

## APPROCCIO SISTEMICO E GESTIONE MULTISCALE DEI DATI

Il caso studio ‘frigorifero’

## A SYSTEM APPROACH AND MULTISCALE DATA MANAGEMENT

A ‘refrigerator’ case study

Paolo Marco Tamborrini, Eleonora Fiore

### ABSTRACT

Numerose tecnologie digitali come l’Internet of Things, l’Intelligenza Artificiale e il Machine Learning potrebbero stravolgere il modo di concepire il processo progettuale, soprattutto quando impiegate per reperire informazioni indispensabili alla definizione del problema, individuare i requisiti e sostenere decisioni progettuali, tipiche della fase di pre-design. In questo saggio si riflette sulla complessità del progetto, sulla necessità di un approccio sistemico basato su metodi partecipativi e sull’utilizzo di prototipi come strumenti per sbloccare il potenziale, ancora ampiamente inesplorato, dell’utilizzo dei dati ai fini progettuali. In seguito a un esperimento condotto su un frigorifero, sono state inoltre tratte conclusioni su visioni future, aspetti metodologici di progettazione nell’ambito del design sistemico e sulla relazione tra dato e sostenibilità.

Many digital technologies, such as the Internet of Things, Artificial Intelligence and Machine Learning, could radically change the way of conceiving a design process, especially when they are used to retrieve essential information to define a problem, identify the requirements and support design decisions, all of which are typical of the pre-design phase. In this essay, we reflect on the complexity of designing, on the need for a systemic approach based on participatory methods and on the use of prototypes as tools to unlock the potential, albeit still largely untapped, use of data for design purposes. An experiment has been conducted on a refrigerator and conclusions have been drawn on future visions, methodological aspects in the field of systemic design and the relationship between data and sustainability.

### KEYWORDS

design sistemico, sostenibilità, tecnologie digitali, requisiti, economia circolare

systemic design, sustainability, digital technologies, requirements, circular economy

**Paolo Marco Tamborrini**, Designer, is an Associate Professor in Design. He is in charge of the Design School at the Politecnico di Torino (Italy). He is Founder and Scientific Manager of the Innovation Design Lab, a hub in which Systemic Design is used to guide innovation toward entrepreneurship and environmental sustainability. He deals with design criticism and cooperates with some sector newspapers. Mob. +39 338/62.74.677 | E-mail: paolo.tamborrini@polito.it

**Eleonora Fiore**, Eco-Designer and PhD, is a Research Fellow at the Department of Architecture and Design at the Politecnico di Torino (Italy) where she mainly carries out research in the field of systemic design, sustainability and the IoT applied to the design of product systems. Mob. +39 328/73.03.068 | E-mail: eleonora.fiore@polito.it

Negli ultimi decenni e dopo numerose sperimentazioni, le tecnologie pervasive basate sull'Internet of Things (IoT), sull'Intelligenza Artificiale e il Machine Learning hanno trovato un'applicazione reale, introducendo nuovi modi di gestire le informazioni e nuove forme di conoscenza. La capacità di processare i megadati tramite algoritmi e la possibilità di apprendere dagli stessi, danno origine a scenari futuri ancora inesplorati. Soprattutto, disegnano i profili degli utenti e dei loro comportamenti, con dettagli preziosi e ricchezza di informazioni qualitative e quantitative, definiscono requisiti<sup>1</sup> e producono dati che, se opportunamente ed eticamente impiegati, possono diventare strumento per supportare i designer nella progettazione di sistemi di prodotti radicalmente nuovi, in particolare nell'ambito della sostenibilità ambientale (Ramadoss, Alam and Seeram, 2018; Sonetti, Naboni and Brown, 2018; Ghoreishi and Happonen 2019; Ellen MacArthur Foundation, 2019; Vinuesa et alii, 2020). Allo stesso modo, possono facilitare la progettazione su scale diverse, supportando il passaggio da una scala micro, alla quale si giunge con l'acquisizione di conoscenze via via più specifiche e puntuali, a una scala macro, attraverso un processo inverso di astrazione che dal particolare ritorna al generale. In questo saggio, s'intende indagare la fase di pre-design, o rilievo olistico, che comprende la scoperta dei requisiti e la loro specificazione, dando seguito al dibattito iniziato negli anni '60, nel decennio definito da Richard Buckminster Fuller della 'scienza del design' (Cross, 2008).

Il movimento rappresentato dai cosiddetti 'design methodologists', tra cui John Christopher Jones, Christopher Alexander, Geoffrey Broadbent, Bruce Arche e Gary Moore (Conley, 2004), ha cercato di strutturare il processo di progettazione<sup>2</sup> dando il via alla gestione dei requisiti progettuali. La scoperta dei requisiti è un argomento comune a molte discipline al di fuori del design e dell'architettura; ogni disciplina ha però affrontato la sfida individualmente, da prospettive diverse e con strumenti alternativi (mappatura, rappresentazione, elaborazione di modelli, per citarne qualcuno).

Nel campo del Design, il dibattito sui requisiti è iniziato con il lavoro di Giuseppe Ciribini (1984) ed Enzo Frateili; tutt'ora è attivo e alla base della metodologia prestazionale adottata in molte Scuole italiane di design per strutturare il processo decisionale e l'analisi dello scenario nelle fasi iniziali del processo progettuale (Germak and De Giorgi, 2009). Poiché i requisiti sono l'espressione dei valori del sistema, come tali, meritano di essere strutturati e indagati a fondo seguendo passaggi fondamentali, che ne consentono l'individuazione, la descrizione attraverso modelli e gerarchie, la validazione e la gestione nel tempo. Combinando le categorizzazioni fornite da Cheng e Atlee (2009) e da Hansen, Berente e Lyytinen (2009) si ottiene uno strumento per gestire i requisiti dei diversi attori, riassunto nei passaggi principali e secondari nella Figura 1. Considerando la complessità dei sistemi prodotto-servizio e delle ricadute di questi sugli aspetti economici, ambientali e sociali, occorre ripensare il concetto di 'utente-target', promuovendo un'idea più

estesa di 'rete di stakeholder' o attori specifici del progetto, per tenere conto dei numerosi effetti che può avere un prodotto durante il suo utilizzo.

**Il ruolo degli stakeholder e delle competenze transdisciplinari** | Con il termine pre-design si intendono le numerose attività che si svolgono durante la fase esplorativa, essenziali per raccogliere le informazioni utili ai fini progettuali e stabilire i valori che si vogliono veicolare all'interno del progetto. Per riprendere una visione nota e senza la pretesa di selezionare un unico e specifico processo progettuale possibile, facciamo riferimento ai primi due moduli del processo del Design Thinking sviluppati dalla Stanford University (Fig. 2), concepiti in maniera semplificata per consentire a chiunque di comprendere il processo progettuale (Carter, 2016). Esistono diversi metodi per concretizzare questa fase d'indagine: la ricerca etnografica, la definizione di scenari alternativi, i brainstorming e i focus group sono tra questi, insieme all'uso di prototipi, anche rudimentali, come strumento per stabilire una base comune per la comprensione e la discussione (Hansen, Berente and Lyytinen, 2009). Tutti questi metodi d'indagine tendono però a essere informali e intuitivi per facilitare un feedback tempestivo da parte degli stakeholder (Cheng and Atlee, 2009).

Nel caso della progettazione di sistemi complessi, questa fase esplorativa risulta multiforme e articolata soprattutto a causa della difficoltà nell'individuazione degli attori diretti e indiretti che verranno influenzati dal sistema stesso. Si tratta di attori univoci e peculiari che dipendono, tra le altre cose, dai confini stabiliti per il sistema che si sta prendendo in considerazione: non possono essere generalizzati e solo una loro corretta identificazione ci consente di procedere nella direzione corretta. La complessità è un fenomeno in continuo cambiamento nei contesti, nei vincoli e nelle funzionalità e richiede una gestione transdisciplinare (Berente, Hansen and Lyytinen, 2009), in grado di coprire numerose abilità e competenze per rispondere ai requisiti di tutte le parti interessate. Per questa tipologia di progetto non possiamo più fare riferimento al lavoro di un singolo designer illuminato. La complessità va di pari passo con la contaminazione delle conoscenze per affrontare ogni nodo di un sistema. La definizione del team di progettazione e del network di stakeholder è un'operazione specifica di ogni progetto e dipende strettamente dal prodotto o dal servizio che si intende sviluppare.

Nella progettazione dei sistemi non si può pretendere che tutti i requisiti siano noti prima della costruzione del sistema stesso, in quanto continueranno a cambiare con il passare del tempo. Le decisioni progettuali saranno prese in risposta a nuove conoscenze, ovvero man mano che si comprenderanno meglio i requisiti (Lyytinen et alii, 2009). La comprensione del problema e la risposta progettuale dovrebbero co-evolvere come due attività inscindibili e intrecciate che si compongono a vicenda (Westerlund and Wetter-Edman, 2017). Inoltre l'evoluzione dei requisiti risente dell'evoluzione tecnologica ma anche dell'evoluzione del contesto socio-culturale (De Risi, 2001).

**Il Co-Design e il ruolo dei designer in ambiti complessi** | Il designer svolge pertanto un ruolo nella mediazione di requisiti, valori, ruoli e obiettivi contrastanti degli attori interessati, mantenendo una visione d'insieme del sistema. Per i sistemi su larga scala, quindi, la progettazione può essere considerata una 'negoiazione interdisciplinare' piuttosto che la pianificazione di un sistema perfettamente stabile, il cui risultato si traduce in un comportamento emergente e imprevedibile che differisce da quello dei singoli individui. Il Design Partecipativo – meglio noto come Co-Design – può fornire una risposta, favorendo l'intervento di potenziali utenti nelle decisioni progettuali che influenzano la loro vita; l'uso di metodi e tool consente di rivelare le esigenze inconsce o nascoste degli utilizzatori, evidenziando una conoscenza pratica e contestuale (de Bont et alii, 2013). Secondo Sanders e Stappers (2008), l'applicazione del Design Partecipativo a problemi su larga scala, durante le prime fasi della generazione dell'idea, durante il processo di progettazione, così come in tutti i momenti chiave della decisione, cambierà la progettazione e potrebbe cambiare il mondo.

