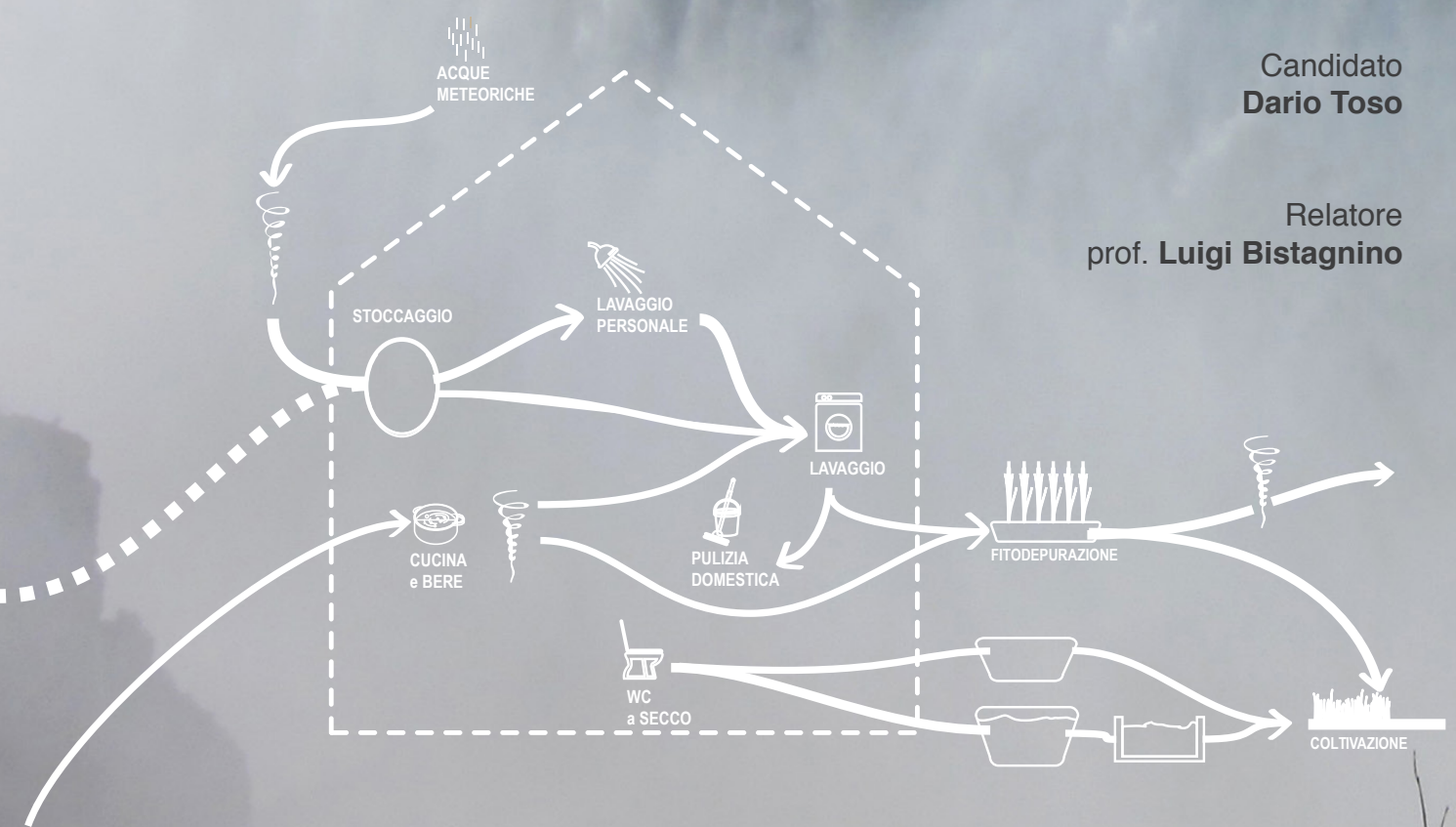
POLITECNICO DI TORINO
Dottorato in Sistemi di Produzione e Disegno Industriale XXVII Ciclo

VISIONE SISTEMICA DELL'ACQUA

Tesi di Dottorato

Candidato
Dario Toso

Relatore
prof. **Luigi Bistagnino**



POLITECNICO DI TORINO
Dottorato in Sistemi di Produzione e Disegno Industriale XXVII Ciclo

Tesi di Dottorato

VISIONE SISTEMICA DELL'ACQUA

Candidato
Dario Toso

Relatore
prof. Luigi Bistagnino

Dicembre 2014

INDICE

ABSTRACT 6

INTRODUZIONE 9

APPROCCIO METODOLOGICO 11

> Introduzione 12
> Design Sistemico 29

COMPRENDERE L'ACQUA 33

> L'acqua 35
> Il ciclo dell'acqua 42
> Il valore dell'acqua nella storia 46
> Il comportamento dell'acqua in natura 56
> Il comportamento dell'acqua a livello molecolare 100
> Acqua e corpo umano 139
> Principi generali 150

FASE SPERIMENTALE 153

> Acqua interfacciale e Exclusion Zone 155
> Vortex Technology 184

CONCLUSIONI 196

ALLEGATI

1 L'ACQUA OGGI: PROBLEMA O RISORSA? 199

2 PARAMETRI DI CARATTERIZZAZIONE DELL'ACQUA 241

3 QUALITÀ DELL'ACQUA 253

4 LE MACCHINE DI SCHAUBERGER 273

5 LA MEMORIA DELL'ACQUA 305

6 L'ACQUA IN AMBIENTE DOMESTICO 325

“Il vero fondamento di ogni cultura è la conoscenza e la comprensione dell’acqua, sostanza e causa primordiale di tutta la creazione, l’accumulatore originale di energia e vita, che assorbe facilmente sia le sostanze terrene sia cosmiche e le trasmette al corpo in forma pura e oggettiva. Questo dipende dalla possibilità di incorporare tali sostanze in acqua. Questo deve essere fatto in modo che gli attributi originali non siano modificati.” (Viktor Shauberger)

RINGRAZIAMENTI

Desidero innanzi tutto ringraziare mia moglie Chiara, a cui questo lavoro è dedicato, per essere parte centrale di questo percorso di ricerca e crescita, per la sua amorevole presenza e soprattutto per la grande comprensione e preziosa pazienza nei periodi che ci hanno visti distanti.
Ringrazio infinitamente i miei genitori per il loro aiuto e per l'entusiasmo e curiosità che hanno sempre dimostrato verso il mio lavoro.
Un ringraziamento ai cinque Toso per il silenzioso supporto e a Lola per l'estrema pazienza nei pomeriggi di lavoro e per le ispiranti passeggiate al parco.

Desidero ringraziare in maniera particolare l'acqua, il soggetto di questa tesi, che mi ha guidato in un incredibile cammino di conoscenza e crescita durante questi tre anni fondamentali per il mio percorso professionale ma soprattutto personale. Quindi l'approccio del Design Sistemico che mi ha permesso di sviluppare in questi anni di lavoro una visione olistica alla tematica progettuale, dandomi gli strumenti per investigare in maniera profonda la natura del tema di ricerca e mettere in relazione ambiti e aspetti apparentemente distanti grazie a cui descrivere e raccontare l'acqua come sistema complesso. Un approccio che ha stimolato la mia curiosità e che mi ha messo in contatto con discipline e persone diverse che hanno dato un contributo importante a questo lavoro. Desidero quindi ringraziare tutti coloro che mi hanno aiutato nella realizzazione della mia Tesi.

Ringrazio anzitutto il professor Luigi Bistagnino per avermi consigliato un tema così interessante e ambizioso, nonché per il supporto e la guida sapiente durante tutto il percorso di ricerca.

Ringrazio il Centro Ricerche SMAT e in particolare l'Ing. Meucci e la Dott.ssa Binetti per aver creduto in questo progetto di ricerca. Un ringraziamento speciale va a Elisa Brussolo per l'onestà e l'entusiasmo del suo lavoro e per il supporto in questi ultimi mesi.

