

## CAPITOLO 1

“Introduzione: il problema delle tecnologie a energie rinnovabili applicate agli edifici storici”

“In tutte le cose che si hanno da fare devesi avere per scopo la solidità, l'utilità e la bellezza.”

Firmitas, Utilitas, Venustas. Sono queste le tre parole che racchiudono lo scopo ultimo dell'edificazione di edifici stando a quanto scritto, intorno al 15 a.C. da Marco Vitruvio Pollione in quella che successivamente è stata identificata come “triade vitruviana”, che ha regolato le opere dei maggiori architetti e artisti dal Rinascimento in avanti, a partire da Leon Battista Alberti per arrivare fino a Raffaello.

Questa triade di elementi, che costituisce una buona sintesi dell'intero trattato vitruviano per quanto concerne i suoi concetti fondamentali, mostra quindi una chiara presa di posizione riguardo all'aspetto fisico di un edificio.

Sebbene sia scontato per chiunque il valore della firmitas, la solidità di un edificio, ottenuta sempre secondo Vitruvio: *“quando le fondamenta, costruite con materiali scelti con cura e senza avarizia, poggeranno profondamente e saldamente sul terreno sottostante”*, così come quello dell'utilitas, raggiunta: *“quando la distribuzione dello spazio interno di ciascun edificio di qualsiasi genere sarà corretta e pratica all'uso”*.

La venustas, la bellezza e armoniosità delle parti di un edificio viene qui evidenziata non come semplice orpello o valore aggiunto ma come un obiettivo, uno scopo verso cui ogni edificio deve tendere.

Stando alla descrizione di Vitruvio, la venustas si ottiene *“quando l'aspetto dell'opera sarà piacevole per l'armoniosa proporzione delle parti che si ottiene con l'avveduto calcolo delle simmetrie.”*

Cosa accade dunque quando il trascorrere del tempo rende necessario integrare in edifici di valore storico, anche se non vincolati espressamente, tecnologie, ritrovati e accorgimenti per soddisfare i requisiti di abitabilità, sicurezza, igiene e salubrità?

Quali accorgimenti utilizzare per non venire meno a quei canoni di armoniosa proporzione delle parti, per mantenere agibile un edificio pur non snaturandone l'aspetto e i canoni dello stile che gli appartengono, quale che sia lo stile in questione?

Un'importanza particolare viene fornita ai temi dell'integrazione negli edifici, in special modo se di una qualche rilevanza storica o artistica, delle tecnologie di produzione energetica da fonti rinnovabili.

Spesso e volentieri vediamo infatti numerose iniziative atte a valorizzare l'utilizzo di queste nuove tecnologie, non curandosi all'atto legislativo, o limitandosi a rimandare ai progettisti, architetti e urbanisti, di integrarle in una realtà precedente mantenendone intatti i caratteri distintivi.

A tutt'oggi non si trova riscontro, se non in casi sporadici, di "ogni apprezzabile propensione mirata a raccordi virtuosi fra esigenze di razionalizzazione energetica e (dunque) di contenimento degli oneri e dei consumi, e tutele di valori sedimentati degli ambiti di intervento; talora anzi, a linee di indirizzo (più o meno cogenti) decisamente vincolanti (e spesso rivelatrici di accezioni obsolete e/o addirittura riduttive, ancorché apparentemente rigorose, di tutela e conservazione), si contrappongono inopportune misure sceve da idonee valutazioni di impatto sui contesti di intervento". (Giallocosta, 2012)

Esempio lampante di questa scarsa attenzione per l'integrazione è la questione del cosiddetto *premio volumetrico* riguardo l'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili, così come previsto dal Decreto Legislativo 28/2011 laddove, seppur con talune limitazioni, "si prospetta la possibilità che Regioni e Province stabiliscano i casi in cui più progetti che optino per tecnologie contraddistinte dall'impiego di tali fonti, e localizzati nella stessa area (o in aree territoriali contigue), siano da considerare in termini *cumulativi* nell'ambito delle procedure di valutazione di impatto ambientale. É evidente qui l'assenza di un'attenta valutazione circa gli effetti che tale misura potrebbe causare sui diversi contesti di intervento." (Lanza, 2013)

Si sente dunque il bisogno di una nuova "educazione", se così si può definire, all'aspetto e alle proporzioni degli spazi che si abitano, in termini di gradevolezza visiva oltre che di funzionalità pratica. La concezione delle nuove tecnologie o di qualsiasi cosa che vada a integrarsi in un ambiente preesistente tenda a essere visto, in quella che sembra essere la visione maggiormente diffusa in epoca contemporanea, unicamente per i vantaggi che tali integrazioni possono portare, lasciando in secondo piano le modalità specifiche che governeranno questo processo.

In un paese come l'Italia, dove molte tra le grandi città e anche diversi centri abitati di entità minore possono vantare quartieri di interesse storico, artistico o anche solo estetico più che rilevante, le attenzioni agli eventuali interventi di integrazione armoniosa sono riservati, quando attuati, principalmente a edifici che svolgano una funzione pubblica o artistica, sia come semplici luoghi visitabili, sia che si tratti di edifici adibiti a utilizzo espositivo o museale. Sebbene sia giusto e auspicabile che edifici fruiti dalla comunità a livello

collettivo, oltre che da persone che vengono specificatamente magari per visitare proprio quelle strutture non è d'altro canto segno di una buona coscienza collettiva quello di riservare tali trattamenti o anche solo richiederli *unicamente* in quei casi.

Sono ben noti a tutti le selve di antenne televisive, radio e parabole satellitari, sistemi di allarme e pannelli fotovoltaici che riempiono i tetti di ogni città, la cui comparsa e proliferazione non ha avuto regolamentazione alcuna, il vantaggio di un apparecchio televisivo o radiofonico, di un sistema di allarme e perché no degli incentivi portati dall'installazione di alcune tecnologie a energie rinnovabili hanno avuto la meglio sulla necessità di un intervento curato e rispettoso del preesistente, il vantaggio dell'immediato che scalza lo sviluppo consapevole, fino a quando, come adesso, non si fa più caso a tutto questo, assumendolo semplicemente come un prodotto collaterale del progresso tecnologico, la percezione della collettività modificata nel tempo in modo che ciò che prima spiccava poco alla volta entrasse a far parte della normalità.

Le esperienze percettive che massimamente interessano gli ambiti dell'architettura e dei sistemi insediativi coinvolgono singoli e collettività. Se nel primo caso può sottolinearsi il carattere *relativo* (in quanto permeati da variabili fortemente soggettive, quali quelle di tipo identitario, vettoriale) dei fattori della percezione (Giallocosta e Piccardo, 2012), nel secondo (collettività) si sviluppano ulteriori aspetti di complessità e complicità, sia in termini puramente speculativi che di discernimento a fini operativi. Possono menzionarsi fra tali aspetti, e con particolare riferimento a implicanze dirette con le attività di progettazione e costruzione dell'architettura, quelli legati a enfattizzazioni in tema di *dissonanze percettive* (Mela et al., 2000) che spesso "concernono i saperi *esperti* e *non esperti* (o che addirittura si generano fra i primi, laddove provengano da tradizioni disciplinari diverse)" (Giallocosta e Piccardo, 2012), le situazioni contraddistinte da sedimentazioni collettive di preconcetti (il più delle volte determinati dai *media*) e che necessiterebbero di procedure di *disapprendimento* per le segmentazioni sociali interessate, i deficit che talora si riscontrano in termini di "*saperi obbiettivi* da parte delle popolazioni residenti, che possono ingenerare percezioni distorte dei propri ambienti di vita (considerati per esempio salubri, anche quando non lo sono affatto)" (Giallocosta e Piccardo, 2012), i differenti livelli, molteplici e variegati, in quanto dipendenti da esigenze, aspirazioni, modelli (culturali, comportamentali, ecc.) di ciascuno, di *propensione al cambiamento* e ai relativi effetti, fruitivi e percettivi, che così se ne produrrebbero.

Va fatto notare che le esigenze degli utenti di un edificio hanno natura multidimensionale, comprendendo quelle comuni a tutti gli edifici, ovvero esigenze fisiologiche come alimentarsi, dormire, muoversi e psico-sociali, come socializzare, partecipare a un'attività, istruirsi. Ci sono poi anche esigenze specifiche all'ambito edilizio e concernenti fattori quali sicurezza statica, comfort, percezione estetica, sostenibilità ambientale, manutenibilità ecc. Il soddisfacimento delle esigenze è uno dei punti che vengono tenuti in conto durante la fase di progettazione e avviene attraverso la determinazione delle caratteristiche pertinenti, spaziali e tecnologiche, del sistema edilizio e a come assicurarsi che tali caratteristiche siano disposte in modo ottimale; per alcune fra le prime, il cui soddisfacimento è ritenuto imprescindibile, tali caratteristiche vengono definite direttamente dagli strumenti legislativi.

“Per il progettista, interprete delle richieste dell'utenza ed estraneo (quanto meno *in linea di principio*) a qualunque logica di autoreferenzialità” (Di Battista et al., 2010), l'attività di acquisizione del quadro esigenziale, ivi inclusa la sua traduzione in termini di requisiti, assume una forte valenza circa la buona riuscita del progetto in quanto una corretta e completa consapevolezza dei bisogni da soddisfare, siano essi specificati (e connotabili come attese esplicite) che impliciti (e riguardanti un processo di maturazione non evidente per lo stesso detentore), costituisce la base di riferimento per il raggiungimento della qualità finale del prodotto edilizio.

Per altre esigenze invece l'importanza che verrà assegnata al loro soddisfacimento in fase di progettazione dipende maggiormente dalla sensibilità all'argomento del progettista e del committente, anche se l'influenza della collettività locale su certi temi particolari può esercitare una certa influenza su alcune scelte.

In merito alle cause che determinano il manifestarsi di un'esigenza è necessario considerare i numerosi stati percettivi che l'individuo, per effetto della sua stretta relazione (dinamica e causale) con l'ambiente esterno, assimila e registra in sequenza. Tali sensazioni, rappresentative dell'interazione con *il mondo* per ogni soggettività (*individuale e/o collettiva*), possono generare conflittualità o solidarietà e restituire stimoli di condivisione o di contestazione: tutto dipende dall'intensità con la quale raggiungono il soggetto ricevente, sia esso individuo o gruppo, e lo *collocano* nei confronti del proprio ambiente.

Il processo di formazione delle esigenze, intese come *aspettative*, risulta pertanto connesso con la percezione degli eventi circostanti, con l'apprendimento dal passato e con la capacità da parte dell'individuo di *prefigurare il futuro* sulla base del proprio assetto esperienziale.

Convenzionalmente, gli psicologi distinguono due fasi del processo di ricezione delle informazioni provenienti dal mondo esterno da parte degli esseri umani. La prima attiene alla sensazione, e riguarda sia la tipologia di risposta degli organi sensoriali agli stimoli esterni, di varia frequenza e intensità, che la modalità di trasmissione della risposta al cervello. La seconda fase si riferisce alla percezione, ovvero alla modalità di elaborazione dei segnali sensoriali operata dal cervello che conduce alla costruzione di una rappresentazione interna dello stimolo, e quindi all'acquisizione dell'informazione. Il processo di elaborazione delle informazioni si attua attraverso meccanismi soggettivi, impliciti e idiosincratici e dà luogo all'apprendimento.

Il funzionalismo percettivo, sviluppatosi verso la metà del secolo scorso (Novecento), sottolinea in modo particolare la valenza delle attese, dei bisogni e delle aspettative quali fattori concorrenti nella determinazione dell'atto percettivo, evidenziando il ruolo che gli individui esercitano selezionando e processando gli stimoli in funzione delle proprie necessità. Il riconoscimento degli stimoli avviene per effetto del continuo confronto tra l'esperienza attuale e le esperienze pregresse attraverso una duplice dimensione, cognitiva e soggettiva. Un processo percettivo, infatti, alla prima ricezione/esplicitazione può provocare la formulazione di un'ipotesi che incoraggia a esplorare nuovamente il contesto stimolante, determinando una decisione che potrebbe convalidare, ma anche correggere o addirittura annullare, l'ipotesi iniziale (Bruner, 1971).

Le attese di utenti e fruitori infatti discendono anche dalle proprie *dimensioni* sensoriali, culturali, cognitive, psicologiche, valoriali, che informano i dati (sinestetici) percepiti dall'esterno.

La restituzione degli stimoli necessari all'acquisizione di consapevolezza delle esigenze da parte degli individui avviene *anche* per effetto dell'interdipendenza che si instaura tra coscienza e *inconscio collettivo* che, da un lato, calibra i suoi contenuti sulle esperienze passate e, dall'altro, mira a *prefigurare* il futuro, ad *anticiparne e determinarne* le sequenze (Jung, 1980). Il prodotto della combinazione di nozioni che risiedono negli individui evolve o si annulla in funzione dell'intensità che la sua risonanza produce sulla sfera culturale inconscia e, interpretandone i contenuti più intimi, genera una cultura dinamica, non determinabile in maniera istantanea, in quanto in perenne evoluzione.

L'interesse in architettura dovrebbe concentrarsi nella ricerca di possibili strumenti finalizzati ad agevolare il processo di identificazione di quei fattori progettuali che possano risultare *strutturalmente* orientati, *anche a livello percettivo*, al soddisfacimento di esigenze e a migliore accettabilità sociale delle soluzioni proposte.

Ecco quindi che, oltre a sviluppare in maniera indipendente le tecnologie ad energia rinnovabile, migliorando la loro efficienza e al contempo ideando nuove soluzioni costruttive per favorire la loro installazione in contesti abitativi preesistenti, diventa altrettanto importante sviluppare una *coscienza collettiva* riguardo alla positività e ai vantaggi che possono nascere da un'utilizzo esteso di tali tecnologie, rendendo appetibile e auspicabile per l'individuo e alla collettività ricorrere a tali tecnologie.

Il dibattito sulla necessità di ricorrere a soluzioni alternative per salvaguardare l'ambiente e il pianeta su cui ci troviamo è ormai unanimemente, o quasi, accettato. Gli oppositori a queste idee sono sempre meno e la discussione si è fatta più *interna*, passando su preferenze di metodi e preferenze di applicazione di tali tecnologie, disquisendo sui gradi di priorità da assegnare a ognuna di loro.

La natura di questo dibattito è stata pesantemente condizionata sia dal fatto che se ne sono spesso semplificati eccessivamente i termini per allargarne la portata, sia dal fatto che l'ecologia, nata in ambiente scientifico, ha però fortemente mantenuto un impianto culturale tecnicista e specialistico anche quando, pur venendo via via a interessare i più svariati ambiti del vivere umano, ha tentato di tradursi in politiche di intervento ad ampio raggio (Guattari, 1989).

Forse proprio a causa di questi condizionamenti, il dibattito sull'ambiente si è spesso fermato solo al livello strumentale ed è stato, al più, in grado di coinvolgere il piano dell'etica. Ne è testimonianza il successo planetario dell'espressione *sviluppo sostenibile*, arma di battaglie etiche, considerata allo stesso tempo, forse in qualche caso a ragione, un comodo ossimoro, un rifugio per le coscienze, un escamotage, se non addirittura una vera e propria mistificazione. (Daly, 1996; Latouche, 1995 e 2005).