Gli impatti positivi del coinvolgimento degli utenti nel processo progettuale sono stati espressi da Mink (2016) e de Bont et alii (2013). La conoscenza dei requisiti e il coinvolgimento attivo degli utenti dovrebbero portare al miglioramento dell'accessibilità e dell'accettazione del prodotto-servizio, provocando una maggiore soddisfazione, riducendo il numero d'iterazioni progettuali e quindi i tempi e i costi di sviluppo. L'apertura del processo d'innovazione alla società porta sicuramente benefici ma comporta alcuni rischi che non possono essere ignorati. Il solo coinvolgimento dell'utente, infatti, non garantisce l'identificazione di tutti gli aspetti rilevanti e può essere fallimentare quando le persone coinvolte non sono idonee al processo partecipato, causando un dispendio in termini di tempo e di costi. La selezione del panel adatto al co-design non è un'operazione banale e può richiedere molti sforzi da parte dei progettisti.

In ogni processo di co-progettazione la guida del designer è indispensabile per coinvolgere le parti interessate nella creazione di nuovi prodotti di valore. I designer fanno la differenza nei processi di co-progettazione anche perché possono lavorare con le parti e il tutto (Westerlund and Wetter-Edman, 2017), diventando figure strategiche nella gestione dei sistemi di più grande portata e complessità. Sanders e Stappers (2008) presentano l'idea di designer come facilitatore creativo, in grado di mediare le interazioni tra persone con diversi livelli di conoscenza, abilità e creatività. I due studiosi sottolineano l'importanza del designer come esperto di dominio nello sviluppo del progetto, creando nuovi strumenti per sviluppare un processo di Co-Design a supporto della creatività collettiva. Possiamo affermare quindi che i designer forniscono un altro modo di pensare; sono 'bravi' nella definizione e caratterizzazione dei problemi e hanno la struttura mentale per gestire informazioni incomplete senza rimanere bloccati. Per formazione, la maggior parte dei designer è abile nel pensiero

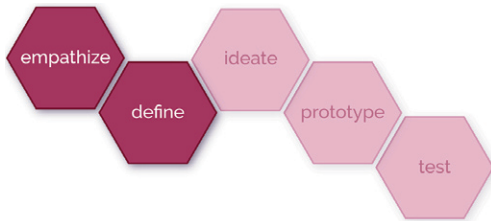
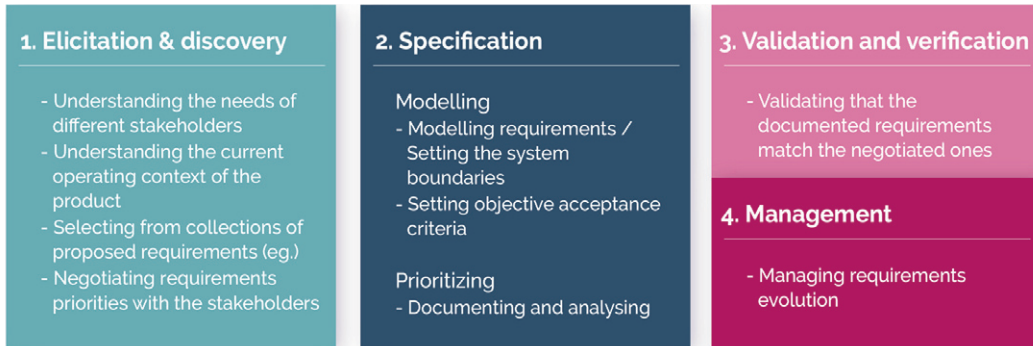


Fig. 1 | Steps in the investigation of design requirements.

Fig. 2 | Design Thinking Process (source: Stanford University, dschool.stanford.edu).

visivo, nella conduzione di processi creativi, nel trovare le informazioni mancanti ed è in grado di prendere le decisioni in assenza di informazioni complete.

Per la progettazione di sistemi complessi sostenibili emerge quindi la necessità di formulare un modello ibrido che utilizzi i processi di co-progettazione coinvolgendo non solo gli utilizzatori e gli stakeholder ma anche tante figure scientifiche e professionali interdisciplinari. Per il caso studio in oggetto, riferito alla progettazione, produzione e utilizzo dell'elettrodomestico frigorifero, è stata disegnata, per esempio, una rete di attori idealmente coinvolgibili (Figg. 3, 4). È importante impostare il dialogo e l'interazione tra le parti gestendo efficacemente le attività all'interno del sistema. Individuare uno o più obiettivi comuni, non in contrasto tra loro, permette di unire le competenze in modo efficace e di negoziare i requisiti e i valori.

**Progettare sistemi complessi** | La parte più difficile nella progettazione di sistemi complessi risiede nel non sapere come progettarli (Berente, Hansen and Lyytinen, 2009). Tuttavia è richiesta una visione sistemica in grado di mettere in relazione le diverse componenti in modo fluido, dinamico e solo parzialmente prevedibile. Una nuova sfida per la progettazione è che i sistemi futuri e gli artefatti da essi collegati tengano in considerazione questo grado di malleabilità e fluidità, che può passare – come suggeriscono Berente, Hansen e Lyytinen (2009) – attraverso le pratiche di co-progettazione con gli utenti o lo sviluppo di tool per la personalizzazione da parte degli utenti, ma può anche coinvolgere strumenti intelligenti che apprendono dall'uso, artefatti in evoluzione dinamica o artefatti generati dagli utenti stessi. Il designer sarà tenuto a prestare sempre più attenzione alla fluidità post-sviluppo di un prodotto, notevolmente differente rispetto a quella del passato. I requisiti dovrebbero essere pertanto adattabili e accompagnare la continua evoluzione del manufatto, anche dopo l'implementazione (Hansen, Berente and Lyytinen, 2009).

Nella trattazione dei sistemi complessi, il Design Sistemico (DS) fornisce un approccio oli-

stico per aiutare i designer a gestire tutte le parti del sistema, considerando molteplici requisiti, in particolare quelli ambientali con ricadute sull'economia e sulla società. Il DS aiuta a gestire la scala dei dettagli, da mega a nano e viceversa, gestendo tutti gli aspetti rilevanti, compresa la rete di relazioni che s'instaura tra le parti interessate e tra queste e l'ambiente (Bistagnino, 2016). In ottica di sostenibilità, il passaggio dal mega al nano è indispensabile per arrivare a misurare gli impatti del singolo prodotto relazionato al sistema, studiando tutti i componenti e la loro funzione, ma anche analizzando le interazioni che si generano con gli individui, per poi tornare al mega, ovvero alla progettazione di sistemi di prodotti maggiormente incentrati sulla sostenibilità, in grado di semplificare la vita e le azioni quotidiane delle persone. Il contributo del DS consiste nella capacità di gestire la complessità attraverso l'analisi a livelli e momenti diversi (cambi di scala), evidenziando le inefficienze dei prodotti attuali e trasformandole in altre funzionalità e significati del prodotto.

In quest'ottica, sono stati considerati i benefici dell'utilizzo degli indicatori IoT per raccogliere informazioni mancanti sia sul prodotto che sul suo utilizzo e monitoraggio. Ne deriva un accesso a una conoscenza più precisa e meno informale, adatto a definire fasi pre-design per nuove progettualità sostenibili, come s'intende dimostrare attraverso la sperimentazione condotta sul caso studio frigorifero e di seguito descritta. L'Intelligenza Artificiale (IA), inoltre, potrebbe essere applicata per il complesso compito di riprogettazione di intere reti e sistemi, ma sarà necessaria sia la collaborazione tra gli stakeholder, in antitesi alla tradizionale competizione, sia un certo grado di supervisione per supportare queste applicazioni sistemiche.

**Sistemi in grado di apprendere** | Alcuni sistemi tecnologici sono oggi in grado di prevedere e gestire un certo grado d'incertezza, dettato da comportamenti imprevedibili da parte dell'utente o da condizioni ambientali mutate (interruzione di corrente, minacce alla sicurezza).

Allo stesso modo, quindi, si può presumere di poter utilizzare questi sistemi anche per la gestione di requisiti variabili, incerti, incompleti e in evoluzione. Si tratta di compiti impensabili con le sole capacità computazionale dell'individuo umano e quindi delegabili alla tecnologia per una prima interpretazione. Tra le potenzialità di questi strumenti annoveriamo anche l'ottimizzazione delle prestazioni (ad esempio quelle energetiche) in modo dinamico rispetto al cambiamento dei profili operativi, ovvero delle persone che s'interfacciano con il dispositivo, o l'adattarsi in fase di esecuzione a nuove condizioni ambientali o, ancora, a nuovi requisiti che non erano stati previsti durante lo sviluppo (Cheng and Atlee, 2009).

Un caso studio in questa direzione è il termostato Nest di Google (Figg. 5, 6) in grado di modulare il riscaldamento in base alle abitudini e alle preferenze degli inquilini, imparando e programmandosi da solo e fornendo un report mensile all'utente, che potrà confrontare i consumi e comprendere come migliorare l'efficienza energetica con piccoli cambiamenti<sup>3</sup>. Questo oggetto rimane ancora oggi uno degli esempi che meglio coniuga la capacità di adattamento basata sui dati di consumo reali e la riduzione degli impatti ambientali. Il prodotto ha subito un'evoluzione partendo dall'apprendimento delle abitudini degli inquilini in modo da soddisfare il comfort termico, ottimizzando i consumi, fino a spingersi, nelle ultime versioni, al dialogo con i fornitori di energia per contrattare il prezzo evitando i picchi energetici (Kanellos, 2016). Si tratta di una task non solo onerosa in termini di tempo ma anche impensabile per un individuo.