Ringrazio profondamente il Prof. Gerald Pollack per l'estrema disponibilità e per la grande opportunità avuta di poter sperimentare nel suo Laboratorio, per gli stimolanti pranzi di lavoro e i preziosi consigli, ed infine, per aver valorizzato il mio contributo dandomi la possibilità di proseguire questo percorso di ricerca.

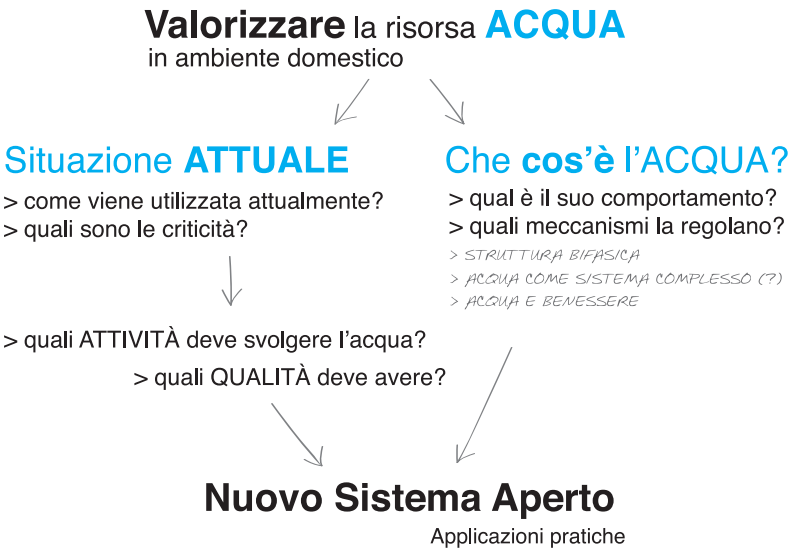
Un ringraziamento particolare va ai colleghi ed agli amici che mi hanno incoraggiato o che hanno speso parte del proprio tempo per leggere e discutere con me le bozze del lavoro.

Ringrazio infine tutte le persone incontrate durante questo percorso di Dottorato, sia personalmente che attraverso la letteratura, che hanno saputo offrirmi il loro prezioso contributo per una maggior comprensione dell'acqua come matrice di vita.

ABSTRACT

Il presente documento ha lo scopo di riassumere la ricerca di Dottorato sul tema dell'uso sostenibile della risorsa idrica in ambiente domestico sviluppato all'interno del Dottorato in Sistemi di Produzione & Design Industriale al Politecnico di Torino in collaborazione con SMAT, Società Metropolitana Acque Torino S.p.A.

Avvalendosi dell'approccio metodologico del Design Sistemico (Bistagnino, 2011) l'attività di ricerca ha considerato la complessità delle proprietà dell'acqua vista come un sistema molecolare autopoietico indispensabile a garantire la vita sul nostro pianeta.



Le recenti teorie di carattere scientifico che provengono dal mondo della fisica quantistica, della biologia e della medicina mettono, infatti, in luce alcune proprietà dell'acqua che potrebbero cambiare considerevolmente la prospettiva con cui l'uomo si rapporta a questo elemento.

Adottando un approccio olistico e multidisciplinare il progetto di ricerca si è focalizzato quindi sull'indagine di queste proprietà "emergenti" con l'obiettivo di individuare delle soluzioni innovative

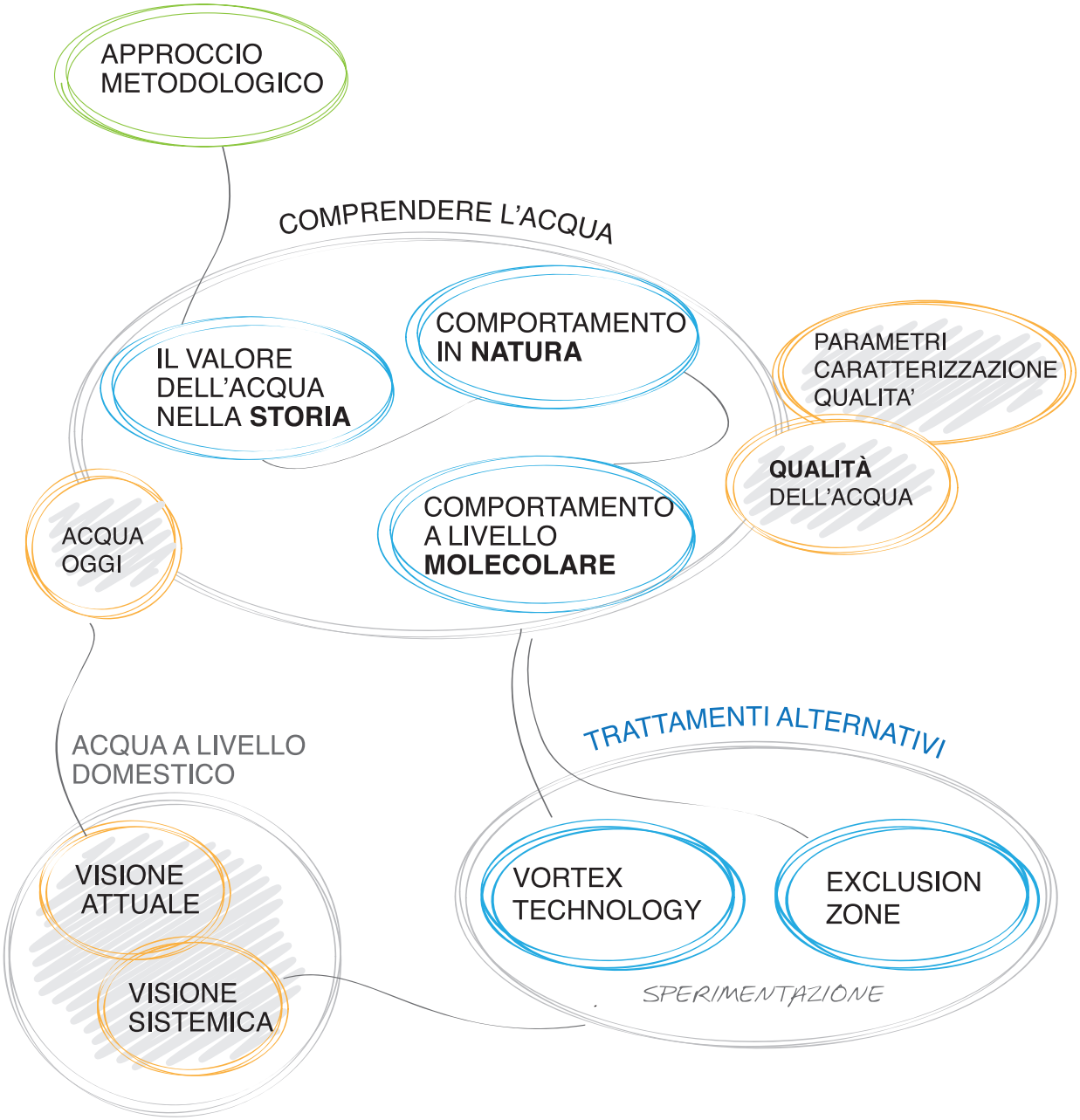
per il trattamento e l'uso dell'acqua in accordo con i meccanismi attraverso cui opera la natura, valorizzando le qualità dell'acqua in maniera sostenibile.

La ricerca ha quindi portato all'approfondimento di due tecnologie specifiche per il trattamento dell'acqua a livello domestico basate sulla vortex technology e sul fenomeno dell'exclusion zone in prossimità di superfici idrofile.

L'aspetto maggiormente innovativo di queste tecnologie risiede nel fatto che l'acqua sia in grado di autodepurarsi spontaneamente a temperatura e pressione ambiente, senza l'utilizzo di alcun sistema filtrante. Di cosneguenza è possibile ipotizzare dei trattamenti alternativi dell'acqua che lascino spazio alla creatività dell'acqua stessa di autoorganizzarsi e autodepurarsi.

E' questo un cambio di prospettiva radicale in cui il progettista si mette a disposizione dell'acqua favorendone l'esprimersi delle proprie qualità.

