

APPROCCIO SISTEMICO E GESTIONE MULTISCALE DEI DATI. 'Il caso studio 'frigorifero'. / A SYSTEM APPROACH AND MULTISCALE DATA MANAGEMENT. A 'refrigerator' case study.

Original

APPROCCIO SISTEMICO E GESTIONE MULTISCALE DEI DATI. 'Il caso studio 'frigorifero'. / A SYSTEM APPROACH AND MULTISCALE DATA MANAGEMENT. A 'refrigerator' case study / Tamborrini, Paolo Marco; Fiore, Eleonora. - In: AGATHÓN. - ISSN 2464-9309. - STAMPA. - 7:(2020), pp. 180-189. [10.19229/2464-9309/7192020]

Availability:

This version is available at: 11583/2839053 since: 2020-07-08T23:44:38Z

Publisher:

Palermo University Press

Published

DOI:10.19229/2464-9309/7192020

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

CONTENT

GIUSEPPE DE GIOVANNI, CESARE SPOSITO (EDITED BY)	<i>Editoriale</i> Editorial	3
GIOVANNI DURBIANO, TOMMASO LISTO	<i>I disegni nel mondo. Multiscalarità, o delle scale fuori dalla rappresentazione</i> Drawings in the world. On multiscalarity and scales outside the representation	8
FRANCESCA FATTA	<i>Le molte dimensioni del modello digitale</i> The many dimensions of the digital model	16
MARIA TERESA LUCARELLI, MARTINO MILARDI MARIATERESA MANDAGLIO, CATERINA C. MUSARELLA	<i>Fenomeni macro vs risposte micro. Approcci multiscalarari nei rapporti dinamici tra involucro e contesto</i> Macro phenomena vs micro responses. Multiscale approaches in the dynamic relationship between envelope and context	26
STEFANO FRANCESCO MUSSO	<i>Dal mega al nano, e ritorno. Il processo/progetto di tutela, conservazione e restauro dei Beni Culturali</i> From mega to nano, a round trip. The process/project of protection, preservation and restoration of Cultural Heritage	34
ZEILA TESORIERE	<i>Il territorio nell'architettura. Grande scala e agricoltura nell'architettura italiana, 1966-1978</i> The territory into architecture. Big scale and agriculture in Italian Architecture, 1966-197	44
LUIGI MANDRACCIO	<i>CERN. Paradigma multiscalarare</i> CERN. Multiscalar Paradigm	54
ROBERTO BOLICI, MATTEO GAMBARO	<i>Il progetto della sicurezza urbana</i> The urban security project	64
PIERA PELLEGRINO	<i>Westminster, una città per tutti. Un approccio multiscalarare per una comunità sana</i> Westminster, city for all. A multi-scalar approach for a healthy community	72
FEDERICO WULFF BARREIRO, RENZO LECARDANE PAOLA LA SCALA	<i>Progettare lo spazio interculturale. Approccio multi-scalare nel quartiere Albergheria a Palermo</i> Designing intercultural space. A Multi-scalar approach in the Albergheria neighbourhood in Palermo	82
ELENA MUCELLI	<i>Simulacri del vuoto. Il modello come luogo dello spazio abitabile</i> Simulacra of emptiness. The model as habitable space	92
OSCAR E. BELLINI, MARIANNA ARCIERI	<i>Il megaformalismo dell'abitare. Genealogia e prerogative di un potenziale morfo-tecnotipo</i> Megaformalism of living. Genealogy and prerogatives of a potential morfo-technotype	102
ANDRÉ SANTOS, ANNA KAZIMIRCO LEONARDO BARROS	<i>Scala individuale e collettiva nella complessità dello spazio scolastico. L'esperienza portoghese</i> Individual and collective scale in the complexity of school space. The Portuguese experience	114
ROSA ROMANO	<i>Materiali intelligenti per edifici NZEB. Opzioni tecnologiche adattive per il progetto sostenibile</i> Smart materials for NZEB buildings. Adaptive technological solutions for sustainable projects	124
FEDERICA VISCONTI, RENATO CAPOZZI	<i>Il gigante dormiente. Progetto per l'ex-Ospedale Militare di Napoli</i> The sleeping giant. Project for the former Military Hospital in Naples	132
SAMUEL BERNIER-LAVIGNE	<i>Oggetto-campo. Uno studio multi-risoluzione sull'ottimizzazione topologica</i> Object-field. The multi-resolution study of topological optimization	144
FABIO CONATO, VALENTINA FRIGHI	<i>Progetto e complessità. Un approccio multiscalarare per attualizzare gli strumenti di controllo del progetto</i> Design and complexity. A multiscale approach for updating the project's control tools	154
TERESA VILLANI	<i>Progetto e qualità sensoriale. Materiali e prestazioni per la comunicatività degli spazi museali</i> Design and sensory quality. Materials and performance for communication in museum spaces	164
ANTONELLA VIOLANO, SALVATORE DEL PRETE	<i>Dentro la materia. L'analisi SEM per la determinazione delle prestazioni di materiali bioplastici innovativi</i> Within the matter. Determining the performance of innovative bioplastic materials with SEM analysis	174
PAOLO MARCO TAMBORRINI, ELEONORA FIORE	<i>Approccio sistemico e gestione multiscalar dei dati. Il caso studio 'frigorifero'</i> A systemic approach and multiscale data management. A 'refrigerator' case study	180
CATERINA TIAZZOLDI	<i>Weighted Dynamic Networks. Strumenti per la progettazione multiscalarare e responsiva</i> Weighted Dynamic Networks. Digital multiscale and time responsive design techniques	190
STEFANIA PALMIERI, MARIO BISSON ALESSANDRO IANNIELLO	<i>Progetto ambientale ed esperienze multisensoriali. Spazio integrato per attività di simulazione</i> Environmental design multisensory experience. Integrated space for simulation activities	202
DEBORA PUGLIA, BENEDETTA TERENZI	<i>Nanotecnologie, additive manufacturing e genius loci. Un caso di jewellery design</i> Nanotechnology, additive manufacturing and genius loci. A case of jewellery design	210