Se ormai, dai più viene riconosciuto un valore alle soluzioni tecniche che mirano alla riduzione dei consumi energetici da fonte fossile o all'abbattimento delle emissioni inquinanti, il complesso sistema di valori determinato dalla generale concezione, o percezione, della realtà, anche abitativa e costruttiva, è sostanzialmente rimasto immutato, soltanto superficialmente scalfito da una rivoluzione ecologista (talora proprio in questi termini fastidiosamente evocata, Rifkin, 2008) portata avanti solo a metà.

Se nel primo diffondersi del nuovo approccio ecologico al progetto architettonico o urbanistico, dagli anni Settanta fino agli anni Novanta, la mancata trasformazione della percezione profonda della realtà dell'abitare e del costruire umano non ha determinato problemi, data la tutto sommato circoscritta area sperimentale inizialmente interessata, oggi invece i nodi vengono al pettine. Se infatti l'ecologia viene considerata sempre di più, ma sempre solo come semplice strumento tecnico del progetto, ancorché

virtuoso, senza che ciò determini un profondo e radicale cambiamento dei modi di progettare e di costruire, delle figure del committente, del progettista e del costruttore, della dinamica dei rapporti tra loro e con gli altri attori del processo edilizio interessati, e soprattutto senza che ciò determini nuove modalità abitative (Vattimo, 1991), di rapporto e di mediazione sociale (Guattari, 1989), essa rimarrà appiccicata al progetto e le soluzioni tecniche aggettivate, addirittura certificate, come ecologiche (o sostenibili o bio) saranno anch'esse, a questo punto non più metaforicamente, ma fisicamente, appiccicate agli edifici o ai paesaggi che le ospitano, con stridente effetto percepito.

Si tratta, in effetti, proprio di un problema di percezione della realtà: fino a quando l'approccio ecologico al progetto sarà limitato all'impiego di tecnologie e sistemi da giustapporre alle costruzioni negli insediamenti negli insediamenti umani o sui prati e le colline che ci circondano e non sarà in grado di assecondare (o determinare) effettive condizioni per un cambiamento diffuso e profondo dei modelli culturali dominanti e delle modalità percettive della realtà dell'abitare, del progettare, del costruire per abitare, che ne sono il portato, fino ad allora ogni soluzione definita ecologica sarà soltanto orpello, appendice, protesì. Questo è particolarmente vero per gli edifici e per centri di interesse storico o nei territori di elevato valore panoramico, naturalistico, turistico, dove più facile è accorgersi della natura di superfetazione delle soluzioni tecnico-impiantistiche per il risparmio energetico o bioclimatiche in genere, data la compresenza di riconosciuti valori culturali, architettonici o paesistici, talora anch'essi destinati a farsi strumento e non fine, come avviene nelle regolamentate e forzate scimmiettature delle tipologie e dei sistemi del costruire tradizionale: di qui, soprattutto nei paesi dell'area mediterranea (storicamente più orientati a una cultura puramente conservativa, o conservatrice, del patrimonio costruito) i contrasti emergenti e accesi fra enti come le Soprintendenze e coloro che promuovono invece nuovi sistemi e strategie per la progettazione e lo sviluppo sostenibili.

La mancanza di una comune percezione della realtà o la compresenza di differenti valori attribuiti al paesaggio costruito determinano una contrapposizione di intenti (anche normativi, con conseguenti problemi burocratici) che difficilmente sembra risolvibile. Di fronte a una simile lettura e alla prospettiva di una tanto radicale quanto impossibile, in tempi brevi, evoluzione del sistema di valori che promuova, anche in termini percettivi, innovazioni condivise e coerentemente perseguibili, non si può che attendere tempi migliori, rinunciando o accettando mediazioni aberranti come i coppi solari termici o le marsigliesi fotovoltaiche.

Molti programmi di finanziamento europei, ormai, hanno tra i loro specifici obiettivi non solo quello di mettere a punto e testare nuovi sistemi tecnologici ma anche quello di mettere in comune, tra paesi membri, conoscenze nel campo della sostenibilità ambientale dello sviluppo, garantendo la loro diffusione grazie al coinvolgimento dei differenti attori dei diversi settori interessati.

Proprio nell'ambito di uno di questi programmi europeo, il MED-Europe in the Mediterranean (2007-2013) è stato avviato e portato a termine il progetto SCORE (Sustainable CONstruction in Rural and fragile areas for energy Efficiency, [www.scoremed.eu](http://www.scoremed.eu)) con partner importanti di sette differenti paesi, Cipro, Francia, Grecia, Italia, Portogallo, Slovenia, Spagna. Il progetto è stato un'occasione significativa per mettere a punto sui territori interessati, prime concrete strategie di confronto e dialogo in relazione alle opportunità e ai problemi di diffusione di strategie per il progetto sostenibile e per la riduzione dei consumi energetici degli edifici, in territori caratterizzati da riconosciuto valore paesaggistico e storico.

In relazione al tema dell'approccio sostenibile al progetto di architettura e alla pianificazione territoriale, in questo preciso momento storico, non pare più strategica l'individuazione di tecnologie e sistemi da applicare e nemmeno sembra indispensabile puntare ancora in modo esclusivo sul chiarimento delle istanze di salvaguardia dell'ambiente; piuttosto pare opportuno far maturare la capacità di trovare strategie di dialogo e messa in relazione di differenti modelli culturali e valoriali per raggiungere accordi tra diversi e altrettanto legittimi interessi, mettere a confronto punti di vista particolari e parziali, stabilire condivisi codici di interpretazione e percezione della realtà costruita e costruttiva. Solo così sarà possibile, anche nell'ambito del progetto di architettura, non ridurre l'approccio ecologico a una mera questione strumentale, stretto tra improvvisi e spesso poco fondati slanci, da un lato, e preconette resistenze culturali dall'altro, troppo spesso pesantemente condizionata da artifici regolamentari e complicazioni burocratiche.

Ad aggiungere ulteriore difficoltà all'impresa si ha l'attuale impostazione legislativa, che limita e semplifica gran parte del discorso, riducendo tutto a una mera questione numerica e percentuale, preoccupandosi di stabilire requisiti minimi prestazionali e di efficienza, lasciando l'applicazione della *venustas* alla buona volontà dei progettisti e dei committenti, limitandosi al più a semplici frasi sul dialogo con l'esistente di effetto quanto meno limitato. Le direttive comunitarie si configurano come norme di indirizzo generale volte alla promozione delle fonti energetiche rinnovabili, le norme nazionali forniscono le modalità attuative di questi orientamenti e obiettivi nei mercati interni di ciascun paese. Dal livello nazionale, non sempre chiaro in Italia

tuttavia e a volte troppo limitato alle questioni di indirizzo generale, discende la normativa regionale e locale a cui spetta di rendere applicabili tali indirizzi nelle singole e diverse realtà territoriali.

Dall'analisi effettuata si evince come esista una prevalenza di norme di indirizzo e natura procedurale, con rimandi a successivi regolamenti di attuazione o a regolamenti locali. Questi ultimi, che in qualche caso contengono indicazioni apprezzabilmente di tipo esigenziale-prestazionale (definendo i requisiti minimi degli edifici in materia di energia), non si rivelano però esaustivi soprattutto per quanto riguarda l'installazione degli impianti negli organismi edilizi esistenti, e in modo particolare nell'ottica di una visione unitaria del paesaggio urbano. Inoltre, trattano in maniera oltremodo superficiale gli aspetti percettivi di tali impianti.

È da rimarcare come l'esigenza di contenimento dei consumi energetici, e le conseguenti opportunità di introduzione in edilizia di nuove tecnologie da fonti energetiche rinnovabili assumano una particolare centralità, spesso però tendenzialmente obliteratrice di ulteriori aspetti: tra questi ultimi, rivestono una certa rilevanza i temi dell'integrazione e della percezione di tali impianti, soprattutto per la loro forte correlazione con le tematiche della tutela architettonica e paesaggistica e della pianificazione. Similmente le normative nazionali, a carattere fortemente programmatico, appaiono soprattutto rivolte a favorire e incentivare l'introduzione delle tecnologie da fonti energetiche rinnovabili ai fini del raggiungimento degli obiettivi di contenimento dei consumi energetici (definiti a livello europeo), senza però affrontare in maniera apprezzabile tematiche puntuali relative all'inserimento nei contesti ambientali, territoriali e urbani di dette tecnologie. (Lanza, 2014)

Uno dei primi documenti che affronta il tema di integrazione delle tecnologie da fonte di energia rinnovabile sono le *Linee guida per l'autorizzazione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili*. (2010), che fa emergere in particolare, tra le sue disposizioni, la ricerca e sperimentazione di soluzioni progettuali e componenti tecnologici innovativi, volti a ottenere una maggiore sostenibilità degli impianti e delle opere connesse dal punto di vista dell'armonizzazione e del migliore inserimento degli stessi nel contesto storico, naturale e paesaggistico, oltre al coinvolgimento dei cittadini in un processo di comunicazione e informazione preliminare all'autorizzazione.

Lo sviluppo delle fonti energetiche alternative deve quindi tener conto dei grandi e diffusi valori storici, architettonici, morfologici e naturali che caratterizzano gran parte dei nostri paesaggi, perché ogni nuova realizzazione entrerà inevitabilmente in rapporto con i caratteri ivi ereditati e su di essi avrà in ogni caso delle conseguenze.

Il fruitore-cittadino, però, nel momento in cui il suo ruolo trasli, da membro di una società organica e autosostenibile per esempio a semplice consumatore,

smette lentamente di occuparsi del territorio in cui risiede e delle conseguenze che le diverse azioni possono causare. Il consumo di acqua, a esempio, non è più direttamente collegato alla consapevolezza dei costi ambientali che il suo utilizzo comporta: analogamente accade anche per altre risorse (energia, cibo, ambiente, ecc.). La relativamente lenta accumulazione (e percezione) dei costi ambientali, e soprattutto forme di monetizzazione prevalentemente indirette e (seppure illusoriamente) dilazionabili per quanto concerne l'ambiente, spesso motivano in effetti il consumatore ignaro e poco consapevole, che oggi *assegna valore monetario quasi esclusivamente a quelle risorse che quotidianamente utilizza* (Georgescu-Roegen, 2003). Bisogna ricostituire quindi il fenomeno di crescita della coscienza di luogo, allo scopo di ripristinare il senso di consapevolezza e di comunità.

Lavorare, e quindi progettare, sul territorio significa anche innescare processi di acculturazione di saperi legati al luogo: saperi dispersi, che ormai da molto tempo sono stati interrotti (e tendenzialmente obliterati) da quell'atteggiamento di astrazione della società consumistica con cui si delegano anche processi di riproduzione biologica, oltre che di consumo, a grandi sistemi o gruppi finanziari, sviluppando così una popolazione di consumatori incapace di comprendere gli effetti dei suoi comportamenti quotidiani.

Nei sistemi completi (come quello costituito da una comunità di cittadini), la capacità di assimilazione e rielaborazione di un nuovo elemento sviluppa e aumenta la facoltà di auto-organizzazione e ri-organizzazione, e quindi aiuta a percepire e vivere il cambiamento come una potenziale risorsa di sviluppo, e non come un limite. In un territorio l'integrazione di una nuova tecnologia, seguendo criteri di mimesi, inibisce (nel migliore dei casi) le potenziali riedizione e rielaborazione del cambiamento, che sono insite nelle comunità.

Con le tecnologie di fonti da energie rinnovabili, oltre i vantaggi ambientali immediati (minor utilizzo di fonti fossili e minore inquinamento) si somma la possibilità di eliminare le perdite dovute alla distribuzione di energia e alla trasformazione da alta a bassa tensione, situando la generazione in stretta relazione con i luoghi di consumo e dimensionandola in funzione delle potenze effettivamente richieste.

Il progresso tecnologico, in un passato più o meno recente, ha introdotto nell'ambiente costruito, urbano e rurale, oggetti inizialmente estranei (quali antenne TV, parabole satellitari, antenne per la telefonia mobile, sistemi di vigilanza, di illuminazione artificiale, ecc.) che via via si sono diffusi in quanto incidenti su alcuni aspetti migliorativi della qualità della vita (informazione, comunicazione, sicurezza, comfort e altro). Questa diretta influenza sugli utenti (e sui loro sistemi esigenziali), che hanno potuto godere di benefici immediati, ha probabilmente reso più facilmente accettabili tali manufatti,

inducendo uno sviluppo, seppure necessariamente molto lento, delle norme di tutela della salute (per quegli impianti potenzialmente pericolosi come i ripetitori per la telefonia mobile o gli elettrodotti) e dei caratteri morfologici degli stessi (antenne televisive e satellitari, condizionatori) soprattutto se destinati a essere installati in contesti di pregio (Cassinelli, 2014).

Alla luce di queste testimonianze risulta quindi chiaro che, avviate ricerche per il continuo miglioramento delle tecnologie da fonti di energia rinnovabile e essendo ormai parte integrante dell'opinione comune a livello comunitario la loro utilità e convenienza specie in una proiezione futura di sostituzione ai combustibili fossili, il dibattito debba ora spostarsi sulle modalità di integrazione di tali tecnologie con il preesistente, specie se di valore, storico, artistico o ambientale sia a livello di coscienza della collettività, sia a livello normativo, garantendo la salvaguardia del patrimonio esistente senza dover sperare nel buon senso degli addetti ai lavori, progettisti e committenti, dando il via quindi ad un vero e proprio *sviluppo sostenibile*, dove alla *firmitas* sempre indispensabile in ogni costruzione, all'*utilitas* riconosciuta ad ora a questi nuovi strumenti, si possa associare una *venustas* che faccia dunque da ponte e tramite tra i valori del passato e del futuro, ricostituendo quindi una Triade Vitruviana completa ed equilibrata.

## RIFERIMENTI

Giallocosta Giorgio (2012) "Diffusione delle tecnologie integrate per la produzione e la gestione energetica locale in edilizia" (PRIN 2008), Università di Genova.

Lanza Simona G. (2013) "Scenari e problematiche in tema di energia", sta in Scudo Gianni (a cura di), "Tecnologie solari integrate nell'architettura", Walters Kluwer Italia, Milano.

Giallocosta Giorgio, Piccardo Chiara (2012) "Sistema Paesaggio e fattori percettivi", sta in "Sistema Paesaggio", Poliprint, Milano.

Mela Alfredo, Belloni Carmen M. Davico Luca (2000), "Sociologia e progettazione del territorio", Carocci, Roma.

Di Battista Valerio, Giallocosta Giorgio, Minati Gianfranco (2010), "L'auto-architettura nei sistemi sociali", sta in Capone Pietro (a cura di), "Ricerche ISTeA verso un'edilizia ragionevole" Medicea, Firenze.

Bruner Jerome S. (1971), "The relevance of education", W.W. Norton and Company, Oxford.

Jung Carl G. (1980), "Gli archetipi e l'inconscio collettivo", Bollati Boringhieri, Torino.

Guattari Felix (1991), "Le tre ecologie", Sonda, Torino (ed. orig. 1989).