Grazie alle conoscenze acquisite durante la fase di ricerca è stato quindi possibile ipotizzare una nuova progettazione dei flussi all'interno del sistema casa definendo delle linee guida per una gestione sostenibile della risorsa idrica in accordo con la metodologia del Design Sistemico.



Mappa concettuale del percorso di ricerca

INTRODUZIONE

L'ambito di ricerca si colloca in uno scenario globale in cui le problematiche legate alla scarsità d'acqua dolce e alla sua disponibilità sono prioritarie per la sopravvivenza dell'uomo sul pianeta Terra. L'accesso all'acqua potabile costituisce una priorità per gli Obiettivi di Sviluppo del Millennio. La stessa comunità scientifica internazionale è al lavoro per cercare di trovare soluzioni attraverso lo sviluppo di tecnologie sempre più efficaci e a buon mercato per il trattamento delle acque, per la loro disinfezione da agenti patogeni, per la decontaminazione da inquinanti e per il riuso di acque reflue o la desalinizzazione dell'acqua di mare, etc.

Il principale obiettivo di questo Progetto di Ricerca è quindi quello di comprendere più a fondo le proprietà dell'acqua attraverso un approccio olistico e individuare dei principi e delle tecniche di trattamento adeguate a valorizzarne le qualità complessive.

L'ambito di ricerca è quello domestico, e quindi la gestione della risorsa idrica all'interno del sistema casa, considerando il ciclo idrico complessivo che va dal prelievo dell'acqua dall'ambiente, al trattamento di potabilizzazione, alla distribuzione e utilizzo diretto, fino alla depurazione e reimmissione nell'ambiente.

Questo Dottorato di Ricerca è parte, infatti, di un progetto più ampio che il Gruppo di Design Sistemico, del Dipartimento di Architettura e Design del Politecnico di Torino, sta portando avanti sulla definizione di un nuovo Sistema Casa.

L'attività di ricerca e sperimentazione ha utilizzato come base di analisi la rete idrica e l'uso dell'acqua in ambiente domestico con particolare riferimento alla realtà torinese. Tuttavia, le conoscenze maturate durante il percorso di ricerca sulle proprietà dell'acqua e sui trattamenti alternativi, possono trovare applicazione anche in ambiti differenti.

In sintesi, il Progetto di Ricerca si è posto i seguenti obiettivi:

- Approfondire e comprendere le proprietà dell'acqua considerando in maniera particolare le teorie scientifiche che definiscono l'acqua come un sistema dinamico aperto;

- Sperimentare e verificare trattamenti alternativi dell'acqua in accordo con la visione sistemica delle proprietà dell'acqua;

- Ipotizzare i flussi di acqua nel Nuovo Sistema Casa (Allegato 6).

APPROCCIO METODOLOGICO

Introduzione <
Design Sistemico <

L'approccio metodologico del Design Sistemico parte dal presupposto che l'Universo non debba essere visto come meccanicamente composto da singoli mattoni fondamentali, ma piuttosto come costituito da una rete di relazioni. Le varie parti non possono essere considerate separatamente ma devono essere intese come pattern in un *Tutto dinamico e interconnesso* (Capra, 1996).

Di conseguenza, anche lo sguardo con cui si va a investigare l'acqua deve essere in grado di cogliere le qualità complessive che altrimenti non potrebbero essere percepite se valutate singolarmente.
Per raggiungere gli obiettivi di tutela e valorizzazione delle risorse idriche è necessario adottare delle strategie che garantiscano un uso corretto e sostenibile delle risorse stesse.
Da quando la problematica ambientale ha assunto un'attenzione crescente, sia a livello locale, che su scala globale, sono maturati differenti approcci e metodologie con l'obiettivo di mitigare gli effetti negativi dell'azione umana e promuovere uno "*sviluppo sostenibile*".

Pur non essendo questa la sede in cui approfondire la storia dell'ambientalismo e degli approcci al design sostenibile è interessante motivare la scelta che ha portato ad adottare l'approccio del Design Sistemico (Bistagnino, 2011) come base metodologica di questo progetto di Dottorato.

Per farlo si riporta brevemente la schematizzazione di un'analisi storica condotta durante la fase preliminare di questo percorso, che ha lo scopo di definire e motivare le scelte metodologiche adottate durante la ricerca.
È stata, infatti, elaborata una caratterizzazione storico-culturale del sistema economico e produttivo, che individua 4 fasi, scandite dai paradigmi culturali, dalle dinamiche economico-produttive e dagli atteggiamenti sociali che le definiscono.

È importante osservare come a queste 4 fasi corrispondano visioni differenti rispetto alla risorsa idrica e alla sua gestione. I confini di queste fasi sono indicativi e piuttosto sfumati consentendo diverse sovrapposizioni sia a livello temporale che spaziale.
È possibile osservare, inoltre, una loro coesistenza e contaminazione su più livelli della scala sociale.

Questa macro distinzione, seppur presenti ovvie semplificazioni, è utile a definire differenti modelli socio-economici con peculiari visioni e principi tra cui la visione sistemica che caratterizza questo percorso di ricerca.
Per ogni singola fase sono stati individuati inoltre degli “attrattori” intorno a cui ruotano le dinamiche sociali, economiche e culturali del sistema.

La fase industriale conseguente all’affermarsi del pensiero meccanicistico, che tra Cinquecento e Seicento ha posto le fondamenta della civiltà occidentale attuale, assume in quest’analisi un ruolo centrale.
In particolare, questa fase ha segnato profondamente lo sviluppo e l’evolversi della società in cui viviamo con tutte le problematiche e opportunità che ci troviamo oggi a dover affrontare o cogliere. Prima dell’affermarsi del pensiero occidentale la storia ha visto il susseguirsi di differenti culture e visioni del mondo. Tuttavia, nonostante la ricerca per comprendere le proprietà dell’acqua abbia spesso fatto riferimento a un passato anche lontano, la fase preindustriale non sarà qui approfondita in maniera specifica.

In questa parte introduttiva si vuole definire meglio i contorni e i tratti fondamentali dell’ambito socio-culturale che ha generato l’attuale crisi ambientale e contemporaneamente individuare nuovi modelli culturali con cui possa essere affrontata.

Si fa quindi riferimento alla fase post-industriale, assimilabile per certi aspetti al postmodernismo (Lyotard, 1979), per definire una serie di atteggiamenti in contrasto con la cultura industriale dominante che mostrano una presa di coscienza verso le problematiche del modello di produzione lineare.
Nello specifico ci si rivolge a quello che generalmente viene definito come movimento ambientalista, identificando due atteggiamenti di cui quello sistemico rappresenta l’evoluzione del primo.