GoPro è un altro esempio di azienda che utilizza i dati per migliorare i propri prodotti, imparando dalle modalità d'interazione degli utenti con essi (Ramadoss, Alam and Seeram, 2018). Le informazioni possono essere acquisite in modo indiretto, analizzando il comportamento degli utenti; l'azienda è così in grado di accedere a requisiti inesplorati, o taciti, e può progettare nuovi prodotti, migliorando l'usabilità e le performance. Sovente la progettazione parte da oggetti già esistenti, perché costituiscono una base ingegnerizzata e concreta da cui avviare un'analisi approfondita (Jonas, 2007). Sono i mezzi attraverso i quali esplorare, proporre e creare conoscenza da trasferire; facilitano la comunicazione tra progettisti e utenti finali (de Bont et alii, 2013). Winnow (Figg. 7, 8) è un sistema che utilizza la visione artificiale e il riconoscimento degli alimenti per contribuire a ridurre gli sprechi alimentari provenienti dal settore della ristorazione, ed è in grado di acquisire i dati, tracciare e classificare i rifiuti. Dopo un periodo di training, gli algoritmi sono in grado di riconoscere automaticamente i cibi sprecati, risparmiando tempo per il personale che non deve inserire manualmente i dati. Gli algoritmi IA ben progettati e addestrati sono molto potenti e adattabili; in ogni caso tali sistemi dipendono dalla qualità e dall'intensità dell'addestramento.

Xovix (Figg. 9, 10) è un sensore 3D di localizzazione della persona completamente basato sull'IA per il settore retail in grado di acquisire i dati real time delle persone nel loro percor-

so all'interno di un edificio (Gyger, 2018). Questi modelli sono predittivi: prevedono il movimento di una persona da un fotogramma all'altro e funzionano anche in assenza di una visione ininterrotta delle persone. Nell'era della sperimentazione dei negozi sempre più automatizzati, senza cash out, come nel caso del negozio Amazon Go, i sensori 3D basati su IA possono rilevare quando una persona prende un articolo da uno scaffale, lo posa o effettua una decisione d'acquisto seguendola per tutto il percorso. Tutti gli esempi riportati non sono esaustivi ma strumentali per mostrare le potenzialità dei prototipi che impiegano l'uso delle tecnologie digitali per specifiche finalità progettuali, ovvero per migliorare le performance anche in ottica di sostenibilità ambientale.

**Il caso studio 'frigorifero'** | In ambito domestico l'Internet of Things e l'Intelligenza Artificiale hanno già fatto il loro ingresso ufficiale con l'introduzione di assistenti vocali, videocamere Wi-Fi e sistemi di domotica integrata, rendendo accettabile e perseguibile l'utilizzo dei flussi di informazioni generati dai diversi livelli del sistema per futuri scopi progettuali. I dati tuttavia non costituiscono una forma di intelligenza di per sé. Il designer è chiamato a darne un senso, scegliendo quali informazioni saranno utili in fase progettuale per la realizzazione di prodotti intelligenti per gli spazi domestici. È, inoltre, auspicabile un ruolo del designer, insieme alle aziende, nella pianificazione della raccolta dati, nell'interpretazione e visualizzazione dei stessi per ottenere una massa di informazioni utili per nuove progettualità di prodotti e servizi più funzionali e sostenibili.

Si verrebbe a generare una forma di ciclicità progettuale, a effetto valanga, ricca di informazioni utilizzabili dai designer, dalle aziende e dagli stakeholder per migliorare e innovare, sia in forma incrementale sia radicale, i prodotti sul mercato. Questa pratica, se canalizzata in modo opportuno rispettando il codice etico sull'utilizzo dei dati, può portare alla progettazione di prodotti che rispondano alle esigenze dell'utente, tenendo conto delle questioni ambientali a cui è difficile dare una risposta univoca e globalizzata. Tale prassi aiuterebbe, infine, a considerare un numero crescente di attori e, quindi, di requisiti utili nei processi decisionali e nello sviluppo dei nuovi prodotti o nuove tipologie.

Come caso studio applicativo si è scelto di analizzare il contesto domestico, considerando la casa come un sistema che può essere osservato a diversi livelli di dettaglio. Si è scelto di concentrarsi sul frigorifero con una sperimentazione che ha previsto il monitoraggio di alcuni parametri fisici per un periodo continuativo, per comprendere le dinamiche domestiche che ruotano intorno a questo elettrodomestico, indagando le ripercussioni su tre livelli: i) per la riprogettazione del frigorifero; ii) per la riprogettazione di una routine domestica in cui il frigorifero svolge un ruolo chiave nella gestione dei pasti; iii) per progettare nuovi modelli di business che non prevedano il possesso dell'oggetto.

Per questo esperimento è stato inserito all'interno del frigorifero un rilevatore prototipo (Figg. 11, 12) in grado di raccogliere le informazioni relative alla luce, all'umidità, alla tempera-

tura interna ed esterna. La luce accendendosi testimoniava l'apertura del frigorifero, permettendo di valutare l'interazione dell'utente con l'elettrodomestico. Il consumo di energia invece è stato misurato con una smart plug esterna che raccoglieva il dato in ogni secondo, fornendo l'impronta digitale dell'apparecchiatura caratterizzata da un andamento ciclico con fasi alterne di attività e inattività ben riconoscibili (Fig. 13). Quando l'utente non apre la porta del frigorifero per lungo tempo, questo ciclo si stabilizza in un ciclo standard. Dall'analisi dei dati si possono trarre conclusioni più ampie, evidenziando come le conoscenze acquisite possano produrre indicatori per rilevare delle anomalie ed effettuare una manutenzione predittiva o generare modelli in grado di influenzare direttamente la riprogettazione del prodotto.

Per esempio, un frigorifero potrebbe riconoscere un'anomalia sulla temperatura interna: se si riscalda più velocemente del previsto, potrebbe significare che la guarnizione non è in grado di isolare efficacemente. Un'umidità eccessiva evidenzia, per esempio, il bisogno di pulizia dell'oggetto. In altri frangenti invece si potrebbero prevenire guasti e rotture al compressore o al motore, captando problemi nel sistema di raffreddamento e avvisando di conseguenza l'utente. Potrebbe anche essere l'utente a causare un'anomalia energetica, per esempio, lasciando la porta aperta o inserendo alimenti troppo caldi.

Se queste azioni venissero riconosciute e clusterizzate, si potrebbe intervenire puntualmente con misure correttive in grado di salvaguardare il prodotto e ridurre il dispendio energetico di un elettrodomestico connesso h24 alla corrente di cui si ha solo una vaga stima sui consumi<sup>4</sup>. Non si ha nessuna conoscenza sul consumo effettivo del frigorifero in un ambiente reale/complesso come quello domestico e nell'interazione con gli utenti che lo utilizzano quotidianamente o con gli altri elettrodomestici a cui è connesso. Non è possibile generalizzare perché le abitudini di consumo e le condizioni domestiche variano in base a innumerevoli fattori e questo comporta che le risposte attualmente date in ottica di sostenibilità non siano realmente efficaci e contestualizzate. Lo studio condotto tuttavia risulta limitato poiché il prototipo utilizzato non era dotato di dispositivi in grado di identificare anomalie nei cicli standard. Per fornire una visione basata sui dati si sarebbe dovuta condurre una sperimentazione in più abitazioni, con diverse caratteristiche tipologiche e ambientali, e con l'impiego di algoritmi smart per la lettura dei risultati.

I dati sull'uso reale di un prodotto in più abitazioni potrebbero essere raccolti per un breve periodo, con un rivelatore ad hoc per l'esperimento, al fine di ottenere proiezioni sulla vita utile dell'apparecchio e sui tempi di sostituzione o aggiornamento dei componenti, al fine di ottenere i massimi valori in ottica di economia circolare. Il saggio, in questo caso, fornisce alcune linee guida e indicazioni per studi futuri che vogliano affrontare l'utilizzo di dati per una progettazione in ottica di estensione del ciclo di vita di un prodotto, facendo affidamento sulla tecnologia per i monitoraggi prolungati (Norman and Stappers,

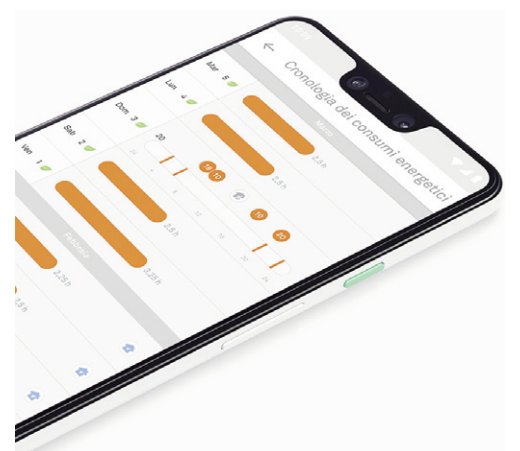
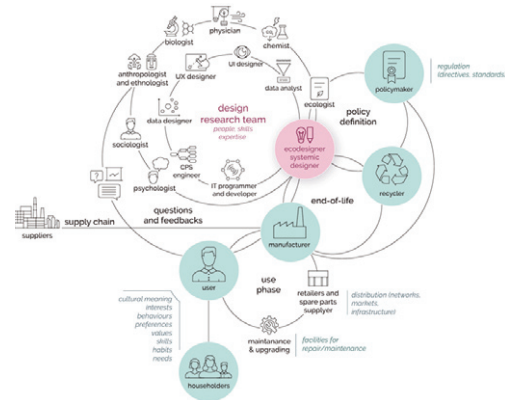
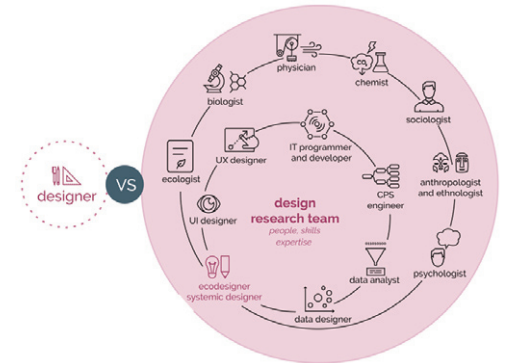
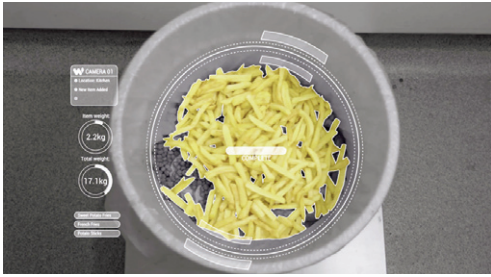


Fig. 3 | The design team involved in the development of connected new appliances.