Daly Hernan E. (2001), "Oltre la crescita: l'economia dello sviluppo sostenibile", Edizioni di Comunità, Torino (ed. orig. 1996).

Latouche Serge (1995), "Les querelles de mots du développement", sta in "Chroniques du Sud", pp. 20-27 (IRD, Institut de Recherche pour le développement - <http://horizon.documentation.ird.fr>).

Latouche Serge (2005), "Come sopravvivere allo sviluppo: dalla decolonizzazione dell'immaginario economico alla costruzione di una società alternativa", Bollati Boringhieri, Torino.

Rifkin Jeremy (2008), "Rivoluzionare l'architettura - Proclama per affrontare la crisi energetica globale e i cambiamenti climatici", sta in "Abitare" n. 486, pp. 13-14.

Vattimo Gianni (1991), "Costruire, abitare e pensare dopo Heidegger", sta in Bottero Maria (a cura di), "Spazio e conoscenza nella costruzione dell'ambiente", Angeli, Milano.

Lanza Simona G. (2014), "Norme e strumenti regolamentari", sta in "Fattori percettivi in Architettura", Alinea Editrice, Firenze.

Ministero dello Sviluppo Economico, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Ministero per i Beni e le Attività Culturali, D.M. del 10/09/2010, "Linee guida per l'autorizzazione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili".

Georgescu-Roegen Nicholas (2003), "Bioeconomia. Verso un'altra economia ecologicamente e socialmente sostenibile", Bollati Boringhieri, Torino.

Cassinelli Giacomo (2014), "Espressione e percezione nell'integrazione architettonica delle tecnologie per lo sfruttamento delle fonti rinnovabili", sta in "Fattori percettivi in Architettura", Alinea Editrice, Firenze.

## CAPITOLO 2

“Il risparmio energetico e la sua integrazione nel costruito attraverso i tempi”

Durante l'evoluzione della civiltà umana il concetto di energia rinnovabile non è sempre stato associato alle medesime forme di energia. Specialmente nei periodi più antichi, vista la diffusione molto minore degli insediamenti umani, il legname, nonostante il suo largo impiego come materiale da costruzione, combustibile e in molti altri ambiti, poteva essere considerato una risorsa pressoché inesauribile anche senza particolari politiche di controllo e di rimboschimento. Le stesse fonti combustibili la cui scarsità sempre maggiore sta portando all'utilizzo sempre più diffuso di nuove tecnologie che sfruttano le energie rinnovabili all'epoca potevano essere considerate virtualmente inesauribili ma non essendo la tecnologia dell'epoca sviluppata a sufficienza il loro processo di raffinazione e utilizzo era stato accantonato in favore dello sfruttamento, oltre che del lavoro umano e animale, dell'energia del vento e del sole sopra ogni altro.

Vista la difficoltà di produzione e immagazzinamento dell'energia e la pressoché nulla capacità di trasmissione a lunghe distanze se non attraverso il trasporto del combustibile stesso o per trasmissione meccanica (basti pensare ai congegni dei mulini a vento) nacquero tutta una serie di accorgimenti costruttivi in grado di sfruttare le particolarità climatiche, orografiche, e creare quindi una naturale interfaccia tra costruito e sito di inserimento riuscendo quindi a massimizzare le risorse del posto, l'irraggiamento solare, il vento e tutti i fattori climatici a proprio vantaggio.

Questa elevata conoscenza e capacità di sfruttamento (o meglio di oculato utilizzo) delle risorse disponibili è andata poi a scemare con lo sviluppo delle capacità impiantistiche e di trasporto dell'energia. L'attuale situazione demografica rende di certo impossibile un ritorno a quelle tecniche ma ciò che deve essere ripreso e mantenuto è l'idea di fondo che muoveva i costruttori dell'epoca, ovvero quello di saper sfruttare la loro profonda conoscenza delle caratteristiche del territorio per ridurre al minimo gli sprechi di energia, allora bene raro e prezioso, integrandola con la grande capacità di produzione energetica e la rete di distribuzione capillare odierna.

Di nuovo si può citare il *De Architectura* di Vitruvio a ulteriore prova della conoscenza e degli accorgimenti degli antichi: *“lo stile degli edifici dovrebbe essere manifestamente diverso in Egitto e in Spagna, nel Ponto e a Roma e nei paesi e nelle regioni di diversa natura. Perché in una parte la Terra è oppressa dal Sole, in un'altra la terra è troppo lontana da esso, in un'altra ancora è ad una distanza moderata.”* (Libro VI, cap. 1; Florian, 1978, p.108) e ancora: *“la direzione delle strade deve essere diversa da quella dei venti, in*

*modo che essi, investendo gli angoli degli isolati, vengano ostacolati, respinti, dissipati”* (Libro I, cap.6; Florian, 1978, p.26).

Si nota poi come problemi simili abbiano dato vita a soluzioni tra loro altrettanto simili, anche in periodi come il Medioevo, dove il *De Architectura* non era ancora preso a esempio, o tra popolazioni che non avevano avuto tra loro nessun genere di contatto (vedi l’insediamento indiano di Mesa Verde, protetto dai raggi solari e dai venti estivi dal promontorio di roccia che lo sovrasta, soluzione assimilabile ad alcuni insediamenti tunisini o alle case del villaggio cinese di Loyang).

La grande svolta arriva con la Rivoluzione Industriale e si compie lungo tutto il XIX secolo, quando la macchina a vapore di Watt rende possibile la trasformazione diretta dell’energia termica in energia meccanica, rendendo possibile alimentare macchinari di ogni tipo senza alcun legame con lo spazio di produzione. Con le prime concentrazioni industriali le città sono teatro di una crescita incontrollata che crea forti disagi sociali e precarie condizioni igieniche, oltre a creare il mito della “macchina” e dell’industrializzazione. Il Movimento Moderno, grazie agli sviluppi della meccanica impiantistica si allontana dalla metodologia collaudata dell’attenzione al contesto locale: l’Internazionalismo in architettura è l’esempio lampante di questa standardizzazione di cui Le Corbusier fu uno dei massimi esponenti, tanto da teorizzare “un unico edificio per tutte le nazioni e per tutti i climi”, ritenendo adatta una temperatura interna di 18°C valida in ogni parte del mondo. Restano comunque architetti maggiormente sensibili ai problemi del clima locale, come Frank Lloyd Wright e Alvar Aalto ma si tratta di casi isolati. L’ampio utilizzo del calcestruzzo e dell’acciaio, oltre allo sviluppo degli ascensori diede piede allo sviluppo verticale sempre più sfrenato, il cui microclima è impossibile da controllare tramite espedienti “naturali”.

La legittima preoccupazione dell’uomo contemporaneo per il problema del cambiamento climatico e dell’esaurimento del suo principale artefice, il petrolio greggio, è, potremmo dire, quasi esclusivo appannaggio degli ultimi dieci/quindici anni. Tuttavia da più di un secolo scienziati, ricercatori e studiosi lavorano allo sviluppo di una tecnologia in grado di sostituire l’uso dei combustibili fossili e/o convenzionali con le cosiddette Energie Rinnovabili. In realtà si potrebbe a buon diritto sostenere che lo sfruttamento di fonti di energia rinnovabili era già presente nei “tempi antichi”, come dimostrano ritrovamenti archeologici, edifici ancora esistenti, documenti, libri, progetti, racconti e quant’altro e soprattutto per quel che riguarda l’utilizzo di acqua e vento (e ovviamente del loro moto) per la creazione di energia a costo zero e per tutti disponibile. 138 anni è il lasso di tempo calcolato dalla celebre rivista americana “Popular Science” (Popular Science Monthly, fondata nel 1872), nel corso dei quali architetti e ingegneri hanno riadattato vecchi mulini a vento olandesi in turbine eoliche, mulini ad acqua in impianti che sfruttano

l'energia delle maree, sistemi tradizionali di riscaldamento dei pavimenti sul modello delle terme romane (F.L. Wright, ispirandosi a quelle e all'architettura giapponese ne fu in architettura il principale interprete dell'età contemporanea) in centrali elettriche geotermiche. Certo i prototipi dei primi impianti illustrati di seguito somigliano solo vagamente ai moderni parchi eolici o alle centrali solari cui siamo avvezzi oggi e sembrano fare riferimento, nei disegni e nelle descrizioni, tanto alla letteratura fantascientifica dei più bei romanzi Urania, quanto ai romanzi utopisti/fantastici alla William Morris, con le relative bellissime illustrazioni a carboncino o china, dei primi del secolo scorso e della fine del precedente. Ma quelle illustrazioni dell'età della prima rivoluzione industriale, così affascinanti e, agli occhi di noi contemporanei, al contempo naif, non sono altro che il primo passo fatto dall'uomo moderno nella giusta direzione del rispetto dell'ambiente (un'idea che, come si è detto più volte nei precedenti articoli, è ben più antica di quanto oggi non si pensi e che nasce contemporaneamente all'uso delle macchine ed alla loro diffusione a macchia d'olio dall'Inghilterra, e poi di là dalla Manica verso Europa e America, già a cavallo fra XVII e XVIII secolo). In questi primi progetti Anni '20 e '30 sono presenti ovvi errori di progettazione e valutazione: i mulini a vento in cima all'Empire State Building, ad esempio, non avrebbero mai potuto soddisfare il fabbisogno energetico di Manhattan, così come le fattorie "ad alghe marine" erano molto lontane dal modello moderno di "fonte di energia a combustibile pulito", ma i prototipi – ingegnosi e avveniristici, quasi opere avanguardiste e di scene cinematografiche espressioniste – pur costosi e spesso inefficaci in quanto errati, sono serviti a comprendere non solo i limiti tecnici degli impianti – e quindi sono stati inesauribile ed impagabile fonte di studio ed analisi da parte degli ingegneri che vi avevano lavorato e dei nuovi che andavano ad aggiungersi a quei primi nella ricerca del nuovo Eldorado delle energie Pulite – ma anche la valutazione esatta dei costi e dunque dei benefici: "Agli albori dell'Estimo moderno", si potrebbe scrivere nel titolo di un ipotetico romanzo o saggio sulla storia della disciplina estimativa così come oggi la conosciamo ed utilizziamo. Nonostante gli errori, le delusioni, le battute d'arresto – in perfetta linea col più "naturale" e tenace metodo scientifico, le sue conquiste e le sue delusioni – gli ingegneri che si sono cimentati con lo sviluppo della moderna tecnologia delle rinnovabili sono stati infine in grado di sfruttare, facendo loro sempre meno danni, le nostre risorse naturali. La tecnologia delle Rinnovabili ha fatto negli ultimi dieci anni passi da gigante ma ha ovviamente ancora molta strada da fare, come testimoniano la cronaca specialistica e il territorio in cui viviamo. Tuttavia è interessante conoscere i primi, eccentrici e affascinanti esperimenti sostenibili, molti dei quali non sono rimasti sulla carta, ma sono stati effettivamente realizzati e rimasti in opera (vedi la turbina eolica di Putnam-

Smith in Gran Bretagna, di fatto il più grande parco eolico offshore del mondo) fino a questi ultimi anni.

Seguono dieci esempi, che abbracciano un arco di tempo di poco più di 50 anni e, assicuro, non sono tratti da un romanzo di Jules Verne o di Herbert George Wells.

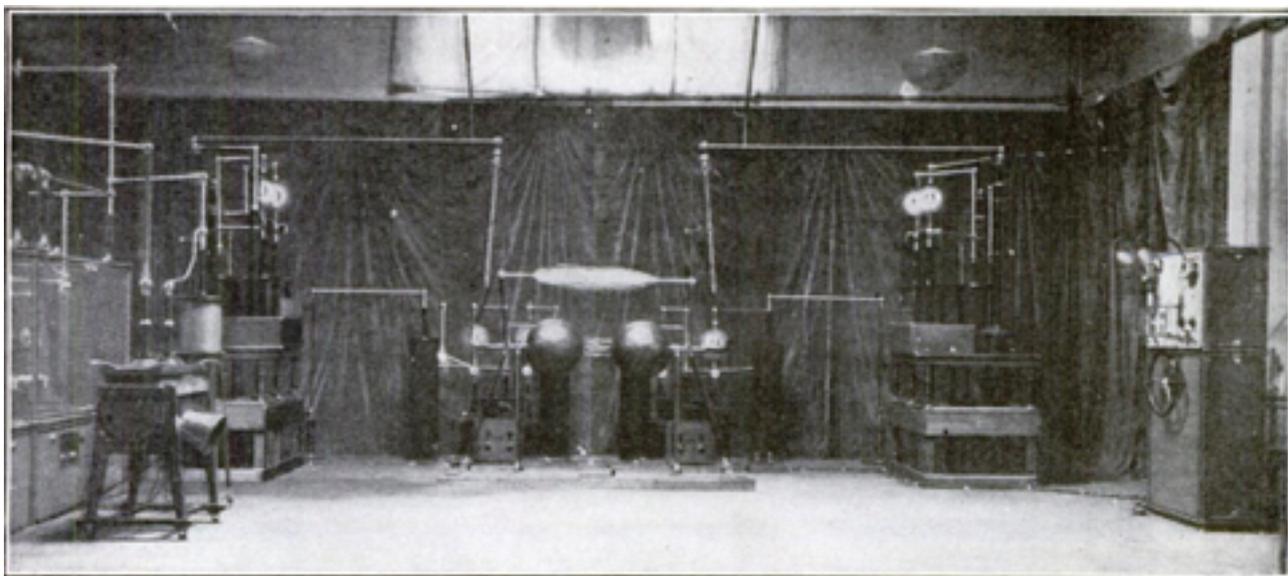
### 1. Sole artificiale – Francia, ottobre 1925

Dal suo studio sui raggi catodici e sulla teoria delle particelle, il fisico francese, futuro premio Nobel 1926 per la Fisica Jean Baptiste Perrin (professore di fisica alla Sorbona e fra l'altro scopritore del Numero di Avogadro) si cimentò nella realizzazione di una macchina che avrebbe usato la disintegrazione atomica per produrre 10 milioni di volt di corrente continua. Teoricamente, il suo "impianto-produttivo-solare del futuro" avrebbe dovuto essere in grado di produrre energia permanente sfruttando una fonte di energia appunto "rinnovabile" e così in



grado di sostituire carbone e petrolio (da un'intervista del 1925: "But, Professor Perrin," I questioned, my eyes still dazzled by that blinding flash, "is what you say to be taken literally – do you actually hope to produce an artificial sun?". "On small scale – yes," he replied calmly. "What you have just seen is the beginning of the process. When I have a machine of sufficient power, I can complete it. For with 10,000,000 volts of direct-current electricity, I believe I can break up the atomic structure of matter-disintegrate individual atoms; perhaps even drive the nucleus of one atom into another atom and thus create a much denser atom. If I am able to do that, the secret of the sun's radiation will have been solved. (...)"). Una volta ottenuta la disintegrazione atomica, Perrin profetizzava l'inizio di una nuova era di

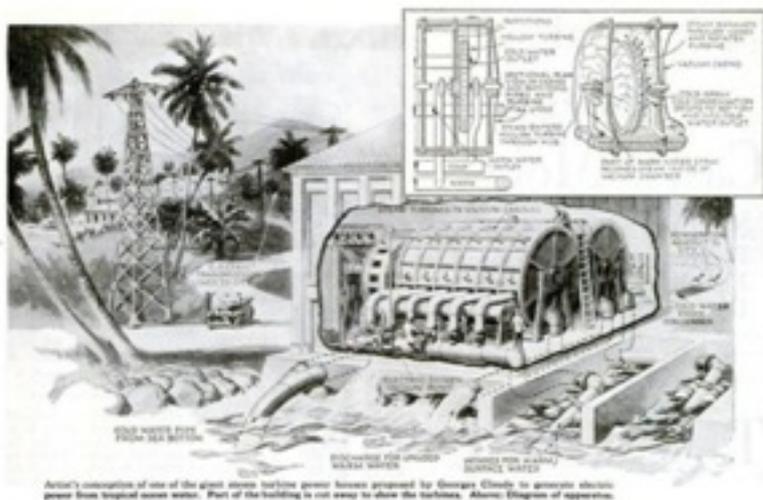
energia a basso costo, “dal potere concentrato in uno spazio così piccolo (quanto quello contenuto fra le tacche di una provetta medica da laboratorio) ma in grado di guidare il dirigibile Los Angeles fin sopra il Polo Nord e di nuovo indietro al suo hangar”.