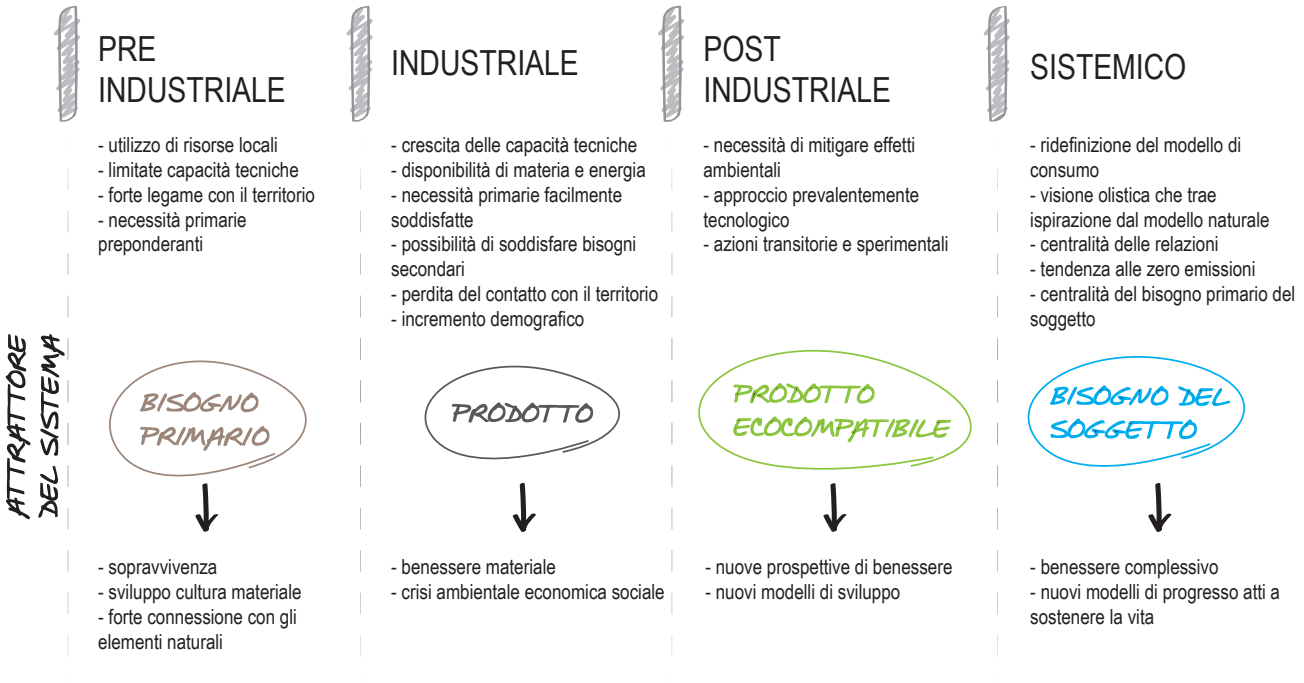
A questo tentativo di analisi e caratterizzazione è possibile accostare quelle che Brian Fagan chiama le tre ere dell’acqua. Nella prima, corrispondente all’epoca preindustriale, l’acqua era

scarsa e quindi preziosa, elemento sacro in molte religioni.
Con il passare del tempo e in particolare con la Rivoluzione Industriale l'acqua è stata resa disponibile con maggior facilità grazie a sistemi di captazione, pompaggio e distribuzione sempre più efficienti.

L'acqua è diventata quindi una commodity.

Oggi entriamo in quella che Fagan definisce la terza era dell'acqua (corrispondente alla fase post industriale), in cui la scarsità di acqua dolce e il suo inquinamento rappresentano dei seri problemi per la sopravvivenza della razza umana.

L'umanità deve quindi imparare nuovamente a trattare e preservare questo elemento essenziale alla vita recuperando le conoscenze sviluppate dai nostri antenati (Fagan, 2011).



LA FASE PREINDUSTRIALE

Ad un livello preindustriale è possibile ricondurre un'epoca in cui l'attrattore primario del sistema sociale è dato dalla soddisfazione di bisogni primari legati alla sopravvivenza dell'uomo ossia quelli legati essenzialmente alla nutrizione e alla protezione.
In questa fase non prevale tanto un aspetto tecnologico quanto una cultura materiale sviluppata in stretta relazione con il territorio da cui l'uomo dipende fortemente.

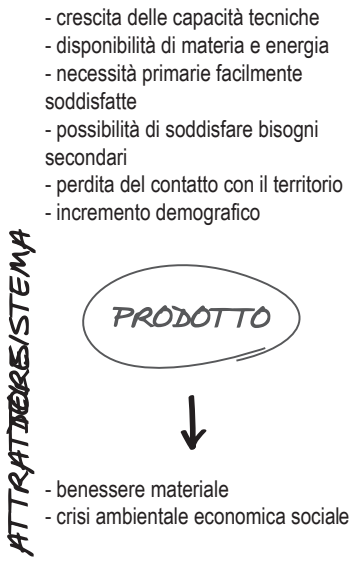
È in questa fase che maturano tutta una serie di conoscenze che aiutano l'essere umano a rapportarsi con la natura per trarne il maggior beneficio possibile.
Le conoscenze sono inizialmente basate sull'intuizione del carattere non lineare dell'ambiente, che si traducono in un'organizzazione della vita attorno ad una consapevolezza, spesso raffinata, della natura.

Nei secoli l'intuizione ha via via lasciato spazio ad un pensiero analitico e razionale con cui cercare di spiegare i fenomeni naturali.
La scienza, per come la intendiamo oggi, è nata intorno al VI Secolo a.C. in Grecia.
Tuttavia i filosofi greci svilupparono anche un complesso modello di natura come organismo vivente.

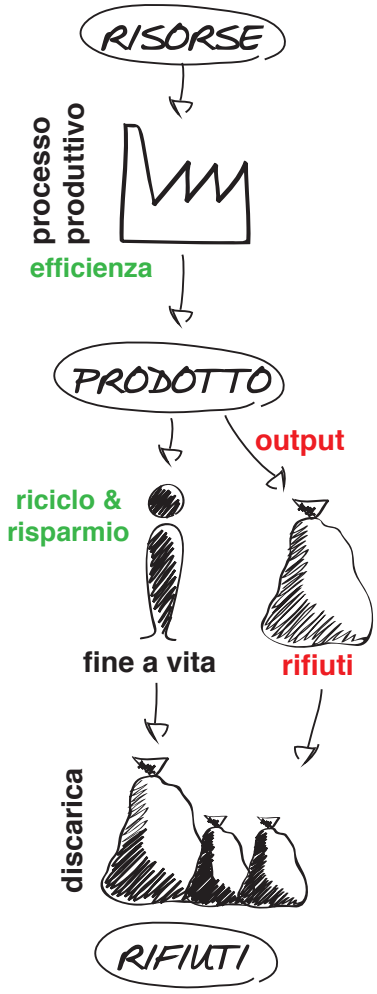
Così Platone[1], ad esempio, considerava l'anima come il principio vitale, non componibile, che sta alla base del composto.
Alla visione animista si contrapponeva una visione proto-meccanicistica che ha dato vita ad esempio alle teorie atomiste di Democrito, secondo il quale invece, gli esseri viventi erano un semplice aggregato di atomi.

Tuttavia, non è obiettivo di questa tesi approfondire nel dettaglio i differenti approcci culturali e conoscitivi delle culture antiche, ma è importante evidenziare come il rapporto simbiotico con l'ambiente

1 Timeo, cap. VI, 30 b: «Pertanto, secondo una tesi verosimile, occorre dire che questo mondo nacque come un essere vivente davvero dotato di anima e intelligenza grazie alla Provvidenza divina».



Modello Produttivo **lineare**



in epoca preindustriale abbia portato ad attribuire un'importanza fondamentale, e talvolta spirituale, alle risorse naturali tra cui l'acqua, considerata in varie culture sacra e matrice di vita.

Nei capitoli seguenti si riporterà un approfondimento storico specifico sulla visione dell'acqua nelle culture antiche, condotto con l'obiettivo di individuare possibili relazioni con la visione sistemica attuale.

LA FASE INDUSTRIALE

Lo sviluppo tecnologico ha permesso all'uomo di progredire le tecniche di produzione e di scoprire come gestire materia ed energia ai propri fini.
La fase cosiddetta industriale segna, infatti, un'evoluzione netta nelle capacità umane di plasmare le risorse e il territorio per aumentare il proprio benessere.
Questa è la fase in cui la visione meccanicistica della vita e la tecnologia newtoniana sostituiscono la cultura materiale evolutasi in migliaia di anni attraverso una visione più organica della natura.

La visione meccanicistica cartesiana, su cui si basa quella che è qui definita fase industriale, ha esercitato una vigorosa influenza sulle scienze e sul modo di pensare occidentale in generale.
La riduzione di fenomeni complessi a elementi basilari e la ricerca dei meccanismi con cui questi elementi interagiscono, è ormai così profondamente integrato nella nostra cultura da indentificarlo spesso con il metodo scientifico (Capra, 1982).

La visione dell'Universo come sistema meccanico composto da parti materiali elementari e la fede in un progresso materiale illimitato da conseguirsi attraverso una crescita economica e tecnologica, hanno caratterizzato il progresso della fase industriale.
Questa idea di progresso figlia in parte della Rivoluzione scientifica, ha contribuito a una forte modificazione culturale e nello stile di vita della civiltà occidentale, ma non solo.
Negli ultimi secoli si è registrata la modificazione probabilmente più forte del sistema sociale, economico e ambientale della storia dell'umanità.