Fig. 4 | The network of stakeholders related to the development of connected new appliances.

Fig. 5 | 3rd generation Nest Learning Thermostat considered to learn about user behaviour (source: store.google.com).

Fig. 6 | 3rd generation Nest Learning Thermostat delivers a report each month and it can be monitored and controlled by the user through a smartphone (source: store.google.com).



**Fig. 7 |** Winnow uses AI technology to reduce food waste in commercial kitchens (source: [www.winnowsolutions.com](http://www.winnowsolutions.com)).

**Fig. 8 |** Food waste is detected using a camera and weight sensors connected to Winnow (source: [www.winnowsolutions.com](http://www.winnowsolutions.com)).

2016) e sull'individuazione di pattern (Fig. 14).

### Massimizzare la vita utile o ripensare l'oggetto?

L'esperimento ha portato a testare le potenzialità dell'approccio ma richiederebbe indagini più lunghe con un campione esteso di abitazioni per avere una raccolta dati significativa. Isolare l'azione e clusterizzarla è essenziale per capire in che direzione muoversi e se un dato comportamento genera delle criticità. Ad esempio, serve informare l'utente su come agire per evitare lo spreco di risorse o l'usura di un componente? Si possono adottare misure correttive automatiche da parte del sistema prodotto? Si può agire a monte nella fase progettuale dove si è evidenziata una criticità nel funzionamento o nell'utilizzo?

Queste sono solo alcune delle domande a cui si può trovare risposta e sono ascrivibili a 4 strategie che hanno ricadute su tutto il ciclo di vita del prodotto: ripensare, adattare, prevedere e informare. Queste azioni rispondono a loro volta alle strategie dell'economia circolare (Potting et alii, 2017) riassunte in Figura 15, ovvero: (R0) rifiutare di produrre scarti a monte e componenti non necessari; (R1) ripensare le funzioni, mettendo in discussione l'utilità dell'oggetto stesso con le caratteristiche attuali; (R2) ridurre i materiali, gli impatti, i trasporti; (R3) riusare i componenti in tempo per massimizzare il loro valore; (R4) riparare come ultima strategia, preferibilmente aggiornare, integrare e far evolvere il sistema prodotto e allungarne la vita utile. Abbiamo preso in considerazione solo le prime 5 azioni in ordine di priorità, in particolare quelle che prevedono un cambio di mentalità e sono ascrivibili alla fase progettuale (R0, R1), afferiscono alla fase progettuale con ricadute sulla fase di produzione (R2), prevedono di mantenere l'oggetto o i suoi componenti nella loro integrità, per non disperdere l'energia inglobata

nelle fasi precedenti, in ottica di scarto zero con ricadute sulla manutenzione ed eventualmente sulla rigenerazione (R3, R4).

La Tabella 1 mostra le relazioni tra le linee guida, la fase del ciclo di vita su cui s'incentrano e le strategie dell'economia circolare a cui rispondono. Le linee guida possono essere dettagliate come segue: i) Ripensare – ridisegnare i processi in modo da includere l'attività dell'utente per attivare azioni correttive sul prodotto, fino a ripensare totalmente l'oggetto e a mettere in discussione la forma e le dinamiche che attualmente genera; ii) Adattare – il prodotto potrebbe adattarsi al comportamento dell'utente e quindi costruire sistemi di apprendimento in grado di evolversi e cambiare con l'utente; iii) Prevedere – definire modelli di utilizzo per apportare modifiche specifiche al funzionamento del frigorifero, come ad esempio influire sui cicli di raffreddamento in base alle routine dell'utente; iv) Informare – avvisare l'utente quando si sperimentano anomalie energetiche, prevenendo guasti e consumi irregolari. La ricerca condotta mira quindi a evidenziare come queste strategie di sostenibilità siano perseguibili in particolare grazie alla conoscenza dell'utente e dell'uso dei prodotti nei tempi e nei luoghi specifici, evitando generalizzazioni e standard poco flessibili.

**Limiti e sviluppi futuri |** Lo studio presenta un approccio non esaustivo ma percorribile se applicato a prodotti durevoli, la cui fase di utilizzo risulti particolarmente impattante e per i quali si voglia estendere la vita utile. Altri casi applicativi idonei a questo approccio possono essere i grandi elettrodomestici, i veicoli e più in generale tutti quegli oggetti con una vita utile intorno ai 10 anni che abbiano costi operativi rilevanti. Tuttavia, l'introduzione di tecnologia dovrebbe essere accompagnata da accurati studi sull'impatto ambientale e sulla valutazione dei costi, per assicurare che il progetto sia sostenibile sia dal punto di vista ambientale che economico. L'integrazione di sensori e la connettività degli oggetti devono essere scelte bilanciate con un reale risparmio e con un'effettiva riduzione dell'impatto sul lungo periodo. Per simulare la fase di utilizzo, in coerenza con quanto descritto sulla variabilità d'uso, l'LCA non è lo strumento più efficace.<sup>5</sup>

Questo studio prevede che in futuro vengano condotte simulazioni ulteriori per paragonare il sistema produttivo lineare attuale (la produzione di un frigorifero con una vita utile approssimativa di 14 anni e un fine vita che prevede il riciclo nei centri di smaltimento) con il modello sistemico proposto. Lo studio, come anticipato, dovrà essere supportato dalle analisi sugli utenti e sui dati in modo automatizzato, che saranno in grado di validare o confutare le ipotesi presentate.

**Conclusioni |** Il saggio intende fornire una visione allargata sul tema dello sviluppo di prodotti sostenibili a partire dalla modalità con cui effettuare l'analisi quali/quantitativa sugli utenti, grazie all'impiego di un approccio sistemico e all'uso di prototipi. Si indaga uno specifico prodotto domestico, il frigorifero, attraverso un caso studio applicativo strumentale per discutere

le implicazioni progettuali di un approccio basato sui dati. Il ragionamento potrebbe essere esteso ad altri prodotti, partendo da analisi approfondite in modo analogo, individuando una serie di parametri che, se monitorati, possano avere ricadute progettuali, generando miglioramenti dal punto di vista degli impatti ambientali. La progettazione di ambienti domestici sostenibili è quindi una pratica possibile attraverso un approccio di Design Sistemico supportato dalla raccolta di informazioni autentiche sugli utenti e sui luoghi in cui abitano. Si tratta di un approccio che consente di gestire la complessità e il passaggio dal micro al macro e viceversa, per un reale impatto sui comportamenti e quindi sulla sostenibilità del singolo individuo (micro) all'interno di una società/territorio (macro).

Attraverso la sperimentazione presentata s'intende far leva sull'uso dei prototipi IoT per portare a un miglioramento dei prodotti attuali e allo sviluppo di nuovi. Si propone l'uso dei dati come parte naturale del flusso di lavoro del progettista e del produttore, per comprendere meglio gli utenti e, a seguire, i prodotti e i servizi (Interana, 2015), attraverso l'acquisizione quantitativa dei dati (sensori) e l'uso di strumenti qualitativi (feedback, questionari, interviste). Ciò potrebbe portare a migliorare i prodotti attuali o a rendere più efficiente la manutenzione attraverso il monitoraggio proattivo, il controllo remoto e la manutenzione predittiva. Inoltre, si potrebbero fornire informazioni significative per l'utente portandolo a risparmiare, grazie all'interazione con altri dispositivi connessi o con i fornitori di servizi. O, ancora, una visione sistemica sui requisiti e sui dati potrebbe portare allo sviluppo di sistemi incentrati su nuovi modelli di business in ottica di economia circolare.

In the last few decades and after numerous experiments, pervasive technologies, based on the Internet of Things (IoT), on Artificial Intelligence and Machine Learning, have found a real application, which has led to new ways of managing information and new forms of knowledge. The ability to process mega data through algorithms and the ability to learn from them, have given rise to possible but as yet largely unexplored future scenarios. These technologies can be used to draw up user-profiles and behaviours, and through their use, valuable details and a wealth of qualitative and quantitative information can be used to define requirements<sup>1</sup> and gather data which, if used properly and ethically, can become a tool to support designers in the design of the radically new Product Service Systems (PSS), especially in the field of environmental sustainability (Ramadoss, Alam and Seeram, 2018; Sonetti, Naboni and Brown, 2018; Ghoreishi and Happonen 2019; Ellen MacArthur Foundation, 2019; Vinuesa et alii, 2020). In the same way, they can facilitate designing at different scales, and support the transition from a micro scale, which is achieved through the acquisition of more and more specific and punctual knowledge, to a macro scale, through an inverse process of abstraction, moving from the particular to the

general. In this essay, we attempt to investigate the pre-design phase, through a holistic survey, in which the discovery of the requirements and their specifications are included, building upon the debate that began in the 1960s, in the decade that Richard Buckminster Fuller defined as the 'design science' era (Cross, 2008).

The movement, which is represented by the so-called 'design methodologists', including John Christopher Jones, Christopher Alexander, Geoffrey Broadbent, Bruce Arche and Gary Moore (Conley, 2004), sought to structure the design process<sup>2</sup> and was thus the initiator of the structured management of design requirements. The discovery of design requirements is a topic that is common to many disciplines, apart from the design and architecture fields, although each discipline faces the challenge from an individual and different perspective and through the use of different tools, including mapping, representation and the elaboration of models, to name just a few.