La macchina a corrente continua nello studio di Parigi di Jean Baptiste Perrin, in grado di produrre 600,000 Volt.

## 2. Turbina gigante a vapore – Francia, ottobre 1928

Già entro il primo ventennio del Novecento, gli scienziati avevano cominciato a considerare il mare ed il moto delle maree come fonte di energia. Ancora una volta le prime interessanti proposte vengono dalla Francia. Il chimico transalpino Georges Claude, celebre per l'invenzione della lampada al neon,



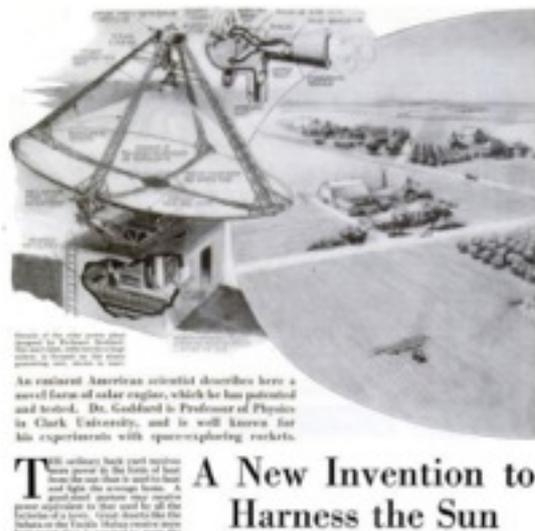
fu anche il primo “ingegnere” a progettare e costruire prototipi di impianti Ocean-Thermal di conversione energetica. Come le macchine in uso oggi, le sue turbine lavoravano attingendo l'energia prodotta dalle differenze di temperatura tra le acque profonde e quella superficiali. Si racconta che già nel 1928

egli fosse stato in grado di generare una quarantina di kilowatt di energia elettrica utilizzando il calore naturale delle acque della Mosa. Ottenuto un effettivo successo, Claude propose la costruzione di grandi stazioni e impianti

commerciali in prossimità di acque tropicali. L'immagine allegata è frutto del lavoro di un artista a lui contemporaneo e descrive il funzionamento della turbina gigante a vapore di Claude, utilizzabile non solo per la produzione e fornitura di energia elettrica, ma anche per l'approvvigionamento di acqua fredda delle zone circostanti l'impianto. Tra il 1930 e il 1935, Claude realizzò due impianti a Cuba e in Brasile, ma entrambi furono distrutti dalle tempeste prima di poter essere utilizzati con profitto.

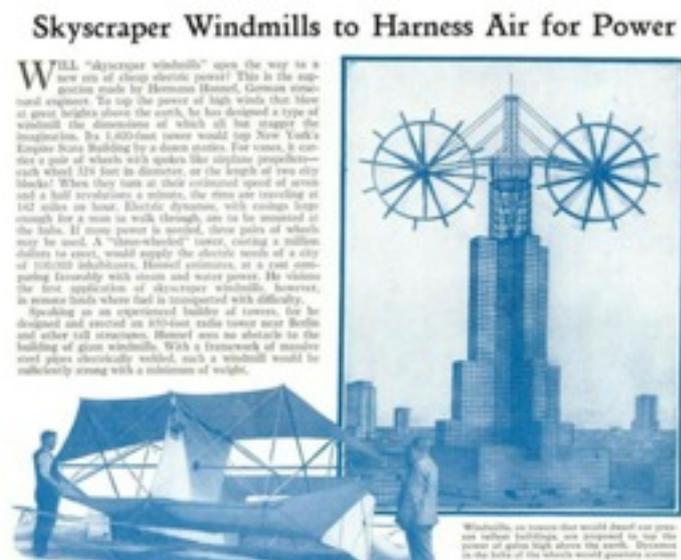
### 3. Centrale Solare: “una nuova invenzione per imbrigliare il sole” – USA novembre 1929

Benché fisico americano Robert H. Goddard, ideatore e costruttore del primo razzo a propellente liquido al mondo, sia noto ai più per i suoi contributi al volo spaziale, è interessante sapere come sia stato anche il primo ad aver brevettato un motore in grado di convertire la luce solare in energia utilizzabile: un grande specchio in alluminio riflette i raggi solari focalizzandone il calore generato su un generatore a vapore.



### 4. Mulini a vento/grattacielo – Germania, giugno 1932

“Per decenni, abbiamo cercato di capire il modo più efficiente per estrarre energia dalla forza del vento”, così Hermann Honnef, ingegnere strutturale tedesco, che progettò la messa in opera e relativo funzionamento di giganteschi mulini a vento in cima ai grattacieli per fornire le moderne metropoli di energia elettrica a buon mercato. Il progetto più celebre è quello

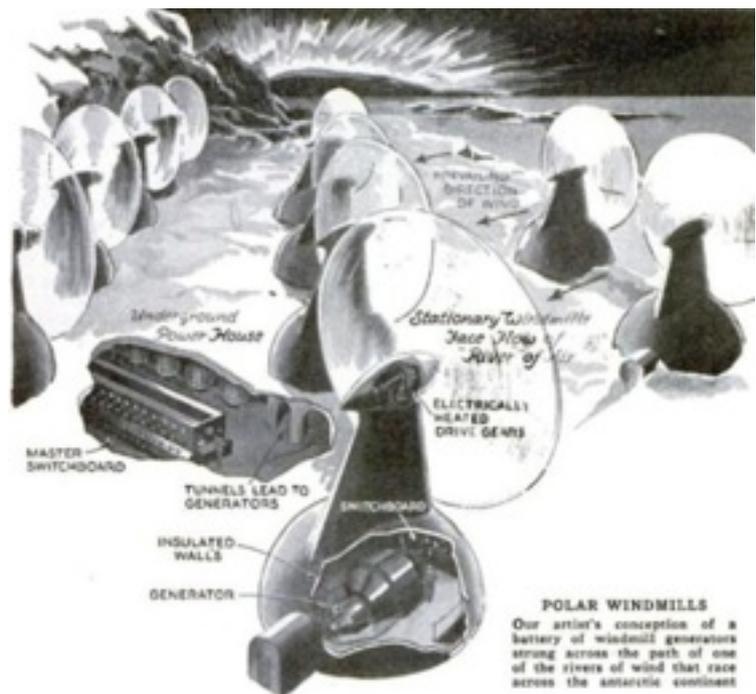


dell'Empire State Building di New York: qui Honnef studiò il meccanismo di due enormi ruote, sulla vetta della torre, dotate di dinamo elettriche per la generazione della corrente (“lassù dove il vento spira forte...”). Le ruote avrebbero dovuto avere un diametro equivalente alla lunghezza di due isolati cittadini e sarebbero state in grado di compiere sette giri e mezzo al minuto, ovvero a 142 miglia all’ora. Secondo i suoi calcoli, un “mulino a vento grattacielo a tre ruote” avrebbe potuto fornire elettricità a una città di medie dimensioni ovvero con una popolazione media di 100.000 individui. (Compiendo una semplice ricerca in google, sono facilmente visionabili disegni e progetti, una affascinante carrellata di immagini degne delle grandi Esposizioni Universali fine Ottocento/primi del Novecento).

### 5. Mulini a vento polare – Australia/Gran Bretagna, marzo 1936

Professore emerito all’Università di Cambridge, Frank Debenham (esploratore e geografo australiano) fu anche co-fondatore del Scott Polar Research Institute: fatto che in questa sede risulta di notevole evidenza per i suoi studi sulla fattibilità di parchi eolici, e la propaganda pubblicitaria, al Polo Nord e al Polo Sud. Operatori avrebbero eseguito all’interno di centralini

ciascuna turbina, mentre tunnel che portano a generatori sotterranei avrebbero convertire l’energia eolica in energia elettrica. Debenham dimostrò di essere lungimirante ipotizzando un forte movimento di migrazione verso le aree polari della popolazione del futuro in risposta agli inarrestabili cambiamenti climatici e, per la facilità della fornitura di energia elettrica a disposizione, per affari e commercio (“Mounted on streamline steel towers, Mammoth metal vanes whirling



at high speed in the torrents of polar wind would tap an Energy supply far greater than that created by the 6,000 tons of water which rush over the brink of Niagara Falls every second. With this tremendous supply of electric power available, it may be possible to push the frontier of civilization far down into the antarctic area to recover the vast mineral wealth believed to exist in the mountains of the south polar region, much as the large mineral resources of

arctic Lapland, which had been untouched by man for ages, are today being tapped for their wealth by the abundant electric power produced by her icy rivers.” – Popular Science Monthly, Settembre 1935, p. 34).

#### 6. Turbina a vento “Smith-Putnam” – Stati Uniti, luglio 1941

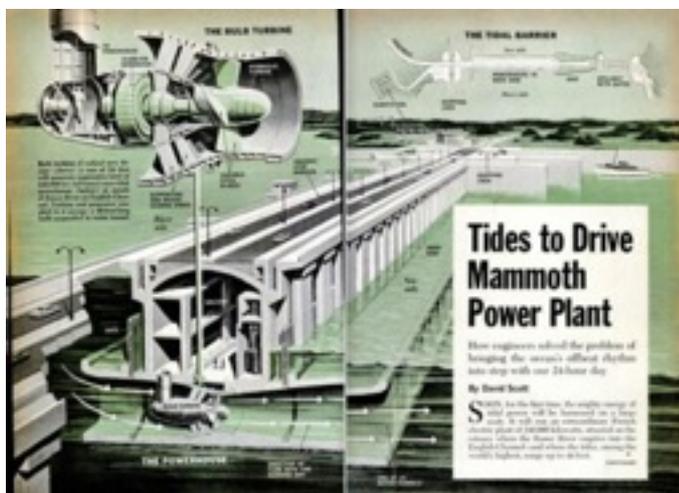
L’avevo già citata poco sopra: nel 1930 l’ingegnere americano Palmer Putnam collaborò con la General Electric e la Vermont Public Service Corporation per lo studio e la progettazione di una turbina a vento sperimentale. La Stephen Morgan Smith Company accettò di produrre la macchina, che finì per diventare la prima turbina eolica-megawatt al mondo: un siluro a pale di ventilatore nel rustico Vermont. La turbina utilizzava un generatore sincrono fornito dalla General Electric, in grado di produrre effettivamente 2.400 volt/60 cicli. Dopo la sua costruzione ascrivibile alla fine del 1941, la Turbina Eolica Smith-Putnam lavorò per un totale di 1100 ore prima che una delle sue lame smettesse di funzionare, e fu smantellata nel 1946, ovvero quando la società patrocinante il progetto, la suddetta Morgan-Smith, ne valutò la scarsa redditività in rapporto ai costi di manutenzione e uso.



#### 7. Il potere energetico delle maree – Francia, giugno 1965

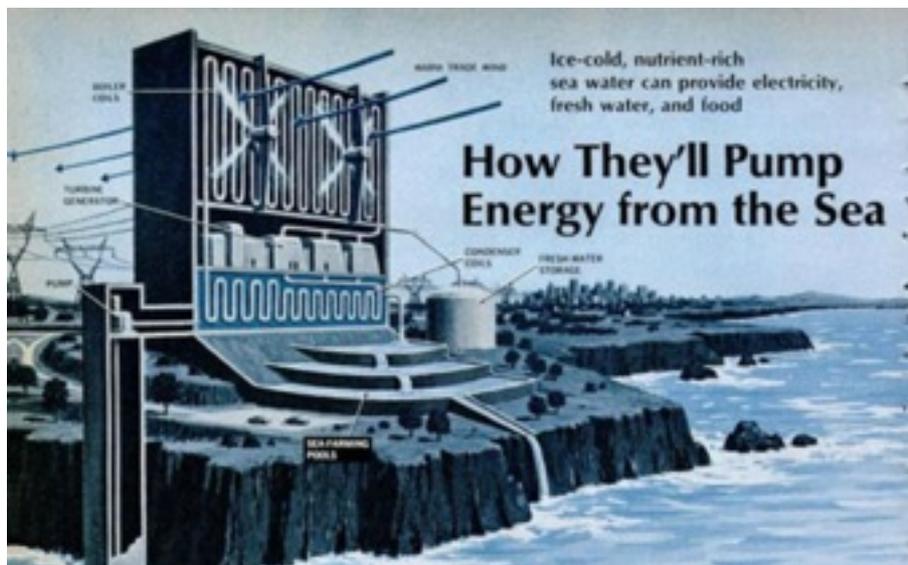
Negli ultimi decenni gli ingegneri hanno lottato per sviluppare una tecnologia in grado di convertire in modo efficiente l’energia delle maree in elettricità. Dopo 40 anni di studi, prototipi e progettazione, la Rance Tidal Power Station, situata in Bretagna sulla foce del fiume Rance, ha aperto nel 1966 la prima struttura al mondo in grado di sfruttare l’energia delle maree. Da subito,

fin dal momento della loro costruzione, le due dighe hanno contribuito notevolmente alla creazione di un nuovo equilibrio ecologico, con una grande varietà di pesci, uccelli ed altri animali selvatici. Oggi l’impianto di Rance genera 240 megawatt grazie alle sue 24 turbine ed è in grado di soddisfare lo 0,012 per cento del fabbisogno di energia elettrica dell’intera Francia.