La popolazione mondiale è aumentata vertiginosamente così come la sua impronta sull'ambiente.
La concentrazione di un numero crescente di persone nelle aree urbane ha generato, ad esempio, serie difficoltà alla gestione delle risorse idriche.
Allo stesso modo le tecnologie utilizzate nei processi produttivi industriali e in un settore agricolo e zootecnico sempre più intensivi, hanno inciso profondamente sulla qualità delle risorse tra cui l'acqua.
L'attrattore principale di questo sistema sembra essere il prodotto e la generazione di profitto. Il benessere generato dal sistema industriale garantisce ormai la soddisfazione dei bisogni primari, spostando il focus sulla creazione di bisogni indotti col principale obiettivo di mantenere in vita il mercato e quindi il sistema stesso. Le persone vengono definite consumatori e utilizzatori finali, i prodotti progettati considerando un'obsolescenza programmata e la distanza tra risorsa, produttori, e consumatori ha raggiunto ormai una scala globale.

Un forte cambiamento in questo senso avvenne nel periodo compreso tra le due Guerre Mondiali come si può leggere nelle parole di Paul Mazur dirigente della Lehman Brothers (Häring , 2012): *"Dobbiamo cambiare l'America da essere una cultura dei bisogni, ad essere una cultura dei desideri. Bisogna insegnare alla gente a volere cose nuove, anche prima che le cose vecchie siano state consumate del tutto. Dobbiamo formare una nuova mentalità in America. I desideri dell'uomo devono mettere in ombra le sue necessità".*

È cambiata anche la percezione che si ha dell'acqua, considerata, al pari di un prodotto industriale o una commodity, come un mero fluido le cui caratteristiche variano al variare della concentrazione e tipologia dei soluti e a parametri chimico-fisici assolutamente misurabili.
La visione riduzionistica ha oscurato una visione più organica e vitalistica dell'acqua che, in passato, attribuiva a questo elemento la forza vitale in grado di generare la vita.

LA FASE POST INDUSTRIALE

ATTRATTORE DEL SISTEMA

- necessità di mitigare effetti ambientali
- approccio prevalentemente tecnologico
- azioni transitorie e sperimentali

PRODOTTO ECOCOMPATIBILE

↓

- nuove prospettive di benessere
- nuovi modelli di sviluppo

Il progresso basato sulla fiducia cieca nella tecnologia e nella crescita illimitata ha mostrato i suoi limiti.
Per la prima volta l'uomo sta mettendo in pericolo la sua stessa esistenza e il complesso ecosistema in cui vive.
Dopo aver basato la scienza e la tecnologia sulla convinzione seicentesca che la comprensione della natura implichi il suo dominio da parte dell'uomo, si comincia oggi a comprendere (o a riscoprire) che la natura non è una cosa "altra", separata, ma è legata a noi da una stretta rete di relazioni e interconnessioni.
Mai come in questi ultimi due secoli la mano dell'uomo è stata così pesante nei confronti dell'equilibrio ecologico.

Come afferma lo storico John R. McNeill il genere umano ha sottoposto inconsapevolmente la Terra a un esperimento non controllato di dimensioni gigantesche, che si rivelerà col tempo l'aspetto più importante della storia del XX secolo (McNeill, 2002).

L'incessante crescita industriale di fine '800 e i suoi effetti negativi sull'ambiente hanno stimolato la sensibilità di alcuni pensatori e poeti che denunciarono nelle loro opere questo senso di disagio.

Nacque così da lontano il fenomeno ambientalista che avrà un'evoluzione e un'espansione sempre maggiore trasformandosi dall'atto di protesta passiva in una corrente attiva e pragmatica.
I romantici inglesi, come William Wordsworth e William Blake descrissero la profondità spirituale e fantastica che la natura era in grado di ispirare e si scagliarono contro la crescente urbanizzazione e meccanizzazione della società, la cui attenzione era sempre più rivolta al guadagno e al consumismo.
Gorge Perkins Marsh (Lowenthal, 2000) fu uno dei primi a comprendere che l'uomo aveva la possibilità di infliggere ferite insanabili alla natura e Aldo Leopold anticipò quel senso di colpa che caratterizza l'ambientalismo odierno (Leopolod, 1997).

Questi uomini contribuirono a formare organizzazioni ambientaliste, come il Sierra Club e la Wilderness Society per preservare la natura

e proteggerla dalla crescita industriale.

Nel 1962, la pubblicazione di Primavera silenziosa di Rachel Carson affiancò al romantico trasporto una preoccupazione basata su considerazioni scientifiche (Carson, 1962).
La Carson denunciò un fenomeno più insidioso: immaginò un paesaggio in cui non si sentisse il canto degli uccelli e spiegò che le sostanze chimiche prodotte dall'uomo, in particolare i pesticidi come il DDT, stavano avvelenando il mondo industrializzato.

Questi possono essere considerati gli albori del fenomeno ambientalista cresciuto di pari passo con lo sviluppo industriale e lo sfruttamento indiscriminato delle Risorse del pianeta degli ultimi due secoli.

Nasce da queste premesse quella che viene qui definita come fase post industriale che riguarda anche la sfera della progettazione in maniera più o meno conscia: dall'architettura organica di Alvar Alto e Frank Lloyd Wright alle strutture ispirate alla natura di Buckminster Fuller, alle teorie di Papanek sul design per un mondo reale (Papanek, 1973) alle esperienze di autoproduzione di Enzo Mari (n. 1932), etc.

Una prima svolta importante rispetto alla presa di coscienza dei limiti del modello di sviluppo industriale si ha con la pubblicazione, nel 1972, dello storico studio "I limiti dello sviluppo (Meadows et.al., 1972) commissionato da Aurelio Peccei (Club di Roma) al System Dynamics Group della Sloan School of Management del MIT di Boston.
Dopo due anni di lavoro il gruppo di ricerca guidato da Dennis L. Meadows arrivò alla conclusione che, secondo il modello matematico basato sulla simulazione al computer World3, i limiti di resilienza del Pianeta rispetto all'industrializzazione, all'aumento della popolazione, dello sfruttamento delle risorse e all'inquinamento sarebbero stati raggiunti in un momento imprecisato entro i prossimi cento anni. Il risultato più probabile sarebbe stato un declino improvviso e incontrollabile della popolazione e della capacità industriale.

Tuttavia, il Rapporto lasciava anche spazio a un moderato ottimismo considerando la possibilità di modificare i tassi di sviluppo e giungere a una condizione di stabilità ecologica ed economica, sostenibile anche nel lontano futuro.
Purtroppo la reazione ai risultati del rapporto non fu quella sperata dal Gruppo di Ricerca e dal Club di Roma e nonostante la grande attenzione prodotta a livello mediatico, il messaggio fu sostanzialmente rigettato dalla cultura economica internazionale, compresi illustri premi Nobel quale l'economista Amartya Sen, assolutamente convinti che lo sviluppo tecnologico avrebbe sopperito a ogni rarefazione di risorse.

Esiste un vero e proprio spartiacque culturale tra gli economisti che credono ciecamente in una crescita illimitata e quelli invece che intravedono dei limiti fisici del pianeta Terra (Dasgupta, 2001). Nicholas Georgescu-Roegen scrive ad esempio:
"l'attività industriale in cui oggi è impiegata larga parte dell'umanità accelera sempre di più l'esaurimento delle risorse terrestri, fino ad arrivare inevitabilmente alla crisi. Primo o poi la 'crescita', la grande ossessione degli economisti standard e marxisti, deve per forza finire. La sola questione aperta è: quando". (Georgescu-Roegen, 1977)

La crescente attenzione verso la problematica ambientale ha dato vita ad una serie di appuntamenti e azioni di carattere Internazionale con l'obiettivo di valutare i rischi e le possibili azioni di mitigazione. Tuttavia, a oltre 40 anni di distanza dal rapporto del MIT, si può constatare l'inadeguatezza dell'azione politica ad affrontare nel concreto le problematiche di carattere ambientale.
Le crisi idriche nei paesi in via di sviluppo e non solo, sono un chiaro segnale di come il cammino sia ancora lungo.

