ricordano i profili ondulati delle montagne.

Parallelamente, è stata effettuata un'analisi semplificata della produzione energetica, che mostra quante turbine eoliche sarebbero necessarie per alimentare la città galleggiante, a seconda della sua ubicazione. Il dato quantitativo è stato necessario per scorporare dai consumi generali quelli identitari della città galleggiante, ipotizzandone alcuni. Lo studio delle forniture di energia elettrica per la città galleggiante ha portato all'identificazione di un certo quantitativo annuo di energia elettrica richiesta e da produrre mediante fonti rinnovabili. Si ribadisce, infatti, che la città galleggiante debba essere autonoma dalle forniture terrestri e debba quindi produrre localmente tutte le risorse necessarie.

L'approvvigionamento idrico della città galleggiante può essere ottenuto tramite la desalinizzazione dell'acqua di mare e la depurazione della pioggia. Considerando un impianto ad osmosi inversa e delle condizioni ambientali

medie, si ottiene un dato specifico di kWh/m3. Quest'ultimo è stato moltiplicato per il consumo giornaliero di acqua pulita a persona, ottenendo un dato complessivo in GWh/50kpersone/anno.
L 'approvvigionamento alimentare della città galleggiante può essere ottenuto dalla combinazione di varie fonti (colture distribuite e giardini pensili, altri impianti di acquacoltura, impianti aeroponici e acquaponici, agricoltura, pesca, acquacoltura). In letteratura è prevista una variabilità piuttosto ampia dei consumi energetici unitari, a seconda dell'ambiente specifico, delle specie allevate e delle tecnologie utilizzate.
Infine, il consumo della città galleggiante prevista è stato confrontato con una stima realistica della produzione di energia rinnovabile offshore, per verificare la fattibilità della proposta. Per semplicità e sicurezza delle stime, si è considerata un'unica fonte, ovvero l'eolico offshore, anche se sarà implementata la combinazione di più fonti (almeno solare, moto ondoso e gradiente termico dell'acqua per il raffreddamento/riscaldamento). Ne è conseguito che per soddisfare il fabbisogno energetico annuo previsto di una città galleggiante di 50,000 abitanti, sarebbero necessari parchi eolici composti da circa 16, 34 e 24 turbine. Queste dimensioni sono paragonabili a quelle dei progetti di parchi eolici offshore già in corso in Europa.
Data l'eccezionalità e l'ambiziosità del tema, i risultati proposti al termine della durata della borsa di studio non sono da considerarsi come punto di arrivo, al contrario come punto di partenza per approfondimenti più specifici e tecnici.

All'interno della tavola manifesto allegata è possibile intercettare le idee e le scelte stilistiche adottate. Il masterplan che fa da sfondo alla tavola contiene tutti gli elementi oggetto di studio e propone l'inserimento della città nel mare. La banda laterale propone gli schizzi dei ragionamenti posti alla base della creazione del modulo, ma anche tavolette tematiche relative alla progettazione delle macroaree e, infine, le renderizzazioni concettuali della città che ne favoriscono la visione futura.

ATTIVITÀ SCIENTIFICHE SVOLTE

La ricerca proposta ha partecipato alla conferenza internazionale "Landscapes Across the Mediterranean (CrossMED) con un articolo dal titolo *A New Frontier of Living: The Floating City. Considerations, designs and proposals for its sustainability,* redatto dalla sottoscritta, dal dott. Carlo Ruzzo e dal Prof. Felice Arena. Lo stesso è in fase di pubblicazione (*accepted with minor revisions*) su *Advances in Science, Technology and Innovation* (ASTI), una collana di libri interdisciplinari IEREK indicizzata in *Scopus* e pubblicata da *Springer Nature*. CrossMED ha dato la possibilità a studiosi, ricercatori e accademici di confrontarsi e condividere idee che interessano lo sviluppo sostenibile del paesaggio culturale del Mediterraneo. Il progetto sulla città galleggiante proposto, grazie al suo approccio globale sul tema, è stato oggetto di confronto all'interno della Parte 5 della conferenza, relativamente ai *Cambiamenti climatici e paesaggi resilienti*.

Inoltre, un journal paper sul progetto proposto è in fase avanzata di preparazione e sarà sottomesso a una prestigiosa rivista scientifica di settore.

RINGRAZIAMENTI

Desidero ringraziare la società CARMA per la proposta e il finanziamento di tale progetto e il Dipartimento DICEAM dell'Università Mediterranea, nelle persone dei proff. Leonardi e Barbaro, Direttori nel corso delle attività, del prof. Arena, mio responsabile scientifico per aver accolto questa eccezionale iniziativa, concretizzandola in una borsa di studio, grazie alla quale ho avuto modo di partecipare e del dott. Carlo Ruzzo, per il supporto prestatomi. La trasversalità dei temi trattati mi ha offerto la possibilità di attingere a diverse discipline, dalle più tecniche e specifiche alle più creative e sociali, restituendo un'idea di progetto innovativa e originale.

Gennaio 2025

Borsista: Dott.ssa Arch. Maria Luisa Cacurri
Responsabile scientifico: Prof. Felice Arena