In the design field, the debate on the requirements started with the works of Giuseppe Ciribini (1984) and Enzo Frateili. This debate is still ongoing and it underlies the performance methodology adopted in many Italian Design Schools to structure the decision-making process and the analysis of scenarios in the initial stages of a design process (Germak and De Giorgi, 2009). Since design requirements are the expression of the values of a system, they need to be structured and investigated in great detail according to certain fundamental steps, which allow them to be identified, described through models and hierarchies, validated and managed over time. By combining the categorizations provided by Cheng and Atlee (2009) and Hansen, Berente and Lytinen (2009), we have obtained a tool, whose main and secondary steps are summarized in Figure 1, which can be used to manage the requirements of different actors. Considering the complexity of PSS and their effects on economic, environmental and social aspects, it is necessary to rethink the concept of 'user-as-a-target', and to promote a broader idea of 'network of stakeholders' or specific project actors, to consider the numerous effects that a product can have during its lifetime.

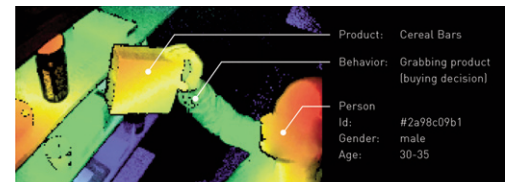
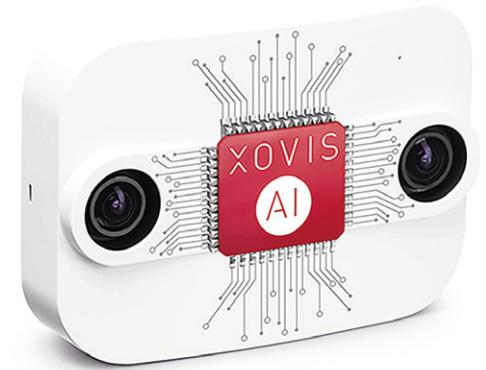
**The role of stakeholders and transdisciplinary skills** | Pre-design refers to the numerous activities that take place during the exploratory phase, which are essential to collect the different pieces of information that are useful for design purposes and to establish the values that a project should convey. We have relied on a well-known visualization, without claiming to have selected the only possible design process, by choosing the first two modules of the Design Thinking process developed by Stanford University (Fig. 2), which were conceived in a simplified way to allow anyone to understand the design process (Carter, 2016). Several methods are available for the investigation phase, including ethnographic research, the definition of alternative scenarios, brainstorming and focus groups, together with rough prototyping, which are effective in es-

tablishing a common understanding and communication basis (Hansen, Berente and Lytinen, 2009). However, all these investigation methods tend to be informal and intuitive in facilitating early feedback from the stakeholders (Cheng and Atlee, 2009).

In the case of designing complex systems, this exploratory phase is multifaceted and is mainly articulated because of the difficulties involved in identifying the direct and indirect actors that will be influenced by the system itself. These actors are unique and particular figures who depend, among others, on the boundaries established for the system being considered: they cannot be generalized, and only their correct identification allows one to proceed in the right direction. Complexity results in a continuous change of contexts, constraints and functionality, which requires multidisciplinary teams (Berente, Hansen and Lytinen, 2009), who must have considerable skills and expertise to meet the requirements of all the interested parties. For this type of project, it is no longer possible to refer to the work of a single illuminated designer. Complexity goes hand in hand with the contamination of knowledge to tackle a specific node of the system. Defining both the design team and the network of stakeholders is a project-specific operation, and it depends totally on the product or service that has to be developed.

In the design of systems, it cannot be expected that all the requirements will be known before the construction of the system itself, as they will continue to change over time. Design decisions will be made in response to new knowledge and understanding of the requirements (Lytinen et alii, 2009). 'Problem understanding' and the 'design proposal' should evolve together as two inseparable, intertwined activities that co-constitute each other (Westerlund and Wetter-Edman, 2017). Furthermore, the evolution of the requirements is affected by the evolution of technology, but also by the evolution of the socio-cultural context (De Risi, 2001).

**Co-Designing and the role of designers in complex situations** | Designers, therefore, play an important role in the mediation of the conflicting requirements, values, roles and goals of the involved actors, while keeping control of the system. For large-scale systems, design can be considered an 'interdisciplinary negotiation' rather than the planning of a perfectly stable system, which results in an emerging, unpredictable behaviour that differs from those of individuals. Participatory Design – which is better known as Co-Design – can provide an answer, as it favours the participation of potential users in design decisions that can influence their lives; the use of methods and tools enables covert or subconscious user needs to be revealed, thereby highlighting their practical and contextual knowledge (de Bont et alii, 2013). According to Sanders and Stappers (2008), the application of Participatory Design practices to large-scale problems, during the design process as well as in all the key moments of the decision process, may change the design and therefore change the world.



**Fig. 9, 10** | AI-powered Xovis 3D sensors detect when a person takes an article from a shelf (source: [www.xovis.com](http://www.xovis.com)).

Mink (2016) and de Bont et alii (2013) pointed out the positive impacts of user involvement in the design process. The knowledge of the requirements and the active involvement of users should lead to an improvement in the accessibility and acceptance of the PSS, enhance user satisfaction and reduce the number of design iterations, and therefore the development times and costs. Opening up the innovation process to society certainly introduces benefits, but also involves certain risks that cannot be ignored. Indeed, the involvement of the user alone does not guarantee the identification of all the relevant aspects and may lead to failure when the people involved are not suitable for the participated process, with the risk of wasting economic resources and time. The choice of a suitable co-designing panel is not trivial and can require a great deal of effort by the designers.

In each co-design process, the designer's guidance is mandatory to involve the interested parties in the creation of valuable new products. Designers 'make the difference' in co-design processes because they can work with the parts/details and the whole, simultaneously as well as separately (Westerlund and Wetter-Edman, 2017), and become strategic figures in managing systems at the larger scope and complexity levels. Sanders and Stappers (2008) introduced the idea of the designer as a creative facilitator, who is able to mediate interactions between people who have different levels of knowledge, skills and creativity. The two scholars underlined the importance of the designer as a domain expert in the development of a project, and in creating new tools to develop a Co-Design process to support collective creativity. It is, therefore, possible to say that designers provide another way of thinking; they are 'good at' problem setting and problem definition and they have the mental structure that allows them to deal with incomplete information without becoming stuck.

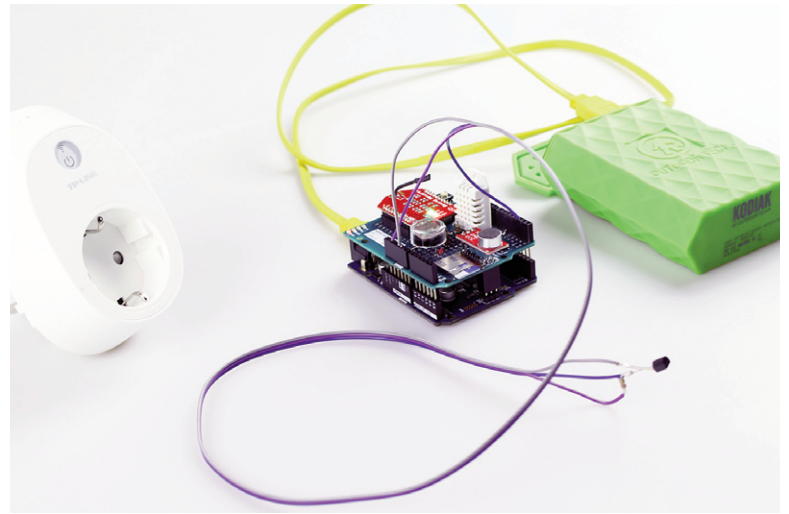
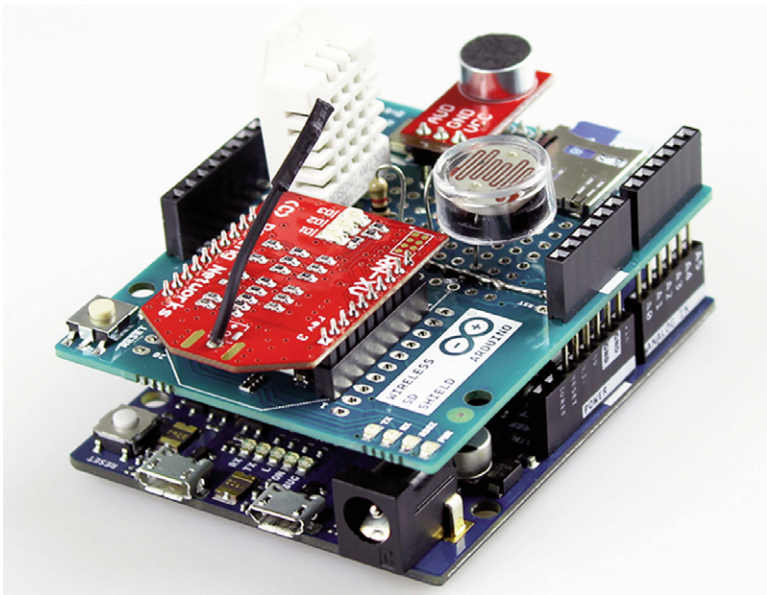


Fig. 11 | Arduino Zero with Wireless SD Proto Shield and sensors.

Fig. 12 | Prototype and the smart plug.

As a result of selection and training, most designers are good at visual thinking, conducting creative processes, finding missing information, and at being able to make necessary decisions in the absence of complete information (Sanders and Stappers, 2008).

Therefore, the need arises, for the design of sustainable complex systems, to formulate a hybrid model that uses co-design processes in which not only users and stakeholders are involved but also various interdisciplinary scientific and professional figures. For the case presented hereafter, which is related to the design, production and use of a refrigerator appliance, we have attempted to draw up a network of actors that could be involved (Fig. 3, 4). It is important to set up a dialogue and interaction between parties by effectively managing the activities within a system. Identifying one or more common goals, which are not in conflict with each other, allows skills to be effectively combined and thus requirements and values to be negotiated.