Dalla Conferenza delle Nazioni Unite sull'ambiente e lo sviluppo di Rio (1992), alla conferenza delle Parti di Kyoto del dicembre 1997, l'attenzione mondiale si è sempre più focalizzata sul concetto di sviluppo sostenibile secondo la definizione coniata nel 1987 nel Brundtland report "Our Common Future":

“a development that satisfy the needs of today without jeopardising the needs of future generations” .

“Uno sviluppo che soddisfi I bisogni di oggi non precludendo quelli delle future generazioni”

Il filo conduttore di questo programma è l’Agenda 21: un insieme di impegni, presi a partire dalla conferenza di Rio, su quali azioni portare avanti per il ventunesimo secolo, su scala mondiale, nazionale e locale.
Per conservare le risorse naturali, proteggere l’ambiente, evitare le minacce alla stabilità del clima mondiale occorrono, infatti “pensiero globale e azione locale”.

Il primo approccio progettuale ascrivibile alla fase post industriale, è quindi quello derivante dalla “rivoluzione verde” con l’obiettivo di cercare di mitigare l’impatto ambientale del sistema industriale lineare grazie sostanzialmente alla riduzione degli sprechi e all’incremento dell’efficienza nei sistemi produttivi.

L’approccio volto all’eco-efficienza ha generato negli anni diverse teorie e metodologie incentrate sull’ottimizzazione del sistema produttivo esistente.
Tra queste, si evidenzia quella definita come “Fattore 10” sviluppata da un gruppo di sedici professionisti guidati da Friedrich Schmidt-Bleek. Il Factor Ten Club dichiara che *“Entro una generazione, le nazioni potrebbero raggiungere un aumento di efficienza di dieci volte superiore nell’uso dell’energia, delle risorse naturali e dei materiali”.*

A livello progettuale l’approccio comunemente definito come Eco-design o Design Sostenibile risponde alla logica dell’efficienza ponendosi come principale obiettivo quello di ripensare i prodotti migliorando le loro performance ambientali.
Attraverso il Life Cycle Thinking si fa comunemente ricorso ad analisi del ciclo di vita (Boustead, 1979), alla selezione dei materiali e processi a basso impatto ambientale per ottimizzare il sistema.

Secondo la definizione riportata da Treccani, il Design Sostenibile *“basa la progettazione di nuovi prodotti, frutto del miglior compromesso fra parametri ambientali e tecnico-economici, sulla*

valutazione degli impatti ambientali e sulla scelta dei materiali, delle forme e delle strutture."
Tuttavia, come evidenziano gli stessi autori, Tamborrini e Tartaro, si tratta di una definizione parziale, che negli ultimi anni ha trovato una sua evoluzione in un approccio sistemico (Tamborrini et.al., 2010).

L'acqua, considerata al pari di un sottoprodotto industriale come mezzo per il deflusso e il dilavamento degli scarti, comincia a mostrare segni evidenti di inquinamento e di impoverimento delle sue qualità. In questo contesto nascono le prime regolamentazioni sull'inquinamento e sulla gestione delle acque.
In Italia con la legge Merli del 1976 (Legge 319/1976), si è assegnato anche alle Regioni il compito di provvedere a Piani di risanamento, finanziando fognature e infrastrutture di depurazione. Tuttavia solo nel 1994, con la cosiddetta legge Galli (n. 36/1994) si introduce il concetto di "salvaguardia" dell'acqua, risorsa pubblica da gestire secondo criteri di solidarietà a beneficio delle generazioni future.
L'approccio al trattamento delle acque si sofferma sull'uso più efficiente delle risorse da un lato e sulla riduzione dell'inquinamento dall'altro.

LA FASE "SISTEMICA"

- ridefinizione del modello di consumo
- visione olistica che trae ispirazione dal modello naturale
- centralità delle relazioni
- tendenza alle zero emissioni
- centralità del bisogno primario del soggetto

BISOGNO DEL SOGGETTO

↓

- benessere complessivo
- nuovi modelli di progresso atti a sostenere la vita

ATTRATTORE DEL SISTEMA

L'approccio volto all'efficienza dell'attuale sistema produttivo ha mostrato tuttavia i suoi limiti.
E' andato via via affermandosi un approccio ambientalista più profondo (Naess, 1973) e ispirato ai meccanismi naturali e alle moderne Teorie dei Sistemi.

La sostenibilità si traduce in qualcosa di più del tradizionale assioma *"inquinare di meno"*, difficilmente risolutivo del problema ambientale; oggi si può dire, pensare, scegliere e consumare diversamente. (Tamborrini e Tartaro, 2010)

L'attrattore diventa il bisogno reale, basato sul benessere

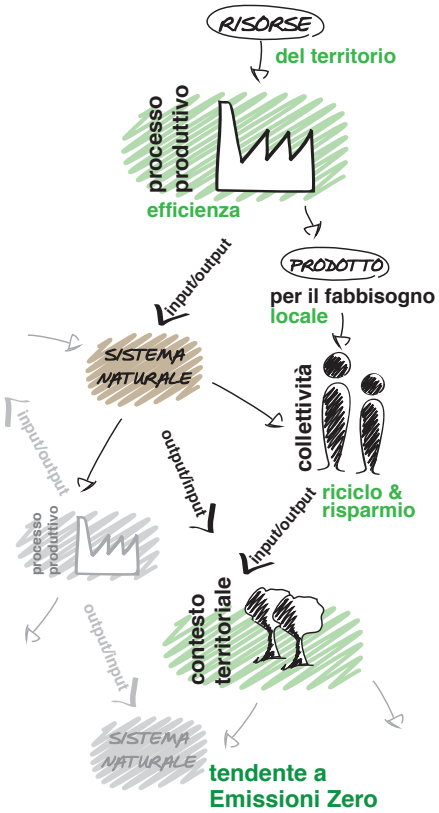
dell'individuo inserito in una comunità e in un ambiente fisico.
La maggiore consapevolezza rispetto alla problematica ambientale e ai meccanismi che regolano la vita, ha incoraggiato nuovi atteggiamenti alla progettazione, che allarga quindi la sua prospettiva al sistema prodotto, al contesto sociale e al modello di consumo.
Si passa da un approccio alla sostenibilità figlio della logica di pensiero che ha generato il sistema industriale lineare, ad un pensiero più maturo che trae ispirazione dal cambio di paradigma scientifico e culturale in atto (Kuhn, 1970).
Si potrebbe dire che la fase sistemica segna un passaggio dall'eco-efficienza all'eco-efficacia (Mc Donaugh, 2002).

Gunter Pauli, fondatore dell'istituto di ricerca Zero Emission Research and Initiatives (ZERI, 1994) definisce Svolta Epocale questo passaggio dalla la visione antropocentrica – positivista alla visione eco-centrica in cui il tutto è inseparabile.

A tal proposito Gregory Bateson affermava circa 40 anni fa che: *"Ora cominciamo a scorgere alcuni degli errori epistemologici della civiltà occidentale. In armonia col clima di pensiero che predominava verso la metà dell'Ottocento in Inghilterra, Darwin formulò una teoria della selezione naturale e dell'evoluzione in cui l'unità di sopravvivenza era o la famiglia o la specie o la sottospecie o qualcosa del genere. Ma oggi è pacifico che non è questa l'unità di sopravvivenza del mondo biologico reale: l'unità di sopravvivenza è il complesso "organismo più ambiente" (cioè non è una unità delimitabile). Stiamo imparando sulla nostra pelle che l'organismo che distrugge il suo ambiente distrugge sé stesso. L'unità di sopravvivenza evolutiva risulta coincidente con l'unità mentale."* (Bateson Gregory, 1972)

Secondo Janine Benyus questo cambiamento ci "*introduce in un'era basata non su ciò che possiamo estrarre dalla natura, ma su ciò che possiamo imparare da essa."* (Janine Benyus, 1997).
La cooperazione e la mutua dipendenza costituiscono quindi gli aspetti centrali dell'evoluzione della rete della vita e, in un'ottica di progettazione sostenibile, dovranno essere assunti come principi

Modello Produttivo **sistemico**



basilari.
Se da un lato, infatti, l'economia attuale incoraggia la competizione, l'espansione e la dominazione, l'ecologia incoraggia la cooperazione, la conservazione e la collaborazione.