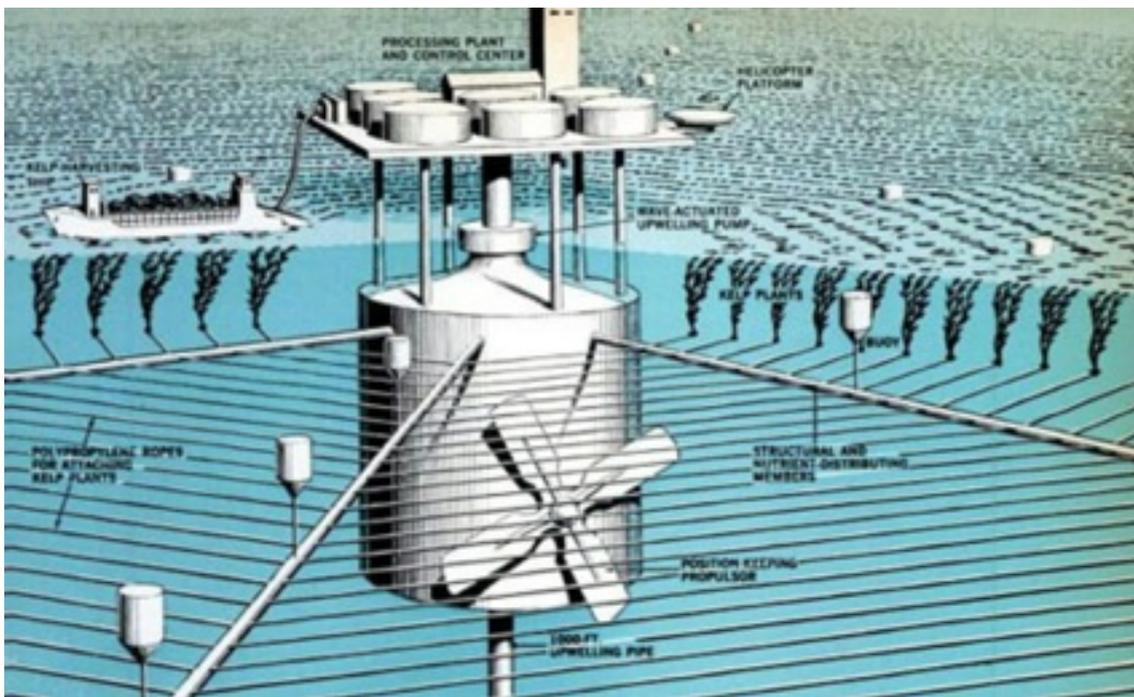
## 8. L'energia prodotta dall'acqua del mare – USA, marzo 1971

“Come fanno a pompare energia dall'acqua del mare?”. La Costruzione di un impianto che sfrutta l'energia generata dalle maree è spesso più facile a dirsi che a farsi. Così O.A. Roels e Robert Gerard, ricercatori del Lamont-Doherty Geological Observatory (oggi Earth Observatory) presso la Columbia University, hanno ideato una macchina che utilizza il vento caldo e l'acqua del mare per riscaldare una caldaia a fluorocarbonio refrigerante, che si riduce a circa temperatura ambiente. Il vapore prodotto e in ascesa dal refrigerante, fa girare il generatore a turbina, mentre l'acqua fredda pompata da un fondale di 2.500 piedi, rimette in circolo nuovamente il vapore facendolo tornare così allo stato liquido. Il processo potrebbe generare energia sufficiente a soddisfare il fabbisogno di una “piccola comunità”. Roels e Gerard avevano in mente di costruire il loro impianto al largo di St. Croix ma il progetto non si è di fatto mai spinto oltre la fase di pianificazione.



## 9. Fattorie marine – USA, luglio 1975

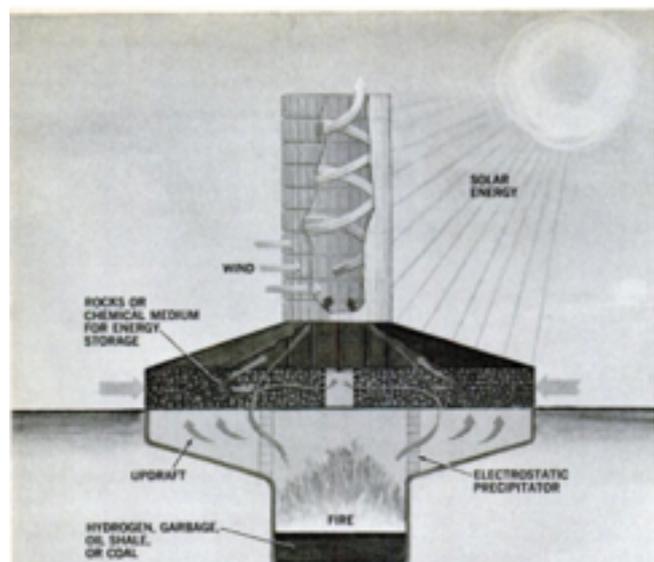
“Quando si tratta di energia sostenibile, l'Oceano non è solo una fonte di energia che sfrutta il moto delle maree: secondo il Prof. Richard Bogan, dalla National Science Foundation, le alghe marine giganti potrebbero anche essere utilizzate dalle aziende agricole per convertire l'energia dei fotoni solari in carburante pulito (...) Certo bisogna valutare un paio di problemi: in primo luogo, il mare ha un fondale così profondo che le alghe piantate in serie, per quanto “giganti”, non sono in grado di coprire in altezza fino alla superficie; in secondo luogo, una “fattoria aperta ad alghe oceaniche” deve poter galleggiare sulla superficie stessa dell'oceano per poter assorbire al meglio i fotoni solari, ma quella superficie è in gran parte priva di sostanze



nutritive” (P.S.M., July 1975, pp. 62-65). Il disegno allegato, anch’esso tratto dalla rivista scientifica americana, spiega il sistema di funzionamento ideato da Harold Wilcox, del Naval Undersea Center di San Diego: “Thousand-acre proof-of-concept kepl farm, conceived by Dr. Harold A. Wilcox and colleagues, would be built in 1982, produce about 400,000 tons of kelp per year for conversion, on site, to fuels, petrochemical products, and feed-stocks for animals. Wave-actuated pump would bring nutrientrich cold water up from 1000-foot depth. Additional food for giant kepl plants transplanted to submerged mesh would be distributed through farm’s structural members. First experimental kelp farm was installed 60 miles out in Pacific off San Clemente Island in 300 feet of water.” (P.S.M., July 1975, p. 64).

#### 11. Turbina Tornado – USA, gennaio 1977

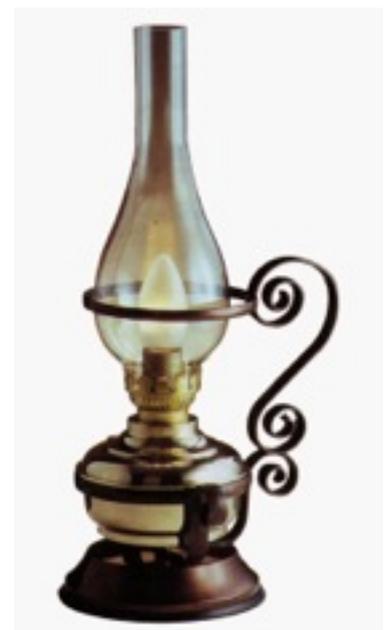
E infine la “Turbina tornado”, recensita dalla Rivista Americana nel gennaio del 1977: “Ricordate i mulini a vento sui grattacieli newyorkesi dei progetti di Hermann Honnef? Nel 1977, James Yen, ingegnere specializzato in fluidodinamica e associato alla Grumman Aerospace Corp., ha cominciato a studiare le “torri a turbina” situate nel cuore delle grandi metropoli (americane). Teoricamente il suo progetto



prevede la conversione dei venti regolari in mini tornado in grado di generare energia elettrica. Eccone il potenziale funzionamento: il vento in arrivo entra nella turbina attraverso delle alette verticali regolabili; le spirali di vento si muovono verso l'interno, la loro velocità aumenta e crea così un vortice a bassa pressione. Contemporaneamente una turbina situata all'interno della torre sposta l'aria che arriva attraverso degli ingressi supplementari disposti alla base della torre. La differenza di pressione tra l'aria che si trova incanalata in basso, ai piedi della torre, e quella nel vortice creato alla sua sommità permette alla turbina per generare elettricità”.

Ora, questi macchinari avevano come scopo la produzione di grandi quantità di energia tali, secondo le premesse dei loro progettisti, da soddisfare il fabbisogno di intere città e quasi mai erano concepite per l'utilizzo da parte dei singoli cittadini come ad esempio con gli attuali pannelli solari (con l'eccezione qui del progetto numero 3, la Centrale Solare di Robert H. Goddard, presentata in una delle immagini tranquillamente piazzata in quella che sembra essere una fattoria privata). É quindi quasi comprensibile il loro aspetto mastodontico, quasi monumentale e totalmente avulso da un qualsiasi contesto in cui possano venirsi a trovare, tantopiù che, viste le loro dimensioni considerevoli molte erano dislocate in aree isolate, desertiche e fuori mano (anche se questo non impedì a Hermann Honnef di installare delle gigantesche pale eoliche nientemeno che sull'Empire State Building, nel mezzo di New York, un accorgimento che non avrebbe di certo fatto sfigurare il grattacielo in un romanzo Steampunk vittoriano o in qualche universo futuristico di Asimov.

Se per gli impianti di generazione dell'energia si decise di optare per un grande impatto visivo, dalla presenza imponente e prepotente, un'imposizione totale della forza dell'industria umana sul pianeta, per quanto concerne gli impianti di utilizzo di tale energia si scelse la via opposta, quella di una mimesi assoluta, una integrazione talmente completa in quelle che erano gli impianti precedenti da non riconoscere ai nuovi arrivati (qui vedremo esempi principalmente nel campo dell'illuminazione) un linguaggio proprio, fatto che li relegò a meri sostituti delle lampade a olio per diversi decenni, con risultati dai risvolti a volte aberranti e di cui alcuni esemplari sono sopravvissuti fino ai giorni nostri, rinvenuti ancora in qualche “salotto buono” della casa di qualche anziana parente.





Possiamo vedere come, oltre al riutilizzo e all'integrazione (se di integrazione si può parlare) delle lampade su dei candelabri, non ci si è fatti scrupolo alcuno e riutilizzare appunto dei candelabri artigianali di fine Settecento (il sito da cui l'immagine è stata presa non specifica se i candelabri siano originali e riadattati per ospitare i circuiti elettrici o prodotti nuovi su modelli preesistenti).

Qui possiamo vedere quello che può essere considerato il "simbolo" di questo raffazzonato processo di mimesi. Il candelabro da soffitto le cui candele venivano sostituite da finti ceri in ceramica o plastica, con tanto di "gocce" di cera fusa e lampadine sagomate (specialmente nei periodi successivi) in forme reminescenti quelle di una fiamma.



Bisognerà attendere gli anni '30 del XX secolo perché inizino a vedersi i primi esempi di lampade elettriche dotate di un proprio carattere e aspetto distintivo, in grado di distaccarsi da una semplice imitazione o riadattamento di candelabri, lampioni, torce o lampade a olio.



É questo genere di lento processo di distacco dal preesistente che si auspica di evitare per l'integrazione degli impianti tecnologici a energia rinnovabile dato che,

questo è un dato certo, saranno gli impianti che caratterizzeranno il futuro delle nostre città. Tanto vale impegnarsi sin da subito per sviluppare un linguaggio che sia “loro”, distintivo e che permetta di rendere loro la giusta visibilità pur integrandoli in maniera armoniosa nel precostruito, senza forzarli in un tentativo di mimesi forzata con lo scopo di nasconderli o farli apparire ciò che non sono, evitando magari soluzioni simili a un lampione simile a quelli che illuminavano con fiamma ad olio i lati delle strade nel XIX secolo ma dotato di lampada a LED interna con annesso, ma ben nascosto, un pannello fotovoltaico.



## CAPITOLO 3

“La situazione attuale delle tecnologie a energia rinnovabile e le strade intraprese dal processo d'integrazione”

Nel capitolo precedente abbiamo visto come nel passato l'arrivo di nuove tecnologie abbia sempre dovuto fare i conti con l'integrazione nel costruito.

L'esempio precedente, ovvero l'integrazione dell'illuminazione elettrica negli edifici abbia portato a due diverse strade per la realizzazione dei generatori di tale energia e per gli impianti di fruizione della stessa invece, con metodi diametralmente opposti.

Se per la produzione si era optato, complice anche l'esplosione dell'industrializzazione selvaggia e del modello fordista, le centrali elettriche, specie quelle che per prime intendevano sfruttare le energie rinnovabili, si era puntato al monumentalismo, quasi a costruire “cattedrali” dove venerare il potere della produzione industriale, gli elementi di fruizione di tale energia ebbero invece uno sviluppo molto più timido, finendo per essere quasi fagocitati e assimilati negli stessi impianti che per decenni avevano fornito illuminazione a olio e derivati e che sembravano più che decisi a non essere rimpiazzati tanto facilmente.

Ora che le energie rinnovabili appaiono la nuova frontiera della produzione energetica quale sarà il loro percorso di integrazione nel pre-costruito?

L'approccio monumentale pare definitivamente scongiurato, vista la crescente sensibilizzazione riguardo l'inserimento di grandi strutture in un ambiente di riconosciuto valore ambientale o storico, proteste che spesso accadono anche per la realizzazione di semplici impianti fotovoltaici o eolici in aree lontane da centri abitati, impianti accusati di “deturpare il paesaggio naturale”. Abbiamo anche osservato come attualmente varie leggi si stiano impegnando per regolamentare interventi del genere con lo scopo di preservare il patrimonio artistico e storico dei siti di intervento, sebbene ad ora l'impressione che se ne ricavi sia generalmente quella di un tentativo ancora embrionale, atto principalmente a salvaguardare da iniziative sconcordate e nello stesso tempo a incentivare l'utilizzo di tecnologie non ancora percepite dalla maggior parte degli utenti come la prima scelta possibile per quanto concerne l'approvvigionamento energetico.

Va inoltre considerato che ormai i dispositivi di produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili hanno raggiunto una dimensione familiare per così dire, o addirittura personale, permettendo al singolo utente di decidere riguardo la loro installazione sulla propria proprietà, avvicinando ulteriormente la produzione di energia al suo fruitore.

Questo ovviamente scoraggia in maniera ulteriore eventuali installazioni appariscenti come quelle presentate precedentemente. L'altra estremizzazione ovvero la mimesi estrema, fino al rischio della scomparsa, è anch'essa da evitare per quanto possibile, perché relegherebbe queste nuove tecnologie a un ruolo secondario che non renderebbe giustizia alla loro importanza, minando il processo di evoluzione del linguaggio architettonico, perlomeno per quanto concerne le tecnologie a energie rinnovabili. La possibilità di ottenere un impatto visivo nullo rimane una scelta possibile e preferibile in presenza di vincoli architettonici di ordine storico o artistico, che renderebbero non attuabile qualsiasi altro tipo installazione di tecnologie a energie rinnovabili.

Per quanto concerne gli edifici di valore storico non sufficiente a porli sotto tutela l'utilizzo di una soluzione di mezzo può forse essere la via ottimale, in quanto pone limiti minori alla gamma di tecnologie utilizzabili e permette inoltre di modernizzare l'aspetto del centro storico di una città, integrando moderne tecnologie di generazione energetica e contribuendo a mantenere moderne e all'avanguardia parti della città che altrimenti potrebbero correre il rischio di finire cristallizzate in interventi che mirano solamente a mantenere lo stato attuale, senza innovare o migliorare quanto possibile con una politica oculata e responsabile.