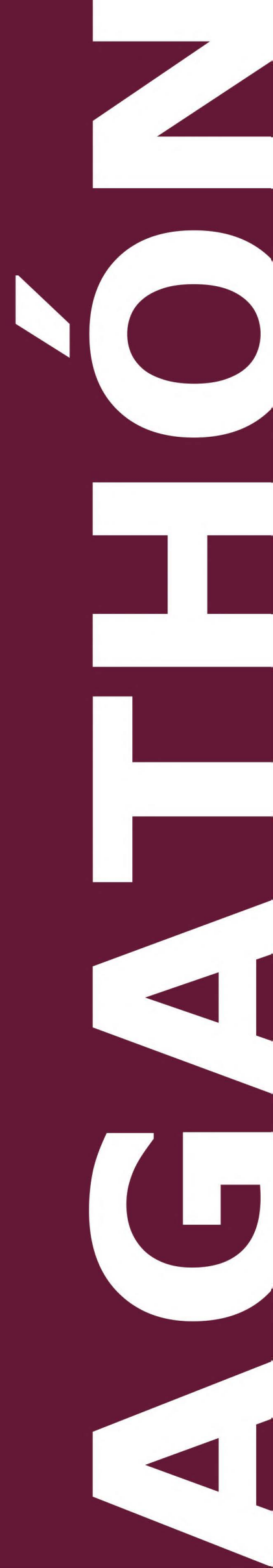
7

DAL MEGA AL NANO: LA COMPLESSITÀ DEL PROGETTO MULTISCALARE | FROM MEGA TO NANO: THE COMPLEXITY OF A MULTISCALAR PROJECT

AGATHÓN

DAL MEGA AL NANO
LA COMPLESSITÀ DEL
PROGETTO MULTISCALARE

FROM MEGA TO NANO
THE COMPLEXITY OF A
MULTISCALAR PROJECT



07
2020

AGATHÓN

International Journal
of Architecture, Art and Design

Scientific Director

GIUSEPPE DE GIOVANNI (University of Palermo, Italy)