"La vita non prese il sopravvento del globo con la lotta, ma istituendo relazioni" (Margulis, Sagan, 1986).

L'approccio sistemico rappresenta uno strumento essenziale per la comprensione delle dinamiche della vita.
Il concetto di sistema aperto consente di non ricondurre i fenomeni allo schema meccanico del sistema isolato e quindi destinato alla morte entropica, ma ad un sistema complesso che scambia energia ed eventualmente materia con l'ambiente procedendo verso una naturale diminuzione dell'entropia (e questo accade senza violare il secondo principio della termodinamica) e una costruzione di ordine (Bologna, 2005).

Oggi tutte le scienze, da quelle naturali a quelle sociali, si confrontano con un approccio sistemico. Il paradigma sistemico legge i singoli fenomeni, anziché come isolati, come parte di un tutto.
Il sistema è definito come un insieme di parti (Leibniz, 1666), ogni insieme definibile di componenti (Maturana, 1972) che interagiscono tra loro: *"un sistema è un insieme di unità in reciproca interazione"* (Bertalanffy, 1968).

Secondo Edgar Morin *"Tutti gli oggetti della fisica, della biologia, della sociologia, dell'astronomia, gli atomi, le molecole, le cellule, gli organismi, le società, gli astri, le galassie, costituiscono sistemi [...]. Il nostro mondo organizzato è un arcipelago di sistemi nell'oceano del disordine. Tutto ciò che è oggetto è divenuto sistema"* (Morin, 1977).

I Sistemi viventi secondo la definizione di Fritjof Capra (1996) sono reti autopoietiche, chiuse dal punto di vista organizzativo ma aperte al flusso di materia ed energia, che attraverso un processo conoscitivo si materializzano in strutture dissipative lontane

dall'equilibrio. Il fenomeno della vita può essere quindi osservato secondo tre criteri interdipendenti tra loro: **Schema, Struttura e Processo**.

Se lo Schema di organizzazione è la configurazione delle relazioni che determinano le caratteristiche essenziali del sistema definendolo appartenente a una certa classe, e la Struttura è 'incarnazione fisica dello schema, il Processo della vita costituisce l'attività necessaria alla materializzazione continua dello Schema di organizzazione in Struttura.

Questa nuova concezione della vita cambia radicalmente la concezione meccanicistica maturata in epoca illuministica sulla base delle teorie Newtoniane, abbandonando definitivamente l'idea di Universo come un perfetto orologio costituito da componenti indipendenti sottoposti alle regole di causa ed effetto.

Gli studi di Ilya Prigogine sulle strutture dissipative modificano ulteriormente quello che la termodinamica classica definiva come entropia, introducendo un cambiamento radicale e mostrando che nei sistemi aperti la dissipazione diviene una forma di ordine. Data la necessità di un continuo flusso di energia dall'ambiente, un sistema complesso può essere considerato un sistema aperto. Studiando i fenomeni termodinamici irreversibili in condizioni di lontananza dall'equilibrio, Prigogine concluse quindi che i sistemi aperti, mediante lo scambio di materia e di energia con l'esterno, non procedono nella loro evoluzione verso l'aumento costante e irreversibile di entropia, ma possono anche evolvere verso stati di maggiore ordine (Prigogine, 1977).

Anche **l'acqua**, se studiata mediante un approccio olistico, **può essere descritta come un sistema complesso**. Le recenti teorie sulla struttura bifasica dell'acqua liquida intesa come un sistema molecolare aperto costituito da super domini di coerenza, sembrano, trovare riscontro nelle strutture dissipative teorizzate da Prigogine (Del Giudice e Preparata).

I Sistemi Aperti sono quindi, secondo la definizione introdotta

per la prima volta da Maturana e Varela nel 1972 (Maturana e Varela, 1972), **una rete autopoietica**, ovvero una rete di processi di produzione, in cui la funzione di ogni componente è quella di partecipare alla produzione o alla trasformazione di altri componenti della rete.
In questo modo, l'intera rete produce continuamente se stessa.
Viene prodotta dai suoi componenti e a sua volta produce i componenti attraverso un processo costante di auto-organizzazione, regolato da anelli di retroazione.
C'è una retroazione positiva in cui l'informazione aumenta la deviazione del sistema dal proprio stato iniziale; c'è una retroazione negativa in cui l'informazione riporta il sistema allo stato iniziale e diminuisce la deviazione.

L'applicazione della teoria dei sistemi allo studio della vita portò a formulare un modello che rappresenta forse l'espressione più sorprendente e bella di auto-organizzazione: l'idea che il pianeta Terra, nella sua interezza, sia un sistema vivente, auto-organizzantesi.
Questa teoria, che va sotto il nome di **"Ipotesi Gaia"**, fu presentata per la prima volta da James Lovelock nel 1969 (Lovelock, 1969) ed elaborata grazie alla collaborazione del chimico dell'atmosfera e della microbiologa Lynn Margulis (Margulis, 1986).

La teoria di Gaia dimostra che c'è una stretta concatenazione fra le parti viventi del pianeta e le sue parti non viventi, attraverso un'autoregolazione continua mediante continui anelli di retroazione.
" *…Quando gli scienziati ci dicono che la vita si adatta a un ambiente essenzialmente passivo, fatto di chimica, fisica e rocce, perpetuano una visione gravemente distorta. In realtà la vita realizza e forma e modifica l'ambiente a cui si adatta. Allora quell'ambiente agisce a sua volta sulla vita che sta cambiando, agendo e crescendo in esso. Ci sono dunque delle interazioni cicliche costanti."* (Lynn Margulis, 1989)

Lo sviluppo della visione sistemica e le scoperte della fisica che hanno avuto luogo nei primi tre decenni del XX° Secolo, hanno determinato un profondo cambiamento nella nostra visione del

mondo e ci hanno permesso di comprendere parte dello schema di organizzazione della vita.

A questo punto risulta utile, ai fini del progetto di ricerca, richiamare sinteticamente le caratteristiche dei sistemi complessi la cui dinamica è alla base della vita.

Ludwig Von Bertalanffy fu tra i primi ad elaborare, attraverso la **"Teoria Generale dei Sistemi"** (Beralanffy, 1968), una serie di regole generali applicabili a tutte le scienze.
Senza completare mai in modo definitivo il suo lavoro, riuscì a definire un insieme di principi che, uniti a quelli scoperti successivamente da altri, costituiscono le basi dell'approccio sistemico:

- Le caratteristiche del pensiero sistemico impongono uno **spostamento dalle parti al tutto**, le proprietà sistemiche vengono, infatti, distrutte quando un sistema viene sezionato in elementi isolati.

- **Il valore complessivo** creato dall'intero sistema **è sempre maggiore della somma dei valori che verrebbero generati dai singoli componenti** presi separatamente.

- I sistemi inoltre sono formati su **vari livelli**, sistemi inseriti in altri sistemi, in cui a ciascun livello i fenomeni osservati mostrano proprietà che non esistono a livelli inferiori. Le proprietà delle parti del sistema non sono proprietà intrinseche ma si possono comprendere solo nel contesto di un insieme più ampio; il pensiero sistemico è così un pensiero contestuale.

- Nel nuovo pensiero sistemico, la rete sostituisce l'edificio nella metafora della conoscenza; quello sistemico è un **pensiero di processo, di relazioni**.

A distanza di trent'anni Alberto De Toni e Luca Comello (De Toni, Comello, 2005) hanno razionalizzato i diversi contributi prodotti da varie discipline (fisica, biologia, filosofia, economia, management, etc.) sulla teoria della complessità arrivando ad individuare sette

principi cardine:

1) Autorganizzazione

Comparsa spontanea di ordine, nuove strutture e nuove forme di comportamento in sistemi termodinamicamente aperti, ma organizzativamente chiusi, lontani dall'equilibrio. *"Un processo irreversibile che, grazie all'azione cooperativa di sottosistemi, porta a strutture più complesse nel sistema globale."* (Ebeling, 1991)

2) Orlo del Caos

I sistemi complessi ricercano l'orlo del caos, uno stato vitale in equilibrio dinamico tra ordine e disordine, in perenne cambiamento. Matematicamente si definiscono sistemi caotici quei sistemi le cui orbite non possono essere rappresentate con funzioni analitiche standard.