I pannelli fotovoltaici sembrano essere quelli maggiormente in grado di adattarsi a tutte le esigenze che è possibile trovare, in quanto l'efficienza degli impianti eolici dipende in gran parte dall'ampiezza delle pale che è possibile installare e ciò difficilmente si concilia con l'installazione su edifici di un certo valore storico o artistico senza un notevole impatto visivo, oltre alla totale dipendenza dalle condizioni climatiche proprie della zona, in quanto senza la presenza di un clima ventoso pressoché costante impianti di questa tipologia non sono in grado di fornire un apporto apprezzabile.

Ci sono alcune tipologie di impianti, denominati appunto minieolico e microeolico, nati inizialmente proprio per far fronte alle varie proteste riguardo l'alto impatto ambientale delle turbine sui paesaggi circostanti.

Il minieolico consiste in impianti la cui altezza è inferiore ai 30m ma per ottenere una buona potenza generata è buona norma che il pilone che sorregge le pale sia situato ad una quota almeno 10m superiore a qualsiasi albero o fabbricato nel raggio di 150m.



D'impostazione ancora più ridotta sono gli impianti del cosiddetto microeolico, con cui si intendono impianti portatili in grado di generare meno di 1kW e solitamente utilizzati per fornire energia a lampade a fluorescenza, laptop, elettrodomestici e materiale da campeggio.

L'utilizzo di generatori di tali ridotte dimensioni negli edifici è possibile quando si ricerca un impatto visivo ridotto ma sconsigliato in quanto proprio le loro ridotte dimensioni, gli impianti di microsolco sono maggiormente suscettibili a rumori, vibrazioni e al fenomeno della turbolenza quando installati in ambito cittadino.

Entrambi sono pensati per l'ambito domestico e hanno come unico requisito quello di una ventosità minima annuale di 5m/s (anche se generalmente la potenza nominale è calcolata a 12m/s).

In caso di installazione si nota in ogni caso una miglior adattabilità degli impianti ad asse verticale per gli ambienti cittadini, in grado di sfruttare l'altezza degli edifici. Le ridotte dimensioni di questi impianti e i bassi requisiti che richiedono ne rendono adatto l'utilizzo oltre che in zone cittadine anche in zone piuttosto isolate, con il vantaggio di abbattere i costi dell'allacciamento alla rete elettrica o per garantire un apporto di energia elettrica dove addirittura l'allacciamento risulterebbe impossibile.

I pannelli fotovoltaici trovano anche loro un impiego sempre più diffuso in edilizia e si sono dimostrati tra i prodotti con maggiore adattabilità ad ora in uso, grazie alla possibilità di modificare la composizione del pannello stesso, le dimensioni adattabili a ogni esigenza e addirittura la consistenza stessa dei pannelli. Oltre che come semplici installazioni da copertura, sono stati anche utilizzati come marcapiano o frangisole. Differentemente dagli impianti eolici possiedono anche la capacità di avere un aspetto trasparente o di poter essere colorati della tinta adeguata a quella della zona d'inserimento.

Sta prendendo poi sempre più piede anche l'uso del silicio amorfo, che può essere utilizzato per creare superfici semitrasparenti o colorate, continue e di ragguardevoli dimensioni, realizzati depositando una serie di strati di silicio sottilissimo (nell'ordine di 1-2 micron) su supporti, sia rigidi sia flessibili, di materiale plastico o vetro.

Il rendimento si attesta nell'ordine del 6-10% e tende a decadere nel tempo ma garantisce costi contenuti vista la ridotta quantità di materia prima utilizzata. Il loro rendimento tende inoltre a rimanere discretamente buono anche in situazioni di cielo coperto.

Le tipologie delle tegole fotovoltaiche nasce con il preciso scopo di



soddisfare l'esigenza di integrazione architettonica in edifici soggetti a restrizioni e in interventi di recupero edilizio senza deturpare l'ambiente e la bellezza architettonica della struttura. Ad ora i risultati riguardo l'integrazione e l'impatto visivo non sono tra i migliori però e lasciano spazio ad ampi margini di miglioramento.

Tra le tipologie che hanno riscontrato un successo maggiore abbiamo le tegole fotovoltaiche in silicio amorfo, che permettono la creazione di un manto di colore scuro e uniforme che si integra ottimamente anche con coperture tradizionali (es. ardesia). Grazie al tipico colore scuro, simile a quello caratteristico dei pannelli fotovoltaici e alle dimensioni e alla forma rettangolare delle lastre di ardesia utilizzate comunemente nelle coperture, pannelli fotovoltaici di questo tipo possono avere una possibilità migliore di ottenere un risultato soddisfacente per quanto concerne la loro integrazione nel costruito e nell'impatto visivo.

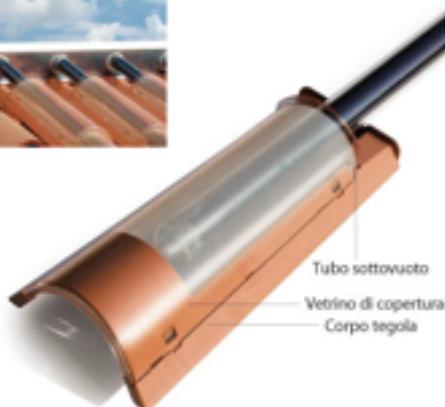
Solitamente queste tegole fotovoltaiche sono munite di un vetro di protezione che ne garantisce la durata nel tempo, offrendo protezione da agenti atmosferici, urti e scalpaccio.

Esse sono costituite da dei piccoli pannelli fotovoltaici inseriti tra i coppi, realizzati con argilla naturale oppure con un tecnopolimero, che rende possibile l'adattamento a qualsiasi tipo di superficie. Tra i loro vantaggi vi è anche la facilità di installazione, in quanto non richiedono operazioni aggiuntive riguardo al montaggio di un tetto in semplici tegole.

Mediamente sono però necessarie circa 250 tegole per ottenere un singolo kWh di potenza elettrica, richiedendo un'area minima di 18mq.



Collettore di distribuzione in rame con protezione in alluminio



Infine, come tutti gli impianti fotovoltaici, il rendimento risulta migliore se orientati verso sud (un'eccezione è costituita dalle celle in silicio amorfo, che non necessitando di esposizione diretta all'irraggiamento solare non risentono in maniera rilevante di un'esposizione che potrebbe essere considerata non ottimale per altre tipologie di pannelli.

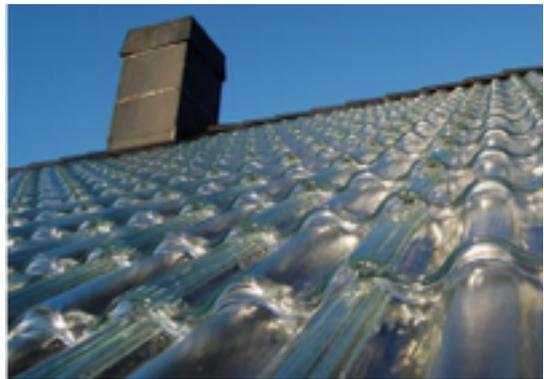
La tegola fotovoltaica termica invece è una tegola in laterizio, perfettamente integrato con

il tetto vista la forma praticamente identica a quella di una normale tegola e vengono utilizzate principalmente per la produzione di acqua calda a scopo sanitario e per soddisfare le esigenze dell'impianto idrico della casa.

Le tegole sono costituite da pannelli dotati di un collettore in rame e di tubi sottovuoto, i quali garantiscono, tramite serbatoi e accumuli termici, il soddisfacimento dell'impianto idrico sanitario ed eventualmente anche di un sistema di riscaldamento tradizionale a termosifoni, a pavimento o a pannelli radianti.

L'intero impianto è gestito da una centralina che gestisce le modalità di misurazione e controllo.

Nonostante il loro nome, i tetti ricoperti con le tegole trasparenti tendono a risaltare proprio per la caratteristica mancanza di colorazione rispetto alle coperture tradizionali. Si tratta di tegole realizzate in polycarbonato, pvc o vetro, particolarmente resistenti agli agenti atmosferici. Con tale materiale è possibile ottenere dei lucernari opachi e trasparenti oppure delle vere e proprie tegole singole, in grado di far passare buona parte della luce pur raccogliendone comunque una buona parte per fornire energia all'edificio.



Le tegole solari piane infine presentano una struttura piatta, perfettamente adattabile a ogni tipologia di tetto, inclinato o a falda, senza nessun elemento visibile in rilievo. Questa tegola è realizzata in una sottile pellicola e ha come vantaggio una installazione molto semplice,

completata da elevate prestazioni durevoli nel tempo e resistenti agli agenti atmosferici. La composizione modulare permette l'eventuale riparazione delle sole parti esauste o danneggiate e la superficie è considerata calpestabile senza arrecare danni o ridurre le prestazioni future.



Su un consumo familiare standard, con un consumo da 3KW e considerando un rendimento del 12% si è calcolato un costo dell'impianto, comprensivo di inverter per la conversione in corrente alternata e monitor per controllo e supervisione, di circa 7000 euro.

Infine il Centro di Ricerca Privato CSEM, con sede in Svizzera, sta recentemente sviluppando tecnologie fotovoltaiche basate su sottilissime pellicole in silicio che vengono successivamente applicate su di una superficie liscia, aderendo perfettamente per il Fotovoltaico Integrato all'Edificio (Building Integrate Photovoltaic BIPV). Con leggerissime modifiche allo spessore dello strati di silicio e alla sua composizione molecolare è stato possibile alterarne il colore per renderlo molto simile a quello della terracotta in modo da renderlo più facilmente integrabile. Con la modifica delle micro trame delle lastre hanno permesso di realizzare altri colori, altre trame e addirittura di migliorare il rendimento in certi casi (fino al +2%).

## RIFERIMENTI

<http://www.fotovoltaicosulweb.it/guida/il-microeolico-e-il-minieolico-a-confronto.html>

Giachetta Andrea, Magliocco Adriano "Progettazione Sostenibile: Dalla pianificazione territoriale all'ecodesign", Carocci Editore, 2007, Roma.

G. Cattaneo, F. Galliano, P. Heinstejn, J. Bailat, L.E. Perret-Aebi and C. Ballif "Thin film colored modules or Building Integrated Photovoltaics"  
[http://www.swissolar.ch/fileadmin/user\\_upload/Tagungen/PV-Tagung\\_2015/Posterausstellung/P9\\_Thin\\_film\\_coloured\\_modules.pdf](http://www.swissolar.ch/fileadmin/user_upload/Tagungen/PV-Tagung_2015/Posterausstellung/P9_Thin_film_coloured_modules.pdf)

<https://it.wikipedia.org/wiki/Minieolico>

## CAPITOLO 4

“Un nuovo studio: lastre di vetro come collettori solari tramite la tecnologia dei nanocristalli”

In questo capitolo prenderemo in esame una nuova tecnologia, studiata per lavorare in congiunzione con normali pannelli fotovoltaici, in particolare quelli al silicio, che costituiscono ormai la grande maggioranza dei pannelli in circolazione. Nell'ultimo triennio il costo al dettaglio dei pannelli fotovoltaici al silicio è calato di quasi il 70%, permettendo di rendere energeticamente indipendenti anche stabili di piccole dimensioni con un investimento iniziale recuperabile in circa un decennio. In ambiti di alta urbanizzazione, dove lo sviluppo verticale degli edifici è maggiore e le superfici utilizzate tradizionalmente dagli impianti fotovoltaici, i tetti, non hanno dimensioni sufficienti ad ospitare un impianto in grado di soddisfare il fabbisogno dell'intero edificio sottostante, dato che ancora oggi sono necessari circa 7m<sup>2</sup> per ogni kW di potenza di picco installata.

Questo ha portato i centri di ricerca a spostare i loro studi verso metodi per integrare i sistemi fotovoltaici direttamente nelle strutture dell'immobile senza alterarne l'aspetto, ricerca che potrebbe essere impiegata con notevoli risultati nel campo dell'indipendenza energetica e del restauro di edifici di valore storico, artistico e culturale.

Il progetto realizzato presso il Dipartimento di Scienza dei Materiali dell'Università di Milano Bicocca per la costruzione di concentratori solari luminescenti (Luminescent Solar Concentrators, da qui LSC) a base di nanomateriali. Utilizzando questi concentratori sarà possibile trasformare finestre e vetrate da elementi puramente passivi, con la sola funzione di isolamento e illuminazione di una costruzione, a dispositivi attivi in grado di partecipare alla produzione di elettricità.

Va fatto notare che sebbene tale studio abbia come obiettivo la creazione di edifici a consumo di energia netto pressoché nullo (Zero-Energy-Building), anche in vista del soddisfacimento dei requisiti di sostenibilità della Comunità Europea secondo cui, nel 2020, tutti gli edifici di nuova costruzione dovranno essere energeticamente neutri, un tale risultato quasi certamente non sarà possibile se applicata nel campo del restauro, vista l'ovvia minore presenza e disponibilità a ospitare grandi superfici vetrate rispetto a un edificio di architettura moderna.

Essenzialmente, gli LSC sono delle lastre di materiali plastici, come il plexiglas, in cui vengono inglobati dei cromofori, ossia materiali in grado di assorbire e riemettere radiazione solare. Grazie a questi cromofori e sfruttando il fenomeno della riflessione totale interna, lo stesso procedimento

utilizzato dalle fibre ottiche negli impianti di telecomunicazioni, buona parte della luce catturata viene indirizzata verso i bordi esterni della lastra dove si trovano piccole celle solari convenzionali che provvederanno a convertirla in energia elettrica. Andando a modificare la tipologia di cromoforo c'è la possibilità di gestire l'opacità delle lastre e la loro colorazione, aumentando ulteriormente la possibilità d'integrazione del sistema lastra-pannello.

Questo genere di dispositivi vede la luce per la prima volta negli anni '70 al MIT di Boston come studio di metodi alternativi per ridurre l'impiego del silicio, allora materiale molto costoso da impiegare nel fotovoltaico anche se sono stati da allora utilizzati in tutto un altro genere di situazioni. Da subito hanno presentato un indubbio vantaggio rispetto ai sistemi basati sull'utilizzo di lenti e specchi, ovvero quello di mantenere una buona efficienza anche in presenza di luce diffusa con incidenza obliqua. L'attenzione riservata a queste tecnologie nel corso di questi quarant'anni sono stati molto altalenanti, con picchi di interesse riscontrati, guarda caso, durante le varie crisi petrolifere più che per una effettiva sensibilizzazione verso temi di natura ambientale.

Il motivo per cui, nonostante il lungo periodo di sviluppo di questa tecnologia, nessun tipo di LSC integrato in una finestra fotovoltaica sia attualmente sul mercato dipende da un fattore fisico. Tutti i cromofori naturali infatti, tendono ad assorbire, oltre alla radiazione solare incidente con loro, anche quella che loro stessi riemettono. Questo fenomeno, detto autoassorbimento, è il principale svantaggio di questa tecnologia poiché pur riuscendo a raccogliere efficacemente un grande quantitativo di energia solare, molta viene dispersa durante il tragitto verso la cella fotovoltaica sul bordo del concentratore. Questo problema ovviamente tende a crescere d'intensità proporzionalmente alle dimensioni della lastra in quanto maggiore è anche la distanza che la luce deve percorrere, rendendo quindi sempre più probabile il loro eventuale riassorbimento. Esistono quindi numerosissimi esempi, ad ora, di concentratori solari di pochi centimetri di lato in grado di offrire buone prestazioni, che però calano drasticamente quando tali dimensioni si avvicinano a quelle di una normale finestra.