**Designing complex systems** | «The hardest part of designing complex systems is not knowing how to design them» (Berente, Hansen and Lyytinen, 2009, p. 6). Nevertheless, a systemic vision that is capable of relating the various components in a fluid, dynamic and only partially predictable way is required. A new challenge to design is that future systems and the artifacts connected to them should be able to accommodate this degree of malleability and fluidity, which – as suggested by Berente, Hansen and Lyytinen (2009, p. 6) – can pass «[...] through practices such as co-design with users or developing toolkits for user customization, but can also involve intelligent agents that learn from usage, dynamically evolving artifacts, or user generated artifacts». Designers will be required to increasingly deal with the post-development fluidity of a product, in a completely different way from in the past. The requirements should, therefore, be adaptable and accommodate the continuous evolution of the artifact, even after implementation (Hansen, Berente and Lyytinen, 2009).

In the discussion of complex systems, Systemic Design (SD) provides a holistic approach to help designers to manage all the parts of a system, by considering multiple requirements, while focusing on the environmental aspects and the impact on both the economy and society as a whole. SD helps to manage the scale of details, from mega to nano, and vice versa, and all the relevant aspects, including the network of relationships that is established between the interested parties and between them and the environment (Bistagnino, 2016). In terms of sustainability, the transition from mega to nano is fundamental to measure the impacts of a single product in relation to a system, which is achieved by studying all the components and their functions, but also by analyzing the interactions that are generated with individuals. Thus, we return to the mega aspect, i.e. the design of a PSS which is focused more on sustainability, and which is capable of simplifying the daily life of people and their actions. The contribution of SD is that it offers the ability to manage complexity through analysis at different levels and times (changes in scale), and highlights the inefficiencies of current products and transforms them into products with other features and meanings.

To this end, the benefits of using IoT indicators to collect information that is missing on a product, and/or on its use and monitoring have been considered. The result is access to a more precise and less informal form of knowledge, which is suitable for defining the pre-design phases of sustainable new projects, which we will attempt to demonstrate through the experiment described as the 'refrigeration case study' presented hereafter. Moreover, Artificial Intelligence (AI) may be applied to the complex task of redesigning entire networks and systems, but this requires both a close collaboration between the stakeholders, which is in contrast with their traditional competitive role and a certain degree of supervision to support these systemic applications.

**Learning systems** | Some technological systems are now able to predict and handle a cer-

tain degree of uncertainty, as dictated by unpredictable user behaviours or unanticipated environmental conditions (e.g. power outages, security threats) (Cheng and Atlee, 2009). In the same way, it is also possible to assume that these systems can also handle variable, uncertain, incomplete and evolving requirements. These tasks go beyond the computational skills of an individual and may, therefore, be delegated to technology to obtain the first interpretation. The potential of these tools also includes performance optimization (e.g. energy performances) to change operational profiles dynamically – i.e. the people who interface with the device – or adapt during operation to new environmental conditions or to new requirements that had not been anticipated during the development (Cheng and Atlee, 2009).

A case study in this direction is the Google Nest thermostat (Fig. 5, 6) which can modulate heating according to the habits and preferences of the users, by learning and self-programming, and providing a monthly report to the user, who is then able to compare the consumptions and understand how to improve energy efficiency with just a few small changes<sup>3</sup>. This device is one of the examples to date that combines adaptability, based on real-consumption data, and a reduction of the environmental impacts. The product has undergone an evolution over time, starting from the learning of the habits of users and satisfying their thermal comfort, while optimizing consumption, up to dialogue, in the latest versions, with energy suppliers to negotiate the price to avoid energy peaks (Kanellos, 2016). This task would not only be time-consuming for an individual but also practically impossible.

GoPro is another example of a company that has used data to improve their products and to learn from how users interact with such products (Ramadoss, Alam and Seeram, 2018). Information is retrieved indirectly, by analyzing user behaviour; the company is thus able to access the unexplored, or tacit requirements of the users and design new products, thus improving usability and performance. Design knowledge often resides in products themselves (Jonas,

2007), because they constitute an engineered and tangible base from which to start an in-depth analysis. Devices are the means through which it is possible to explore, propose and create knowledge that has to be transferred; they help to set up a dialogue between designers and the final users (de Bont et alii, 2013). Winnow (Fig. 7, 8) is a learning system that uses artificial vision and food recognition to help reduce food waste in the catering sector. It can be used to acquire data and to track and classify waste. After training, the algorithms automatically recognize wasted food, thus saving time for the staff, who do not have to enter data manually. Well-designed and trained AI algorithms are very powerful and adaptable; however, these systems always depend on the quality and intensity of the training.

Xovix (Fig. 9, 10) is a 3D location sensor, based on AI, which is used in the retail sector to acquire real-time data of people as they move within a building (Gyger, 2018). These sensors are predictive: they foresee a person's movement from one image frame to the next and they function even when the sensors do not have an uninterrupted view on a person. In the era of experimenting with more and more automated stores, as in the case of the cashier-free Amazon Go store, AI-powered 3D sensors can detect when a person takes an article from a shelf, puts it back or makes a buying decision and therefore follows him/her to the exit. The examples that have been mentioned are not intended to be exhaustive, but only to show the potential of prototypes that make use of digital technologies for specific design purposes, or to improve performance, and on occasion with a view of environmental sustainability.

**The 'refrigerator' case study** | The use of IoT and AI in the domestic environment has already been observed through the introduction of voice assistants, Wi-Fi cameras and integrated home automation systems, which make the use of the information flows generated by the systems acceptable and actionable at different levels for future design purposes. However, data do not constitute a form of intelligence per se. The designer is called upon to make sense of them, by choosing what information will be useful in the design phase to make intelligent products for domestic spaces. Furthermore, we here emphasize the need for a new role of the designer, in cooperation with manufacturers, in planning accurate data collections, that is a role of interpreting and visualizing data to obtain a body of useful information for new more functional and sustainable PSS projects.

This process would generate a form of design iteration, which, through a snowball effect, and being full of information, could be used by designers, companies and stakeholders to improve and innovate, both incrementally and radically, products already on the market. This practice, if properly conducted, while respecting the code of ethics on the use of data, could lead to products being designed that meet the actual needs of the user, but at the same time taking into account environmental issues that are difficult to address in a univocal and global-

ized way. This practice would help, among others, to consider an increasing number of actors and therefore consider the requirements that are useful in decision-making and in new product development or new typologies.

We decided to analyze the domestic context as an application case study, considering the house as a system that can be observed at different levels of detail. We decided to focus on a refrigerator through an experiment that included the continuous monitoring of some physical parameters for a time, to understand the dynamics that revolve around this appliance in the home environment, and to investigate the impacts at three levels: i) redesigning a refrigerator; ii) redesigning a home routine in which the refrigerator plays a key role in managing meals; iii) designing new business models that do not involve product ownership.

For this experiment, a prototype detector was introduced into a refrigerator (Fig. 11, 12) and it was used to collect information related to light, humidity, and the internal and external temperatures. When the door opened, the light turned on and it was possible to evaluate the interaction between the user and the appliance. Power consumption was measured using a smart plug positioned outside the fridge, which collected data every second, thereby providing us with a footprint of this appliance, which was characterized by an oscillating trend with alternating phases of activity and inactivity that were easily recognizable (Fig. 13). When the user did not open the refrigerator door for a long time, this cycle became stabilized in a standard cycle. Broad conclusions can be drawn from an analysis of the data, thus highlighting how the acquired knowledge can be used to produce indicators to detect anomalies and/or carry out predictive maintenance or generate models that are capable of directly influencing the redesigning of the product.

For example, a refrigerator would be able to recognize anomalies in the inside temperature: when it heats up faster than expected, it could mean that the gasket is not insulated effectively. Excessive humidity might indicate, for example, the need to clean the appliance. Moreover, in other situations, it could lead to the prevention of breakdowns and breakages of the compressor or the engine, the identification of problems in the cooling system, and it could notify the user accordingly. The user could also be responsible for an energy anomaly, for example, as a result of leaving the door open or introducing warm food.

If it were possible to recognize and cluster these actions, corrective measures could be taken in time to safeguard the products and reduce the energy consumption of a household appliance connected to the power source 24 hours/day, of which, at present, the user only has a rough idea of the consumption<sup>4</sup>. In fact, no evidence is currently available on the actual consumption of a refrigerator in a real/complex environment, such as a home, or on the effects that the interaction with different users, who use the fridge every day in a different manner, or the interaction with the other appliances to which it is connected, could have. However, it is not possible to generalize,

because consumer habits and domestic conditions can vary because of many different factors, which means that the answers that have been given so far, in terms of sustainability, are not effective or contextualized. However, the conducted study is somewhat limited, since the used prototype was not equipped with devices capable of identifying anomalies in standard cycles. To obtain a data-driven perspective, this experimentation would need to have been carried out in several homes, with different typological specifications and environmental characteristics, while benefiting from the use of smart algorithms to read the results.

Real-use data about a specific product could be collected over a short period in several homes at the same time, with an ad hoc built detector, to make accurate projections on the expected life of the appliance, and on when it is advisable to replace or upgrade components to obtain the maximum value, with a view toward a circular economy. In this regard, the essay provides some guidelines and indications for future studies to address the use of data for designing purposes to extend the life cycle of a product, while relying on technology for both prolonged monitoring (Nor-

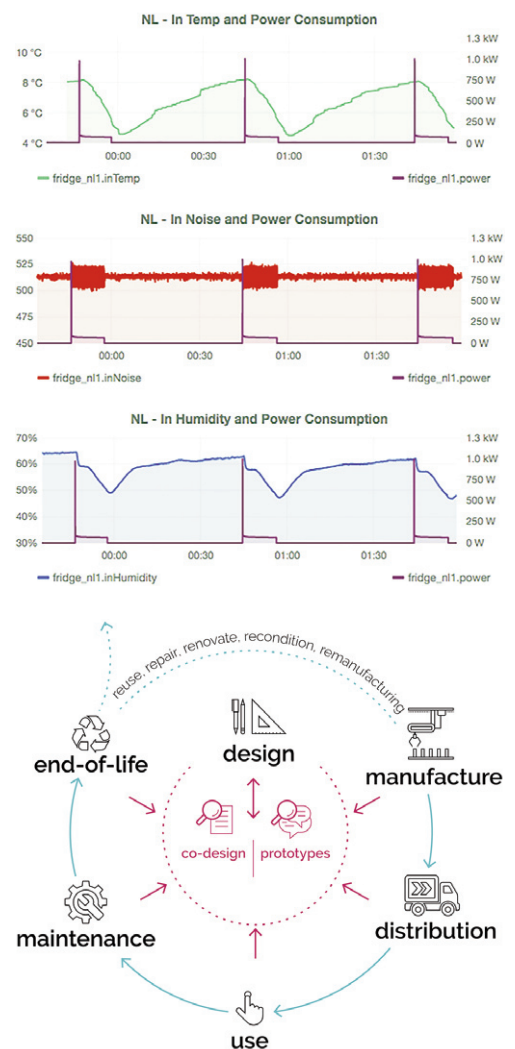


Fig. 13 | Monitoring of the power consumption of one refrigerator over 12 hours.