3) Principio Ologrammatico

La parte è nel tutto. Il tutto è nella parte (es: forme frattali).

4) Impossibilità della previsione

I sistemi complessi si trovano in uno stato al limite tra prevedibilità e indeterminazione, dove tutto è possibile, ma non tutto si realizza.

5) Connessioni

Ogni cosa è connessa a un'altra e sovente con una grande sensibilità.

Un sistema caotico è caratterizzato da una dipendenza sensibile dalle condizioni iniziali. In circostanze appropriate la minima indeterminazione può crescere fino a rendere del tutto imprevedibile il futuro del sistema.

6) Causalità Circolare

Nei sistemi complessi la causa genera l'effetto, che a sua volta retroagisce sulla causa in una relazione circolare (feedback).

7) Apprendimento Try&Learn

In condizioni di elevata complessità, dominate dall'intreccio tra necessità e caso, l'unico modo per apprendere è quello che

procede per tentativi.
L'apprendimento Try&Learn è la base per generare nuova conoscenza. Infatti, nel caso in cui i tentativi vadano a vuoto, le organizzazioni comunque apprendono l'inefficacia di certe scelte. Mentre, se i tentativi vanno a buon fine, portano a nuovi risultati e modelli.

DESIGN SISTEMICO

Il Design Sistemico è un approccio progettuale sviluppato dal Gruppo di Ricerca coordinato dal professor Luigi Bistagnino al Politecnico di Torino.

Secondo la definizione data dallo setsso Bistagnino:
"Il Design Sistemico è soprattutto un modello differente di economia che attiva, in un contesto rigorosamente locale, una rete di relazioni per trasformare gli output di un sistema produttivo in una risorsa (input) per un altro: una collaborazione virtuosa tra processi produttivi (agricoli e industriali) e il sistema dei regni naturali, il contesto territoriale e la comunità. L'uomo, quindi la comunità sociale, deve (ri)diventare protagonista di qualsiasi attività progettuale, si tratta di un design verso un nuovo umanesimo sintetizzato nello slogan «Uomo al centro del progetto», base dell'approccio del Design Sistemico e di tutto il Corso di Studi in Design del Politecnico di Torino". (Bistagnino, 2011)

Non si tratta di una visione antropocentrica, quindi incentrata sull'uomo come essere superiore a tutto, Natura compresa, ma come essere all'interno di una rete di relazioni in cui è la vita (biologica, etica, sociale) ad avere un peso superiore rispetto al sistema di valori complessivo" (Bistagnino, 2008).

Basandosi quindi sull'interpretazione degli ecosistemi come reti autopoietiche e come strutture dissipative, sono stati formulati un insieme di principi di organizzazione identificabili con i principi fondamentali dell'ecologia che possono essere utilizzati come linee guida nella formulazione del progetto di Ricerca e Sperimentazione qui condotto.

Input-Output

Principio fondante del Design Sistemico è l'equivalenza **"rifiuto = cibo"** ovvero l'eliminazione del concetto di scarto.

In natura non esiste lo scarto, ma solo un flusso di materia ed energia che attraversa vari processi metabolici.
Se i sistemi industriali attuali funzionano in un'ottica lineare che va dall'approvvigionamento delle materie prime, alla loro trasformazione, all'uso e alla dismissione in discarica ("dalla culla alla tomba") attraverso un "downgrade" della materia, i processi di trasformazione sviluppati in un'ottica sistemica hanno l'obiettivo di valorizzare le qualità della materia in passaggio.

L'approccio del Design Sistemico prevede la realizzazione di sistemi aperti al flusso di materia ed energia, organizzativamente chiusi, in cui gli output prodotti da un processo siano valorizzati nel ciclo come materia prima per altri processi in un sistema tendente alle zero emissioni[2].

Rete Di Relazioni

Un altro principio cardine è l'**interdipendenza**: tutti i membri di una comunità ecologica sono interconnessi in un'immensa e intricata rete di relazioni, la trama della vita.

La capacità di sopravvivenza e di adattamento propria della vita implica due principi base dell'ecologia: la flessibilità e la diversità.
La flessibilità di un sistema è la conseguenza dei suoi anelli di retroazione multipli che tendono a riportare in equilibrio il sistema ogni qualvolta ci sia una deviazione dalla norma, dovuta al cambiamento delle condizioni ambientali.
Questa capacità permette al sistema di organizzarsi continuamente in base alle modificazioni dell'ambiente esterno.

---

2 Per sistema a zero emissioni si intende un sistema in cui ogni risorsa viene valorizzata nei processi di trasformazione senza la produzione di scarti o sottoprodotti.

La diversità invece permette una maggiore elasticità del sistema, grazie al fatto di avere molte specie le cui funzioni ecologiche si sovrappongono e che quindi possono sostituirsi una all'altra.

Come si vedrà più avanti l'acqua contiene bene entrambe queste caratteristiche e può essere considerato come un modello naturale grazie al quale approfondire e meglio comprendere le leggi naturali della Teoria dei Sistemi.

Secondo questo approccio è possibile definire il Sistema Naturale come un: *Sistema aperto in cui il continuo scambio di materia ed energia porta all'eliminazione del concetto di rifiuto, flessibile ed elastico in cui tutte le sue parti sono interdipendenti e concorrono costantemente alla produzione o trasformazione di altri componenti della rete attraverso un processo di auto – organizzazione regolato da continui anelli di retroazione.*

Il Design Sistemico si basa su semplici principi[3]:

- gli **output** di un sistema diventano **input** per un altro;

- le **relazioni** che si instaurano generano lo stesso sistema aperto (i sistemi chiusi sono quelli lineari attuali);

- i sistemi aperti, che si sono messi in azione, **si sostengono e si riproducono autonomamente coevolvendo congiuntamente**;

- il **contesto** in cui si opera è fondamentale e prioritario rispetto all'esterno;

- **l'uomo**, relazionato al suo contesto, **è il centro del progetto**.

Ne scaturisce un sistema relazionale molto dinamico e complesso che col procedere delle connessioni tra le parti acquisisce forte coesione e consapevolezza tanto da acquisire una forza

3 Linee guida fondamentali del Design Sistemico (Design, Politecnico di Torino e ZERI)

autogenerativa (autopoietica) di tutte le azioni messe in atto.

"In contrasto con la concezione meccanicistica cartesiana della realtà, la visione del mondo che emerge dalla fisica moderna può essere caratterizzata con parole come organica, olistica ed ecologica. Essa potrebbe essere designata anche come una visione sistemica, nel senso della teoria generale dei sistemi. L'universo non è visto più come una macchina composta da una moltitudine di oggetti, ma deve essere raffigurato come un tutto indivisibile, dinamico, le cui parti sono essenzialmente interconnesse e possono essere intese solo come strutture di un processo cosmico." (Capra Fritjof, 1982).

È sempre più evidente che un'insistenza eccessiva sul metodo scientifico e su un pensiero razionale, analitico, ha condotto ad atteggiamenti che sono profondamente anti ecologici.
In verità la comprensione di ecosistemi è ostacolata dalla natura stessa della mente razionale. Il pensiero razionale è lineare, mentre la consapevolezza ecologica sorge da una comprensione intuitiva di sistemi non lineari. (Capra, 2001)

La ricerca sulla comprensione del comportamento e delle proprietà ha quindi l'obiettivo di far nascere nuovi spunti progettuali sull'organizzazione del sistema aperto che regola i flussi d'acqua all'interno dell'ambiente domestico.
Progettare in maniera sistemica vuol dire, infatti, tenere in considerazione una molteplicità di elementi (biologici, chimici, fisici…) valutando i flussi di materia, energia e informazione che attraversano un sistema in modo da generare una rete di relazioni tra i differenti attori che consenta di valorizzare tutti gli input e gli output del sistema stesso.