Per tutto il periodo in cui si è studiato il loro impiego negli LSC i cromofori utilizzati sono stati di due tipologie. Quelli dei *coloranti organici* e quelli costituiti da *nanoparticelle colloidali di semiconduttori*.

I primi possono vantare, grazie ai processi chimici di sintesi, una grande flessibilità nelle loro proprietà ottiche e permette, in misura limitata, di controllare anche il fenomeno del riassorbimento. Questo però al costo di non essere in grado di sfruttare l'interezza della radiazione solare con efficienza, oltre a manifestare un'instabilità della particella stessa, con un drastico calo delle prestazioni dopo lunghi periodi di esposizione alla luce solare.

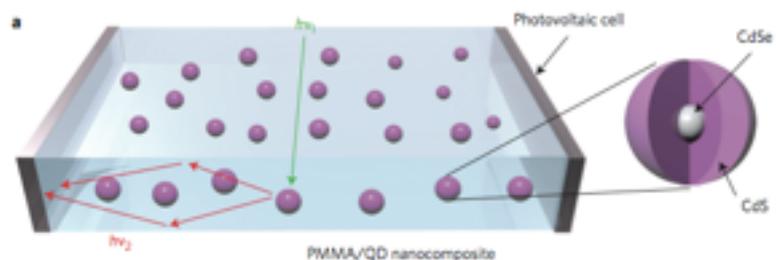
Le nanoparticelle a semiconduttore invece sono incredibilmente stabili e modificando le loro dimensioni è possibile ottenere assorbimenti apprezzabili lungo una buona frazione dello spettro solare. Il loro principale difetto è quello di avere una emissione e un assorbimento perfettamente risonanti, ovvero agenti alla stessa lunghezza d'onda, rendendo difficoltoso per gran parte della luce accumulata sfuggire al guscio esterno della nanoparticella una volta assorbita, il che rende molto pronunciato il fenomeno negativo dell'auto-assorbimento.

Il lavoro di sviluppo su questi nuovi LSC a elevate prestazioni si è concentrato fin dal suo avvio su una nuova tipologia di nanoparticelle, quelle cosiddette etero-strutturate, in quanto composta da una doppia sintesi: in sostanza, viene sviluppata una prima nanoparticella e successivamente essa viene ricoperta con un rivestimento di un secondo semiconduttore.

Queste strutture a cuore-guscio o, in inglese, *core-shell*, se opportunamente ingegnerizzate, permettono di assegnare a ogni loro porzione una funzione specifica. È possibile quindi, separare il processo di emissione da quello di assorbimento, eliminando il maggiore problema delle nanoparticelle colloidali, l'auto-assorbimento.

In particolare, se il guscio esterno è di dimensioni molto maggiori del nucleo, esso si ritroverà ad essere l'unica parte adibita all'assorbimento della luce. Successivamente l'energia verrà trasferita al nucleo della nanoparticella, che la riemetterà poi a una differente lunghezza d'onda dove il guscio esterno risulta praticamente trasparente.

La nanoparticelle impiegate in questo progetto hanno un cuore costituito da Seleniuro di Cadmio (CdSe) con un raggio di 1,5 nanometri, ricoperte da uno strato di Solfuro di Cadmio (CdS) con spessori fino a 5 nanometri.



Il rapporto tra il volume del guscio e quello del nucleo, un valore fondamentale per ridurre in maniera efficace il fenomeno del riassorbimento, è superiore a 80, rendendo queste nanoparticelle il candidato ideale per la realizzazione di LSC di grandi dimensioni. Le superfici vengono quindi passivate (un procedimento volto a rallentare la corrosione delle molecole metalliche) con acido oleico. Questo trattamento ha anche il vantaggio collaterale di aumentare la compatibilità delle nanoparticelle con i materiali plastici in cui saranno immerse, ovvero il monomero precursore del plexiglas in questo caso.

Questa miscela è stata quindi versata in uno stampo per lastre a facce piane e parallele e si è dato avvio a un processo di polimerizzazione termica derivato direttamente dalle procedure industriali. In questo modo sono stati ottenuti LSC di lunghezza anche superiore a 20cm, un limite dettato unicamente dalla strumentazione disponibile nel laboratorio, pensata più per la creazione di prototipi da sottoporre a test che per la produzione di prodotti finiti.

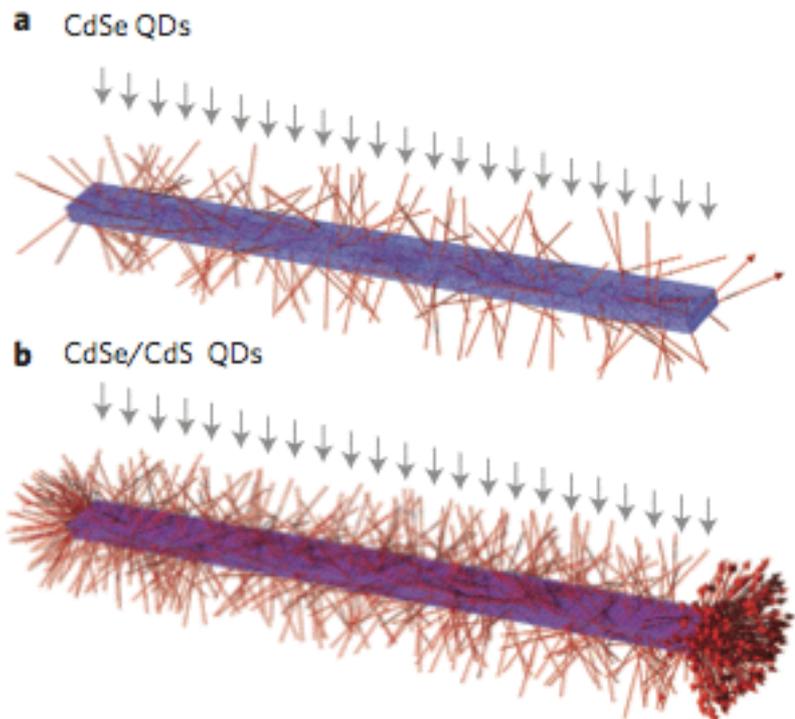
Le caratteristiche delle lastre ottenute da questo processo hanno dimostrato completa assenza di auto-assorbimento e minime perdite dovute essenzialmente a processi di diffusione della luce derivate da imperfezioni della matrice piuttosto che delle superfici.

L'efficienza di conversione ottica, ovvero il rapporto tra il numero di fotoni raccolti dal bordo e il numero di fotoni assorbiti, della frazione blu-ultravioletta dello spettro solare ha raggiunto valori record di oltre il 10% e le proiezioni ricavate da simulazioni di ray-tracing

condotte a partire dai dati sperimentali hanno indicato che, al contrario degli LSC tradizionali, queste prestazioni si conservano anche per dimensioni molto maggiori, avvicinando sempre più questa tecnologia alle esigenze di dispositivi reali.

Nonostante i molti risvolti positivi, la prima parte di questo progetto ha portato alla luce altri limiti, fino ad ora rimasti in secondo piano in quanto gli sforzi maggiori volgevano nel cercare di ottenere lastre di dimensioni abbastanza grandi da poter essere utilizzate.

Prima di tutto le prestazioni degli LSC rimanevano troppo basse per essere utilizzabili, in quanto sfruttavano solo una piccola parte di tutto lo spettro della luce solare. Le nanoparticelle contengono inoltre Cadmio, un elemento a moderata tossicità bandito dalla Comunità Europea e che avrebbe portato a non pochi problemi sulle modalità di smaltimento del prodotto una volta terminato il suo ciclo di utilizzo. Infine, così come gli LSC tradizionali, anche



quelli a base di nanoparticelle etero-strutturate risultano fortemente colorati, limitando fortemente la loro adattabilità nell'edilizia convenzionale.

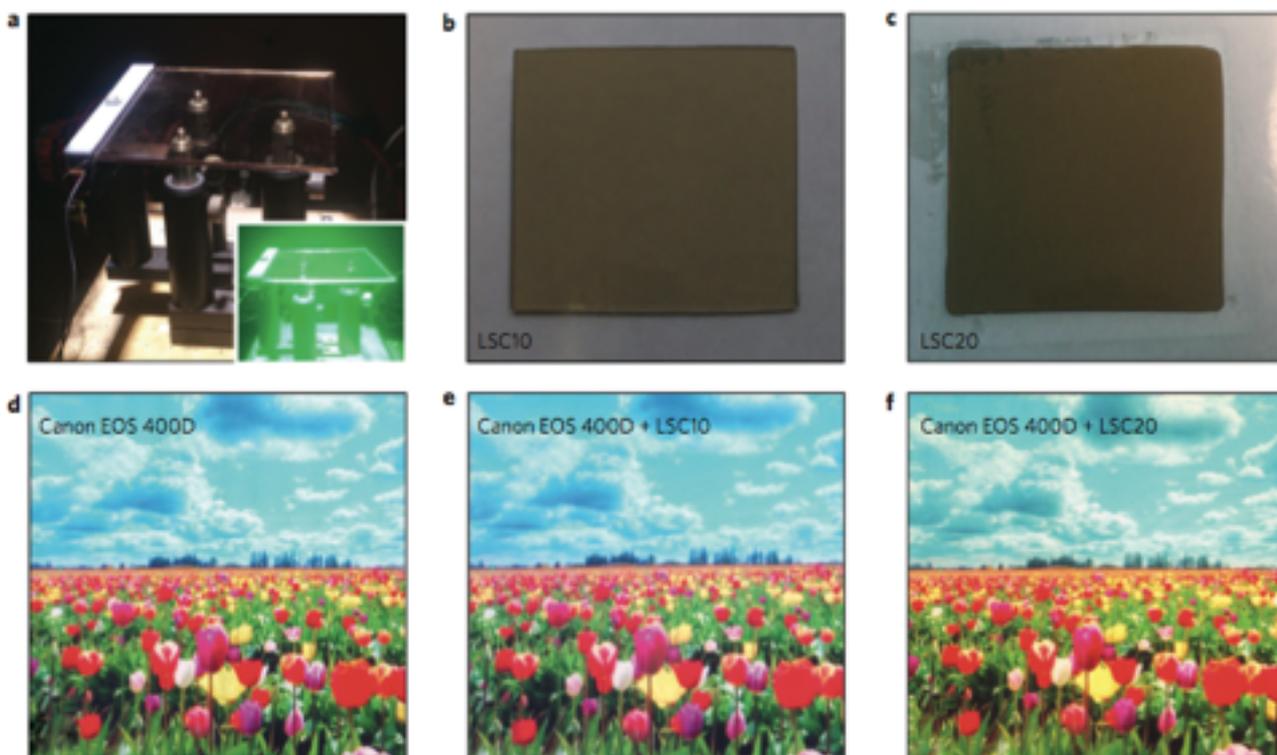
Per superare in un solo passaggio tutte queste problematiche si è sviluppata una classe completamente differente di nanoparticelle, prive di ogni elemento tossico e che invece dell'eterostrutturazione sfruttano un drogaggio intrinseco per separare tra di loro le funzioni di assorbimento e riemissione della luce.

Si tratta di nanosistemi a base di leghe di Solfuro e Seleniuro di Indio e Rame ( $\text{CuInSe}_x\text{S}_{2-x}$ ) le cui proprietà possono essere controllate operando sia sulla

composizione sia sulle dimensioni. Inglobandole, come descritto in precedenza, in matrici plastiche si sono quindi costruiti dei prototipi fino a  $150\text{cm}^2$  di superficie, in grado di assorbire una porzione estremamente ampia dello spettro solare che va dal vicino ultravioletto fino al vicino infrarosso, comprendendo tutto l'intervallo del visibile. Una copertura simile non era fino ad ora mai stata ottenuta da nessun altro tipo di LSC e questo ha permesso di ottenere efficienze di conversione della potenza luminosa in potenza elettrica fino al 3,2% con un grado di trasparenza delle lastre nella regione del visibile intorno all'80% (cioè solo il 20% della luce è utilizzato per la produzione di energia elettrica mentre il restante 80% attraversa il pannello per illuminare gli ambienti interni).

Va sottolineato che per le nanoparticelle impiegate per questi LSC non è ancora stata completata la fase di affinamento della passivazione superficiale e che quindi non emettono con particolare efficienza la luce solare assorbita. Questo lascia margini di miglioramento delle prestazioni di oltre un fattore due modificando questo unico fattore.

L'ultimo aspetto del tutto innovativo dei dispositivi realizzati con questa tecnologia riguarda proprio il loro aspetto. Grazie al loro comportamento



omogeneo lungo tutto lo spettro solare essi risultano infatti sostanzialmente incolori, apparendo del tutto simili alle lenti di un occhiale da sole piuttosto che alle pellicole comunemente applicate alla vetrate per la riduzione dell'insolazione degli ambienti interni.

Gli studi collocano la loro tonalità nella zona dei bruni scuri dell'atlante di Munsell, ritenuti poco impattanti sull'armonia di una costruzione. Per quanto concerne le qualità della luce trasmessa è stato riscontrato che la luce solare filtrata dagli LSC dà luogo a una sorgente luminosa con un CRI (indice di resa cromatica) di 91, che stando alla norma UNI10380 la colloca nel gruppo 1A, quello delle sorgenti di massima qualità idonee per l'illuminazione di abitazioni, studi grafici, ospedali, ecc.

Considerazioni analoghe possono essere fatte per quanto concerne la distorsione dei colori percepiti osservando verso l'esterno (visione *indoro to outdoor*). Non esistendo norme specifiche o protocolli di misurazione consolidati è stato effettuato il test Farnsworth-Munsell 100, utilizzato in medicina per individuare varie forme di daltonismo e da compagnie di design, fotografia e grafica per valutare la sensibilità al colore dei propri addetti. I risultati hanno stabilito che gli LSC a base di nanoparticelle di  $\text{CuInSe}_x\text{S}_{2-x}$

non distorcono significativamente la percezione dei colori al contrario di quanto avviene con quelli basati su cromofori di vecchia generazione che producono alterazioni assimilabili a forme di daltonismo moderate o addirittura severe.

Nel complesso queste analisi hanno dimostrato il bassissimo impatto di questa tecnologia che indubbiamente dovrebbe favorirne la diffusione rispetto a tutti gli altri approcci finora utilizzati riguardo alle celle fotovoltaiche.