Managing Director

MICAELA MARIA SPOSITO

International Scientific Committee

ALFONSO ACOCELLA (University of Ferrara, Italy), JOSE BALLESTEROS (Polytechnic University of Madrid, Spain), ROBERTO BOLOGNA (University of Firenze, Italy), TAREK BRIK (University of Tunis, Tunisia), TOR BROSTRÖM (Uppsala University, Sweden), JOSEP BURCH I RIUS (University of Girona, Spain), ALICIA CASTILLO MENA (Complutense University of Madrid, Spain), JORGE CRUZ PINTO (University of Lisbon, Portugal), MARIA ANTONIETTA ESPOSITO (University of Firenze, Italy), EMILIO FAROLDI (Polytechnic University of Milano, Italy), GIOVANNI FATTA (University of Palermo, Italy), FRANCISCO JAVIER GALLEGO ROCA (University of Granada, Spain), PIERFRANCO GALLIANI (Polytechnic University of Milano, Italy), JAVIER GARCÍA-GUTIÉRREZ MOSTEIRO (Polytechnic University of Madrid, Spain), MOTOMI KAWAKAMI (Tama Art University, Japan), WALTER KLASZ (University of Art and Design Linz, Austria), INHEE LEE (Pusan National University, South Korea), MARIO LOSASSO ('Federico II' University of Napoli, Italy), MARIA TERESA LUCARELLI (Mediterranea University of Reggio Calabria, Italy), RENATO TEOFILO GIUSEPPE MORGANTI (University of L'Aquila, Italy), OLIMPIA NIGLIO (Hokkaido University, Japan), MARCO ROSARIO NOBILE (University of Palermo, Italy), ROBERTO PIETROFORTE (Worcester Polytechnic Institute, USA), CARMINE PISCOPO ('Federico II' University of Napoli, Italy), PAOLO PORTOGHESI ('Sapienza' University of Roma, Italy), PATRIZIA RANZO ('Luigi Vanvitelli' University of Napoli, Italy), DOMINIQUE ROUILLARD (National School of Architecture Paris Malaquais, France), LUIGI SANSONE (Art Reviewer, Milano, Italy), ANDREA SCIASCIA (University of Palermo, Italy), FEDERICO SORIANO PELAEZ (Polytechnic University of Madrid, Spain), BENEDETTA SPADOLINI (University of Genova, Italy), CONRAD THAKE (University of Malta), FRANCESCO TOMASELLI (University of Palermo, Italy), MARIA CHIARA TORRICELLI (University of Firenze, Italy)

Editor-in-Chief

CESARE SPOSITO (University of Palermo, Italy)

Editorial Board

MARIO BISSON (Polytechnic University of Milano, Italy), TIZIANA CAMPISI (University of Palermo, Italy), CLICE DE TOLEDO SANJAR MAZZILLI (University of São Paulo, Brazil), GIUSEPPE DI BENEDETTO (University of Palermo, Italy), RICARDO DEVESA (La Salle – Ramon Llull University, Spain), ANA ESTEBAN-MALUENDA (Polytechnic University of Madrid, Spain), RAFFAELLA FAGNONI (IUAV, Italy), ANTONELLA FALZETTI ('Tor Vergata' University of Roma, Italy), RUBÉN GARCÍA RUBIO (Tulane University, USA), MANUEL GAUSA (University of Genova, Italy), PILAR CRISTINA IZQUIERDO GRACIA (Polytechnic University of Madrid, Spain), PEDRO ANTÓNIO JANEIRO (University of Lisbon, Portugal), MASSIMO LAURIA (Mediterranea University of Reggio Calabria, Italy), INA MACAIONE (University of Basilicata, Italy), FRANCESCO MAGGIO (University of Palermo, Italy), ELODIE NOURRIGAT (Ecole Nationale Supérieure d'Architecture Montpellier, France), ELISABETTA PALUMBO (RWTH Aachen University, Germany), FRIDA PASHAKO (Epoka University of Tirana, Albania), JULIO CESAR PEREZ HERNANDEZ (University of Notre Dame du Lac, USA), PIER PAOLO PERRUCCIO (Polytechnic University of Torino, Italy), ROSA ROMANO (University of Firenze, Italy), MONICA ROSSI-SCHWARZENBECK (Leipzig University of Applied Sciences, Germany), DARIO RUSSO (University of Palermo, Italy), FRANCESCA SCALISI (DEMETRA Ce.Ri.Med., Italy), MARCO SOSA (Zayed University, United Arab Emirates), ZEILA TESORIERE (University of Palermo, Italy), ANTONELLA TROMBADORE (World Renewable Energy Network, UK), ANTONELLA VIOLANO ('Luigi Vanvitelli' University of Campania, Italy), GASPARE MASSIMO VENTIMIGLIA (University of Palermo, Italy), ALESSANDRA ZANELLI (Polytechnic University of Milano, Italy)

Assistant Editor

SANTINA DI SALVO (DEMETRA Ce.Ri.Med.)