Fig. 14 | From the lifecycle to new insights for the design phase, based on the design requirements.



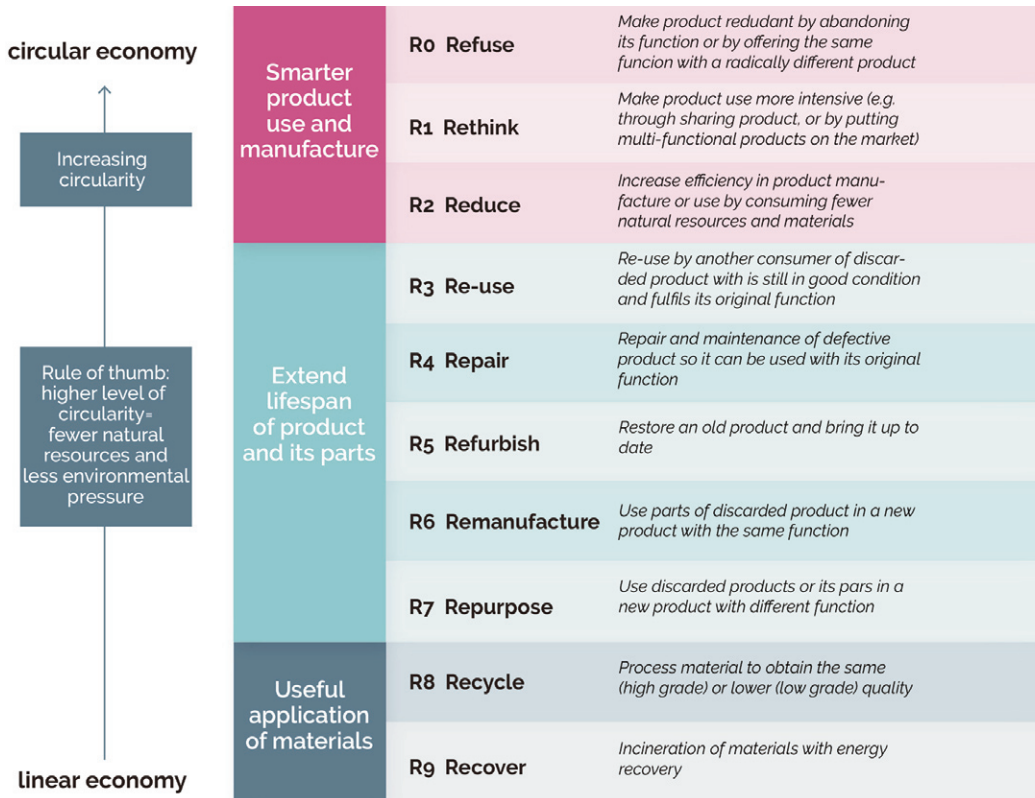


Fig. 15 | Circularity strategies within the production chain, in order of priority (credit: Potting et alii, 2017).

Guideline	Life-cycle	CE Strategy
Rethinking	Design	Rethink (R1)
Adapting	Use	Reduce (R2) Re-use (R3) Repair (R4)
Predicting	Use, maintenance	Refuse (R0) Reduce (R2) Repair (R4)
Notifying	Use, maintenance	Reduce (R2) Repair (R4)

Table 1 | Proposed guidelines, the related life cycle phase and the addressed circular economy strategy.

man and Stappers, 2016) and the identification of patterns (Fig. 14).

**Maximizing the useful life of a product or rethinking it?** | The experiment led to the potential of this approach being tested. However, longer investigations on a larger sample of homes would be necessary to obtain a significant data collection. Isolating the action and clustering it is fundamental to understand in which direction to proceed and to assess whether a certain behaviour is likely to generate critical issues. For example, is it useful to inform the end-users on how to avoid wasting resources or wearing out the components of an appliance? Can PSS take automatic corrective measures? Can we act upstream during the design phase whenever a system experiences a critical issue during operation or use?

These are only some of the questions that need to be answered and which are attributable to 4 strategies that have an impact on the entire life cycle of a product: rethinking, adapting, predicting and notifying. These actions, in turn, respond to circular economy strategies (Potting et alii, 2017), as summarized in Figure 15,

that is: (R0) refusing to produce upstream waste and unnecessary components; (R1) rethinking the functions, questioning the usefulness of the product itself with its current features; (R2) reducing materials, impacts and transport; (R3) reusing components in time to maximize their value; (R4) repairing a product, as a last resort, and preferably updating, integrating and evolving the PSS by extending the useful life of the product. We have only considered the first 5 actions in order of priority, focusing on those measures that can induce a change in mentality, are attributable to the design phase (R0 and R1), pertain to the design phase, with repercussions on the production phase (R2), or preserve the integrity of the entire object and/or its components, thus avoiding a waste of the energy embedded in the previous phases, in an attempt to achieve zero waste with a positive impact on maintenance and possibly on regeneration (R3, R4).

Table 1 shows the relationships between the guidelines, the lifecycle phase they refer to and the circular economy strategy they are intended to address. The guidelines can be detailed as follows: i) Rethinking – redesigning pro-

cesses to include the users' activities, activate corrective measures, and eventually arriving at a total rethinking of the product, thereby questioning its current shape and the dynamics it generates; ii) Adapting – the product could be adapted to take into consideration the users' behaviour, and learning systems that can evolve and change with the user should be built; iii) Predicting – defining use patterns to make specific changes to the operation of the refrigerator, such as changing the cooling cycles based on user routines; iv) Notifying – alerting the user when energy anomalies are underway, thereby preventing breakdowns and irregular consumptions. The aim of the conducted research has therefore been to highlight how these sustainability strategies can be pursued, as a result of the knowledge gained on users and their use of products at specific times and in specific contexts, while avoiding generalizations and inflexible standards.

**Limits and future developments** | This study presents a non-exhaustive but viable approach that could be applied to durable products whose use phase has a strong impact on the environment, and for which it is, therefore, desirable to extend their useful life as long as possible. Other applications this approach could be used for include large appliances, vehicles and, more generally, all those products with an estimated life of around 10 years which have significant operating costs. However, the introduction of technology should always be accompanied by accurate studies on the environmental impact of such a project and an evaluation of the costs, to ensure that the project is sustainable from an economic and environmental point of view. The integration of sensors and connectivity should be counterbalanced by real savings and an effective, long-term reduction of impacts. Because of the variability in use mentioned above, an LCA cannot be considered as the most effective tool to simulate the use phase.<sup>5</sup>

This study needs further simulations to compare the impact of the current linear production system (which consist of manufacturing a refrigerator with an approximate lifetime of 14 years and its end of life being managed in recycling facilities) with the here proposed systemic model. This study, as anticipated, should be supported by an automated analysis of the users and user data, which could eventually be used to validate or refute the presented hypotheses.

**Conclusions** | This essay is an attempt to provide a broad view of the topic of developing sustainable products, starting from how the qualitative/quantitative analysis of the users should be performed, using the systemic approach combined with the use of prototypes. We investigated a specific household product, a refrigerator, through an application case that was instrumental in studying and discussing the design implications of a data-driven approach. This reasoning could be extended to other products, starting from similar in-depth analyses, by identifying a series of parameters that, whenever monitored, may have design conse-

quences, and lead to improvements in the environmental impacts of such products. The design of a sustainable home environment is, therefore, possible through the application of a Systemic Design approach supported by the collection of real information about the users and the places in which they live. This approach makes it possible to manage the complexity and the transition from micro to macro, and vice versa, thereby introducing a real impact on the behaviour of the users and therefore on the sustainability of the individual citizens (micro) within a society/territory (macro).

## Acknowledgements

The contribution, resulting from a common reflection, is to be attributed in equal parts to Authors.

## Notes

1) The design requirements represent a bridge between what stakeholders want and suppliers can design and build. More simply, they represent the link between analysis and system design, that is between problems and solutions (Bergman, 2009); so, we can define requirements as the translation of needs into design performance.

2) This approach has in some ways been proved to be too rigid, as it results in the schematization and resolution of perfectly structured and, therefore, unreal problems. Most of the situations that require a design intervention are instead characterized by complex situations, which are interrelated and difficult to trace back to a logical framework (Jones, 1977). Later, some design methodologists detached themselves from the rigid framework proposed in the design methods.

3) For further information, consult the website: [nest.com/eu/savings](http://nest.com/eu/savings) [Accessed 3 March 2020].

4) The energy class and the kWh/annum indicated on the energy label refer to a test carried out on a refrigerator kept closed in a controlled environment.

5) LCA analysis is a very accurate tool to simulate the production phase. However, it does not allow a complete view to be obtained of the use phase, the effect on energy saving, the positive effects expected from extending the useful life of the product or its components, or of the modelling of the alternative end of life scenarios when they become parts of new production cycles.

## References

Berente, N., Hansen, S. and Lyytinen, K. (2009), "High Impact Design Requirements – Key Design Challenges for the Next Decade", in Lyytinen, K., Loucopoulos, P., Mylopoulos, J. and Robinson, B. (eds), *Design Requirements Engineering – A Ten-Year Perspective*, Springer, Heidelberg, pp. 01-10.