Per quanto concerne una fruibilità a livello economico di questi LSC di ultima generazione i costi aggiuntivi sono già stati calcolati, immaginando di integrare gli LSC in serramenti a doppio o triplo vetro, in modo da mantenere la lastra LSC isolata da agenti esterni che potrebbero invalidarne l'utilizzo ottimale. I vostri extra rispetto a una normale finestra passiva sarebbero quindi dovuti essenzialmente al costo delle nanoparticelle. Infatti le piccole celle convenzionali di silicio da installare sui bordi sono così economiche da non incidere per più di qualche euro a metro quadrato, mentre i costi di cablaggio risulterebbero assai contenuti se questi dispositivi venissero installati in contesti già predisposti per lo sfruttamento dell'energia solare e quindi già dotati di inverter ed eventualmente sistemi di accumulo dell'energia. Nel caso così non fosse, siccome gli LSC non vanno a modificare il funzionamento di questi sistemi, non interagendo in alcun modo con la loro componentistica, il prezzo della loro eventuale installazione sarebbe del tutto identico a quello ottenuto da un impianto fotovoltaico convenzionale.

Allo stato attuale, le nanoparticelle non vengono prodotte su larga scala ma considerando i reagenti di partenza e la semplicità di sintesi, stime accettate internazionalmente indicano un costo compreso tra i 5 e i 10 euro al grammo per grandi produzioni. LSC come quelli attualmente prototipati in questo progetto contengono circa 20g/m<sup>2</sup> di nanoparticelle, l'extra costo massimo per il dispositivo dovrebbe essere intorno ai 200 Euro/m<sup>2</sup> massimi e ulteriormente riducibili con l'utilizzo di nanoparticelle ancora più economiche, attualmente in fase di sviluppo.

Per valutare in maniera esemplificativa l'energia prodotta si immagini di utilizzare finestre fotovoltaiche anche solo con efficienza del 5% per ricoprire unicamente la facciata rivolta a sud di un edificio come il famoso Shard di Londra, dotato di vetrate sui suoi diversi lati per una superficie totale di 56000m<sup>2</sup>. Assumendo per le perdite il valore tipico di un impianto fotovoltaico del 14%, l'energia prodotta dalla facciata dell'edificio ammonterebbe, alle latitudini del nord Italia, a circa 0,62MWh/anno, equivalenti ai consumi tipici di 150 appartamenti abitati da famiglie di 4 persone. Questo valore è ulteriormente aumentabile sia da un aumento dell'efficienza dei sistemi LSC sia dall'impiego degli stessi su più facciate.

Questi valori ovviamente non sono sovrapponibili a quelli del fotovoltaico tradizionale anche di pochi anni fa ma non considerano i vantaggi collaterali connessi con il fatto di ridurre l'insolazione degli ambienti interni. Modificando la composizione della lastra LSC è possibile ridurre la trasparenza, contribuendo contemporaneamente, specialmente alle basse latitudini e in edifici da ampie superfici vetrate, sia a una maggiore produzione di energia, dovuta all'incremento di radiazione solare assorbita, sia all'insolazione degli ambienti interni.

## RIFERIMENTI

Meinardi Francesco, Colombo Annalisa, Velizhanin Kirill A. et al. "Large-area luminescent solar concentrators based on "Stokes-shift-engineered" nanocrystals in a mass-polymerized PMMA matrix" Nature Photonics, 2014.

Meinardi Francesco, McDaniel Hunter, Carulli Francesco, et al. "Highly efficient large-area colourless luminescent solar concentrators using heavy-metal-free colloidal quantum dots", Nature Nanotechnology, 2015.

Meinardi Francesco, Brovelli Sergio. "Un futuro fotovoltaico per le finestre", azero\_18, 2016.

## CAPITOLO 5

“Alcuni esempi dell’applicazione dei dispositivi LSC in concomitanza con pannelli fotovoltaici al silicio in appartamenti e considerazioni finali.”

In questo ultimo capitolo procederemo al calcolo ipotetico di alcuni edifici in cui unicamente gli LSC di ultima generazione vengono impiegati per la produzione di energia elettrica, per osservare la quantità di energia prodotta con l’utilizzo esclusivo di questi sistemi in edifici tradizionali, in cui la presenza di elementi in vetro, pur raggiungendo aree anche abbastanza elevate in alcuni casi non ha ancora ottenuto una diffusione così elevata come negli edifici dell’architettura moderna e contemporanea. Si assumano tali edifici presenti nella città di Genova e riceventi quindi la seguente quantità di radiazione giornaliera media mensile misurata su superficie orizzontale (in kWh/m<sup>2</sup>/giorno):

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
1,53	2,31	3,78	4,83	5,75	6,39	6,39	5,42	4,06	2,72	1,72	1,25

Per un totale annuale di 1407 kWh/m<sup>2</sup>.

La latitudine della città di Genova è di 44,4°.

Come primo caso in esame prendiamo un singolo appartamento facente parte di una struttura condominiale. Tale appartamento ha un’area calpestabile di 55m<sup>2</sup> e una superficie vetrata totale di 4,04m<sup>2</sup>, suddivisa come segue (dati reali):

Area Vetrata	Orientamento	Angolo di Tilt	Angolo di Azimut
1,1m	33°NE	90°	-147°
2,94m	316°NO	90°	136°

L’area vetrata orientata a NE è costituita da una singola finestra a doppia anta, mentre quella all’angolo NO da una finestra delle stesse dimensioni e una porta finestra, anch’essa a doppia anta che si affaccia su un terrazzo.

L’efficienza attuale degli LSC si attesta sul 3,2% ma previsioni realistiche già attuate nei calcoli del capitolo precedente possono garantire un suo sviluppo anche al 5%. Procederemo quindi a calcolare l’energia prodotta con entrambi questi rendimenti in modo da avere una quantificazione dell’aumento di produzione di energia che ci si può aspettare con l’avanzare della ricerca.

Con un'efficienza del 3,2% la potenza nominale dell'impianto si attesta sugli 0,03kW.

Le perdite del generatore sono considerate pari al 14% (ancora come da esempio del capitolo precedente, presupponendo l'utilizzo della stessa tipologia di pannelli fotovoltaici).

L'efficienza dell'inverter è considerata infine del 90% secondo stime al ribasso in quanto generalmente l'efficienza di un inverter viene considerata intorno al 98%.

Entrambi i lati dell'edificio si affacciano su strade asfaltate, il che ci fornisce una riflettanza del suolo di 0,1.

La produzione di energia delle singole pareti e quella totale per il singolo appartamento risulta quindi essere:

Parete NE (3,2%)	Parete NO (3,2%)	Parete NE (5%)	Parete NO (5%)
37,4 kWh/anno	94,9 kWh/anno	51,7 kWh/anno	147 kWh/anno
131,48 kWh/anno		198,7 kWh/anno	

Il consumo annuo di energia elettrica, misurato in kWh/anno per un nucleo familiare composto da una persona singola si attesta intorno ai 1400 kWh/anno oppure 2000 kWh/anno con un nucleo familiare di 2 persone. Vediamo dunque che, pur essendo ben lontano dal rendere l'appartamento energeticamente neutro i pannelli LSC sono in grado di fornire approssimativamente circa il 10% dell'energia elettrica necessaria; in ogni caso il fabbisogno energetico derivante dalla mera illuminazione elettrica, attestato intorno ai 150 kWh (ponendo il caso dell'utilizzo di lampadine a fluorescenza) rimane attualmente quasi totalmente soddisfatto (e con le previsioni di incremento del rendimento si può realisticamente pensare di riuscire a soddisfarlo in toto).

Supponendo di estendere l'installazione di LSC a tutto il palazzo avremmo invece questi dati. L'edificio è comprensivo di 50 appartamenti di area media compresa tra i 55 m<sup>2</sup> ed i 70 m<sup>2</sup>. (dati reali):

Area Vetrata	Orientamento	Angolo di Tilt	Angolo di Azimut
35,5 m	33° NE	90°	-147°
57,6 m	316° NO	90°	136°
27,5 m	224° SO	90°	44°
90,3 m	124° SE	90°	-56°

Di nuovo le aree vetrate sono suddivise tra i lati dell'edificio nel seguente modo (tutte le finestre e le porte finestre hanno tra loro aree identiche).

Parete NE: 21 finestre, 5 porte finestre;

Parete NO: 32 finestre, 14 porte finestre;

Parete SO: 25 finestre;

Parete SE: 53 finestre, 20 porte finestre;

Parete NE (3,2%)	Parete NO (3,2%)	Parete SO (3,2%)	Parete SE (3,2%)	Parete NE (5%)	Parete NO (5%)	Parete SO (5%)	Parete SE (5%)
1065 kWh/anno	1843,2 kWh/anno	715 kWh/anno	2347,8 kWh/anno	1668,5 kWh/anno	2880 kWh/anno	1127,5 kWh/anno	3612 kWh/anno
5971 kWh/anno				9288 kWh/anno			

Sebbene in questo caso l'energia prodotta sia di molto maggiore, i consumi totali del palazzo lo sono ancora di più, superando di gran lunga i 239000 kWh/anno. Si può presupporre che il calo della percentuale di energia prodotta rispetto al totale consumato sia in gran parte da imputarsi, oltre che al gran numero di elettrodomestici collegati, al consumo necessario per l'illuminazione e il riscaldamento dell'atrio e dei vani scala, spazi comuni le cui spese vengono condivise e che pur necessitando di luce e riscaldamento non hanno finestre o spazi vetrate da sfruttare per generare energia.

Spostandoci ora a un'altra tipologia di edificio, prendiamo in considerazione una villetta a schiera di circa 120 m<sup>2</sup>, abitata da un nucleo familiare di 4 persone e con i seguenti dati, rilevati dal vero.

Area Vetrata	Orientamento	Angolo di Tilt	Angolo di Azimut
3,81 m	207° SO	90°	27°
5,72 m	30° NE	90°	-150°

Nuovamente le superfici vetrate sono suddivise quanto segue.

Parete SO: 2 finestre e 1 porta finestra che si affaccia su un terrazzo.

Parete NE: 3 finestre e 1 porta finestra che si affaccia su un terrazzo.

Finestre e porte finestre sono tutte dello stesso formato e di dimensioni identiche tra loro.

Parete NE (3,2%)	Parete SO (3,2%)	Parete NE (5%)	Parete SO (5%)
99,06 kWh/anno	171,6 kWh/anno	156,21 kWh/anno	268,84 kWh/anno
270,66 kWh/anno		425,05 kWh/anno	

Il consumo annuo medio di energia elettrica per un nucleo di 4 persone è stimato tra i 3000/3500 kWh/anno. Nuovamente dunque il rapporto tra l'energia prodotta dagli impianti LSC e quella consumata dall'appartamento si avvicina attualmente al 10% del totale, superandolo ampiamente con le prospettive di aumento del rendimento future.

I successivi edifici non hanno potuto essere sottoposti a misurazioni accurate, pertanto si informa che i dati percepiti non possiedono lo stesso grado di accuratezza delle misure precedenti ma costituiscono comunque una buona approssimazione.

Il primo di questi appartamenti è un bilocale, di 55 m<sup>2</sup>,. Il palazzo, situato in via Luccoli, risulta iscritto alle liste dei Palazzi dei Rolli, limitando quindi ampliamento gli interventi esterni con un impatto visivo che non sia praticamente nullo.

Area Vetrata	Orientamento	Angolo di Tilt	Angolo di Azumut
4,86 m	150° SE	90°	-30°

Qui le tre finestre sono tutte collocate sulla parete di SE, l'unica dell'appartamento che si affaccia verso l'esterno del palazzo.

Parete SE (3,2%)	Parete SE (5%)
126,36 kWh/anno	199,26 kWh/anno

Date le dimensioni nuovamente mettiamo in rapporto l'energia prodotta con quella di un nucleo familiare di 1 o 2 persone, ottenendo risultati molto simili a quelli del primo caso preso in esame.

Sempre prendendo in esame un gruppo di stanze presenti in un palazzo iscritto al sistema dei Rolli, questa volta in via Lomellini, con un'area approssimativa di circa 250 m<sup>2</sup> in cui abbiamo la seguente situazione:

Area Vetrata	Orientamento	Angolo di Tilt	Angolo di Azimut
8,1 m	15°NE	90°	-165°
12,96 m	345° NO	90°	165°
9,72 m	195° SO	90°	15°

In questo caso abbiamo molte ampie vetrate, tutte approssimativamente delle stesse dimensioni e divise nel seguente modo.

Parete NE: 5 finestre;

Parete NO: 8 finestre;

Parete SO: 6 finestre;

Parete NE (3,2%)	Parete NO (3,2%)	Parete SO (3,2%)	Parete NE (5%)	Parete NO (5%)	Parete SO (5%)
226,8 kWh/anno	362,88 kWh/anno	252,75 kWh/anno	356,4 kWh/anno	570,24 kWh/anno	398,52 kWh/anno
842,43 kWh/anno			1325,16 kWh/anno		

Non è attualmente possibile purtroppo fare una stima dei consumi in quanto le stanze al momento risultano affittabili solo per utilizzo espositivo o museale.

## CONCLUSIONI

A seguito di queste misurazioni possiamo dunque affermare che, sebbene progettati principalmente per una tipologia di edifici senz'altro più moderna, in cui vetro e materiali simili occupano gran parte delle facciate degli edifici, abbiamo visto come anche in costruzioni dall'impostazione più tradizionale gli LSC possano fornire un supporto non indifferente. Anche considerando l'aumento del rendimento nel prossimo futuro la neutralità energetica degli edifici storici con l'utilizzo esclusivo degli LSC è un traguardo irraggiungibile ma in media abbiamo visto come circa il 10% del fabbisogno possa essere fornito unicamente da loro. In condomini ed edifici con molti spazi comuni questa percentuale tende a calare, anche parecchio, ma in ogni caso il fabbisogno energetico per l'illuminazione pare essere sempre soddisfatto completamente, anche in case più grandi, fintanto che la relazione di 1/8 tra la superficie vetrata e l'area della casa rimane rispettata. Questo potrebbe rendere gli LSC una tecnologia molto adatta a musei e sale espositive situate in edifici di interesse storico o artistico, in cui il fabbisogno energetico è utilizzato unicamente per illuminazione, riscaldamento ed eventualmente i terminali informativi collegati. Senza un gran numero di elettrodomestici attivi

la percentuale fornita di energia elettrica sale di molto, contribuendo così in maniera maggiore al fabbisogno dell'edificio.

Le lastre LSC sono inoltre molto durevoli. Non è stato ancora stimato un loro limite di vita utile ma comunque si può assicurare una durata molto maggiore di quella di 25 anni dei pannelli fotovoltaici. Considerato quindi il costo dell'installazione, dopo 25 anni si deve mettere in conto solo il modico costo della sostituzione delle strisce fotovoltaiche che collegano il bordo della lastra LSC all'impianto fotovoltaico, abbattendo ulteriormente i costi dati dall'utilizzo di questa nuova tecnologia.

Troviamo quindi negli LSC una tecnologia affidabile, con elevata durata nel tempo ed ecologicamente compatibile vista l'assenza di metalli pesanti o sostanze dannose nei composti di ultima generazione, il cui utilizzo potrà contribuire all'apporto energetico di molti edifici garantendo un impatto visivo pressoché nullo.

## RIFERIMENTI

<http://puntienergia.com/guida/consumo-medio-energia-elettrica-famiglia>

Meinardi Francesco, Brovelli Sergio. "Un futuro fotovoltaico per le finestre", azero\_18, 2016.