Graphic Designer

MICHELE BOSCARINO

Executive Graphic Designer

ANTONELLA CHIAZZA, PAOLA LA SCALA

Web Editor

PIETRO ARTALE

Il Journal è stampato con il contributo degli Autori che mantengono i diritti sull'opera originale senza restrizioni.

The Journal is published with fund of the Authors whom retain all rights to the original work without any restrictions.

AGATHÓN adotta il sistema di revisione del double-blind peer review con due Revisori che, in forma anonima, valutano l'articolo di uno o più Autori. I saggi nella sezione 'Focus' invece non sono soggetti al suddetto processo di revisione in quanto a firma di Autori invitati dal Direttore Scientifico nella qualità di esperti sul tema.

The AGATHÓN Journal adopts a double-blind peer review by two Referees under anonymous shape of the paper sent by one or more Authors. The essays on 'Focus' section are not subjected to double-blind peer review process because the Authors are invited by the Scientific Director as renowned experts in the subject.

AGATHÓN | International Journal of Architecture Art and Design

Issues for year: 2 | ISSN print: 2464-9309 | ISSN online: 2532-683X

Registrazione n. 12/2017 del 13/07/2017 presso la Cancelleria del Tribunale di Palermo

Registration number 12/2017 dated 13/07/2017, registered at the Palermo Court Registry

Editorial Office

c/o DEMETRA Ce.Ri.Med. | Via Alloro n. 3 | 90133 Palermo (ITA) | E-mail: redazione@agathon.it

Promoter

DEMETRA Ce.Ri.Med.

Centro Documentazione e Ricerca Euro-Mediterranea | Euro-Mediterranean Documentation and Research Center

Publisher

Palermo University Press | Viale delle Scienze | 90128 Palermo (ITA) | E-mail: info@newdigitalfrontiers.com

Finito di stampare nel Giugno 2020 da

Printed in June 2020 by

FOTOGRAF s.r.l. | viale delle Alpi n. 59 | 90144 Palermo (ITA)



PALERMO
UNIVERSITY
PRESS

DEMETRA
Ce.Ri.Med.
CENTRO DOCUMENTAZIONE E
RICERCA EURO-MEDITERRANEA

AGATHÓN è un marchio di proprietà di Alberto Sposito

AGATHÓN is a trademark owned by Alberto Sposito

Per le attività svolte nel 2019 relative al double-blind peer review process, si ringraziano i seguenti Revisori:

As concern the double-blind peer review process done in 2019, we would thanks the following Referees:

GIUSEPPE ABBATE (University of Palermo), FABRIZIO AGNELLO (University of Palermo), EMANUELE WALTER ANGELICO (University of Palermo), LAURA ANSELMI (Polytechnic University of Milano), ERNESTO ANTONINI (University of Bologna), EUGENIO ARBIZZANI ('Sapienza' University of Roma), VENANZIO ARQUILLA (Polytechnic University of Milano), GINEVRA BALLETO (University of Cagliari), ADOLFO BARATTA (University of Roma Tre), ANTONINO BENINCASA (Free University of Bozen-Bolzano), ROBERTO BOLOGNA (University of Firenze), DANIELA CALABI (Polytechnic University of Milano), ELIANA CANGELLI ('Sapienza' University of Roma), RENATO CAPOZZI ('Federico II' University of Napoli), ANNA CATANIA (University of Palermo), GIOVANNI BATTISTA COCCO (University of Cagliari), SIMONA COLAJANNI (University of Palermo), EMANUELA COPPOLA ('Federico II' University of Napoli), VALERIA D'AMBROSIO ('Federico II' University of Napoli), PIETRO MARIA DAVOLI (University of Ferrara), BARBARA DEL CURTO (Polytechnic University of Milano), ANNA DELERA (Polytechnic University of Milano), GIUSEPPE FALLACARA (Polytechnic University of Bari), CINZIA FERRARA (University of Palermo), EMILIA GARDA (Polytechnic University of Torino), MATTEO INGARAMO (Polytechnic University of Milano), CLAUDIO GAMBARDELLA ('Luigi Vanvitelli' University of Campania), MARIA LUISA GERMANÀ (University of Palermo), ANDREA GIACHETTA (University of Genova), MATTEO LEVA (Polytechnic University of Bari), ROBERTO LIBERTI ('Luigi Vanvitelli' University of Campania), LUCIANA MACALUSO (University of Palermo), CARLO MARTINO ('Sapienza' University of Roma), MARTINO MILARDI (Mediterranea University of Reggio Calabria), LUIGI MOLLO ('Luigi Vanvitelli' University of Campania), ELENA MONTACCHINI (Polytechnic University of Torino), MASSIMO MUSIO-SALE (University of Genova), ROBERTO PALUMBO ('Sapienza' University of Roma), GABRIELLA PERETTI (Polytechnic University of Torino), SILVIA PERICU (University of Genova), CLAUDIO PIFERI (University of Firenze), RICCARDO POLLO (Polytechnic University of Torino), CHIARA RIZZI (University of Basilicata), ROSA ROMANO (University of Firenze), DANIELE RONSIVALLE (University of Palermo), MARCO SALA (University of Firenze), PAOLA SCALA ('Federico II' University of Napoli), PAOLO TAMBORRINI (Polytechnic University of Torino), ANDREA TARTAGLIA (Polytechnic University of Milano), ENZA TERSIGNI ('Federico II' University of Napoli), GIUSEPPE TROMBINO (University of Palermo).

Il numero 7 di AGATHÓN raccoglie saggi, studi, ricerche e progetti sul tema dal titolo 'Dal Mega al Nano: la Complessità del Progetto Multiscalare', tema indissolubilmente legato alla sempre maggiore richiesta di trans e multidisciplinarietà del progetto. La capacità di effettuare 'salti di scala', di agire su scale diverse e di costruirne di nuove o di mutare il senso di quelle comunemente accettate è una pratica comune dell'approccio al progetto, e riguarda da sempre gli architetti, gli ingegneri, i designer e gli artisti, nei molteplici significati simbolici e reali della misura di un territorio, di una città, di un'architettura e di un oggetto. Essa può, tuttavia, offrire un ventaglio di opportunità anche in contesti diversi come l'economia, la politica, la cultura, ecc. I concetti di scala e di misura sono indispensabili per correlare, in un'ottica sistemica, il particolare con il generale, il dettaglio con l'insieme, per interpretare e rappresentare, per discretizzare e ricomporre elementi e parti tra loro in un rapporto di gerarchia o di interconnessione, per indagare il fisico e il sociale, per delinearne criticità e potenzialità, ma soprattutto per stabilire l'importanza degli aspetti relazionali fra l'insieme e le sue parti come chiave di lettura della loro identità, della loro natura e organizzazione, dei principi di regolazione e del ruolo svolto nei diversi contesti, ovvero di quei fattori indispensabili per individuare forma e struttura di un territorio, di una città, di un'architettura e di un oggetto.

La nozione di scala in Architettura regola la dimensione dello spazio antropico, ponendo sempre come riferimento la dimensione umana. La scelta della scala è inevitabilmente una selezione concettuale di ciò che in effetti il progetto vuole rappresentare. Quando invece si utilizza la rappresentazione multiscalare si cerca di esplicitare la complessità del reale servendosi di un maggior numero di criteri regolatori e di valutazioni specifiche, non solo descrivendone gli aspetti dimensionali e geometrici, ma soprattutto evidenziandone in maniera significativa gli aspetti qualitativi e quelli legati all'identità, alla cultura e alla storia. Ciò significa che non esiste una sola scala per la rappresentazione del territorio, della città, dell'architettura, di un oggetto o di un dettaglio; tuttavia, nella logica della necessaria multiscalareità il progetto seleziona di volta in volta la scala più adeguata allo svolgimento delle pratiche. La scala, quindi, ha un'interferenza logica sul progetto: grazie agli avanzamenti della tecnologia nell'ambito della progettazione a tutti i livelli, essa probabilmente è la componente del progetto su cui maggiormente il progettista agisce coordinando relazioni reali e virtuali in maniera simultanea; queste relazioni non terminano con la concretizzazione della forma, ma continuano nel tempo e modificano la gestione della complessità propria dell'oggetto.