Bergman, M. (2009), "Requirements' Role in Mobilizing and Enabling Design Conversation", in Lyytinen, K., Loucopoulos, P., Mylopoulos, J. and Robinson, B. (eds) (2009), *Design Requirements Engineering – A Ten-Year Perspective*, Springer, Heidelberg, pp. 44-87.

Bistagnino, L. (2016), *Systemic Design – Designing the production and environmental sustainability*, Slow Food Editore, Bra (CN).

Carter, C. (2016), *Let's stop talking about THE design process*. [Online] Available at: [medium.com/stanford-d-school/lets-stop-talking-about-the-design-process-7446e52c13e8](http://medium.com/stanford-d-school/lets-stop-talking-about-the-design-process-7446e52c13e8) [Accessed 3 March 2020].

Cheng, B. H. C. and Atlee, J. M. (2009), "Current and Future Research Directions in Requirements Engineering", in Lyytinen, K., Loucopoulos, P., Mylopoulos, J. and Robinson, B. (eds), *Design Requirements Engineering – A*

The presented experimentation is aimed at leveraging on the use of IoT prototypes to attain an improvement in the current products and the development of new ones. The use of data is proposed as a natural part of the designer's and manufacturer's workflows, to better understand the behaviour of the users and, subsequently, the products and services (Interana, 2015), through the quantitative acquisition of data (through the sensors) and the use of qualitative tools (feedback, questionnaires, interviews). This could lead to the current products being improved or to making the maintenance

*Ten-Year Perspective*, Springer, Heidelberg, pp. 11-43.

Ciribini, G. (1984), *Tecnologia e progetto – Argomenti di cultura tecnologica della progettazione*, Celid, Torino.

Conley, C. (2004), "Where are the design methodologists?", in *Visible Language*, vol. 38, n. 2, pp. 196-215.

Cross, N. (2008), *Engineering Design Methods – Strategies for Product Design*, 4th edition, John Wiley and Sons, Chichester.

de Bont, C., den Ouden, E., Schifferstein, R., Smulders, F. and van der Voort, M. (eds) (2013), *Advanced design methods for successful innovation – Recent methods from design research and design consultancy in the Netherlands*, Design United, Den Haag. [Online] Available at: [pure.tue.nl/ws/portalfiles/portal/3823843/568542308092309.pdf](http://pure.tue.nl/ws/portalfiles/portal/3823843/568542308092309.pdf) [Accessed 12 March 2020].

De Risi, P. (2001), *Dizionario della qualità – 900 termini ed espressioni del linguaggio della Qualità*, Il Sole 24 Ore, Milano.

Ellen MacArthur Foundation (2019), *Artificial Intelligence and the Circular Economy – AI as a tool to accelerate the transition*. [Online] Available at: [www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Artificial-intelligence-and-the-circular-economy.pdf](http://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Artificial-intelligence-and-the-circular-economy.pdf) [Accessed 3 March 2020].

Germak, C. and De Giorgi, C. (2008), "Design dell'esplorazione (Exploring Design)", in Germak, C. (ed.), *Uomo al centro del Progetto – Design per un nuovo umanesimo | Man at the Centre of the Project – Design for a New Humanism*, Umberto Allemandi and C., Torino, pp. 53-70.

Ghoreishi, M. and Haponen, A. (2019), "Key Enablers for Deploying Artificial Intelligence for Circular Economy Embracing Sustainable Product Design: Three Case Studies", in *Proceedings of the International Engineering Research Conference – 13th EU-RECA 2019*, AIP Publishing, pp. 1-17. [Online] Available at: [www.researchgate.net/publication/337170902\\_Key\\_Enablers\\_for\\_Deploying\\_Artificial\\_Intelligence\\_for\\_Circular\\_Economy\\_Embracing\\_Sustainable\\_Product\\_Design\\_Three\\_Case\\_Studies/stats](http://www.researchgate.net/publication/337170902_Key_Enablers_for_Deploying_Artificial_Intelligence_for_Circular_Economy_Embracing_Sustainable_Product_Design_Three_Case_Studies/stats) [Accessed 12 March 2020].

Gyger, C. (2018), *Sense the AI revolution – How AI-powered 3D sensors boost in-store analytics*. [Online] Available at: [www.xovis.com/fileadmin/dam/documents/Xovis-white-paper-sense-the-AI-revolution.pdf](http://www.xovis.com/fileadmin/dam/documents/Xovis-white-paper-sense-the-AI-revolution.pdf) [Accessed 15 March 2020].

Hansen, S., Berente, N. and Lyytinen, K. (2009), "Requirements in the 21st Century: Current Practice and Emerging Trends", in Lyytinen, K., Loucopoulos, P., Mylopoulos, J. and Robinson, B. (eds), *Design Requirements Engineering – A Ten-Year Perspective*, Springer, Heidelberg, pp. 44-87.

Interana (2015), *Creating a Design Driven Data Product*. [Online] Available at: [www.interana.com/blog/creating-a-design-driven-data-product](http://www.interana.com/blog/creating-a-design-driven-data-product) [Accessed 17 March 2020].

Jonas, W. (2007), "Design Research and its Meaning to the Methodological Development of the Discipline", in Michel, R. (ed.), *Design Research Now – Essays and Selected Projects*, Birkhauser, Basel, pp. 187-206. [Online] Available at: [nance operations more efficient through proactive monitoring, remote control and predictive maintenance. Furthermore, significant information could be made available to the user, which in turn would allow him/her to save money, thanks to an interaction with other connected devices or with service providers. Alternatively, a systemic view of the requirements and data could lead to systems focused on new business models being developed with a view to a circular economy.](http://campus.burg-halle.de/id-neuwerk/24-</a></p>
</div>
<div data-bbox=)

short-films-about-design/wp-content/uploads/sites/31/2014/05/design-research-now.pdf [Accessed 12 March 2020].

Jones, J. C. (1977), "How my Thoughts about Design Methods Have Changed during the Years", in *Design Methods and Theories*, vol. 11, n. 1, pp. 48-62.

Kanellos, M. (2016), *Hold the Laughter – Why the Smart Fridge Is A Great Idea*. [Online] Available at: [www.forbes.com/sites/michaelkanellos/2016/01/13/hold-the-laughter-why-the-smart-fridge-is-a-great-idea/#59db737d7d40](http://www.forbes.com/sites/michaelkanellos/2016/01/13/hold-the-laughter-why-the-smart-fridge-is-a-great-idea/#59db737d7d40) [Accessed 15 March 2020].

Lyytinen, K., Loucopoulos, P., Mylopoulos, J. and Robinson, B. (eds) (2009), *Design Requirements Engineering – A Ten-Year Perspective*, Springer, Heidelberg.

Mink, A. (2016), *Designing for Well-Being – An Approach for Understanding Users' Lives in Design for Development*, Doctoral Thesis – Delft University of Technology, Delft Academic Press. [Online] Available at: [doi.org/10.4233/uuid:264107d4-30bc-414c-b1d4-34f48aed6d8](http://doi.org/10.4233/uuid:264107d4-30bc-414c-b1d4-34f48aed6d8) [Accessed 15 March 2020].

Norman, D. A. and Stappers, P. J. (2016), "DesignX: Complex Sociotechnical Systems", in *She Ji – The Journal of Design, Economics, and Innovation*, vol. 1, issue 2, pp. 83-106. [Online] Available at: [dx.doi.org/10.1016/j.sheji.2016.01.002](http://dx.doi.org/10.1016/j.sheji.2016.01.002) [Accessed 4 March 2020].

Potting, J., Hekkert, M., Worrell, E. and Hanemaaijer, A. (2017), *Circular Economy – Measuring Innovation in the Product Chain*, Policy Report, PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, The Hague. [Online] Available at: [www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/pbl-2016-circular-economy-measuring-innovation-in-product-chains-2544.pdf](http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/pbl-2016-circular-economy-measuring-innovation-in-product-chains-2544.pdf) [Accessed 15 December 2019].

Ramadoss, T. S., Alam, H. and Seeram, R. (2018), "Artificial Intelligence and Internet of Things enabled Circular Economy", in *The International Journal of Engineering and Science*, vol. 7, issue 9, pp. 55-63. [Online] Available at: [www.theijes.com/papers/vol7-issue9/Version-3/10709035563.pdf](http://www.theijes.com/papers/vol7-issue9/Version-3/10709035563.pdf) [Accessed 4 March 2020].

Sanders, E. B.-N. and Stappers, P. J. (2008), "Co-creation and the new landscapes of design", in *CoDesign*, vol. 4, issue 1, pp. 5-18. [Online] Available at: [doi.org/10.1080/15710880701875068](http://doi.org/10.1080/15710880701875068) [Accessed 4 March 2020].

Sonetti, G., Naboni, E. and Brown, M. (2018), "Exploring the Potentials of ICT Tools for Human-Centric Regenerative Design", in *Sustainability*, vol. 10, issue 4, article 1217, pp. 1-14. [Online] Available at: [doi.org/10.3390/su10041217](http://doi.org/10.3390/su10041217) [Accessed 18 February 2020].

Vinuesa, R., Azizpour, H., Leite, I., Balaam, M., Dignum, V., Domish, S., Felländer, A., Langhans, S. D., Tegmark, M. and Fuso Neri, F. (2020), "The role of artificial intelligence in achieving the Sustainable Development Goals", in *Nature Communications*, vol. 11, article 233, pp. 1-10. [Online] Available at: [doi.org/10.1038/s41467-019-14108-y](http://doi.org/10.1038/s41467-019-14108-y) [Accessed 4 March 2020].

Westerlund, B. and Wetter-Edman, K. (2017), "Dealing with wicked problems, in messy contexts, through prototyping", in *The Design Journal*, vol. 20, issue sup1, pp. S886-S899. [Online] Available at: [doi.org/10.1080/14606925.2017.1353034](http://doi.org/10.1080/14606925.2017.1353034) [Accessed 4 March 2020].