Nella sezione 'Focus' del presente volume, i saggi introduttivi riportano il personale contributo degli studiosi invitati nella qualità di esperti sul tema. Giovanni Durbiano (Ordinario di Composizione Architettonica e Urbana del Politecnico di Torino e Presidente dell'Associazione scientifica ProArch) e Tommaso Listo mettono in relazione il concetto di scala architettonica con le implicazioni filosofico-politiche dell'azione di rappresentazione, affermando che l'attribuzione scalare, cioè la messa in rappresentazione, costituisce l'atto di un soggetto che tenta di esercitare un controllo sul rappresentato. Francesca Fatta (Ordinario di Disegno dell'Architettura dell'Università 'Mediterranea' di Reggio Calabria e Presidente dell'Associazione scientifica UID), partendo dall'assunto che scala e misura sono criteri fondamentali per interpretare e rappresentare le parti di un unicum legate fra loro in un rapporto di gerarchia o di interconnessione, si sofferma sul disegno digitale che permette di osservare e di interagire con il modello progettuale, muovendolo e modificandolo, attraverso una realtà virtuale, immersiva e mista, creando nuove dimensioni che animano il modello e la sua complessità multiscalare.

Maria Teresa Lucarelli (Ordinario di Tecnologia dell'Architettura dell'Università 'Mediterranea' di Reggio Calabria e Presidente dell'Associazione scientifica SITdA), con Martino Milardi, Mariateresa Mandaglio e Caterina Claudia Musarella, indaga sulle relazioni che intercorrono tra gli edifici e i loro contesti, assumendo alla scala 'macro' le sollecitazioni che i fenomeni (quali quelli climatici) 'impongono' agli involucri e alla scala del 'micro' le nuove risposte qualitative prestazionali dei sistemi di involucro che oggi connotano il panorama dell'architettura contemporanea. Stefano Francesco Musso (Ordinario di Restauro dell'Università di Genova e Presidente dell'Associazione scientifica SIRA) offre spunti di riflessione sulle relazioni tra 'mega' e 'nano' presenti nel complesso mondo di Beni Culturali, nel quale il destino di ciascun Bene o di una parte di esso, ad esempio la materia (il 'nano'), condiziona quello del sistema più ampio di cui è parte, il Patrimonio Culturale (il 'mega').

Oltre i saggi introduttivi, l'insieme degli interventi selezionati raccoglie un quadro che copre le declinazioni e i vari aspetti richiesti dalla Call. In questo senso vanno letti i contributi della sezione 'Architettura': l'indagine sull'inedita dimensione interscalare che ha legato nuovamente l'architettura italiana al territorio negli anni compresi tra il 1966 e il 1978; l'analisi su come il paradigma multiscalare possa rappresentare, nel caso del CERN, il principio essenziale per comprendere l'unità di un progetto a scala territoriale seppur ideato e realizzato per parti; la progettazione ambientale, intesa nella sua accezione più ampia di contesto urbano, quale strumento per realizzare progetti sinergici a scale differenti per il miglioramento delle condizioni di sicurezza e di qualità di vita nelle città; la sperimentazione condotta dalla Città di Westminster che, attraverso un approccio multiscalare, inserisce il tema della salute negli strumenti urbanistici e nelle politiche per il miglioramento del benessere dei propri cittadini. Ma le città sono anche i luoghi della migrazione che da sempre è stata una delle forze che ha orientato la trasformazione urbana, stimolando opportunità e sfide per le città che si modificano in base alle persone che ospitano; su tali assunti vengono presentati i progetti

per gli spazi interculturali nel quartiere Albergheria di Palermo con lo scopo di integrare lo spazio urbano, quello architettonico e quello pubblico.

Altri contributi indagano le relazioni scalari tra città e forme per l'abitare, come soluzioni capaci di fronteggiare le molteplici criticità ambientali e sociali del pianeta, ripensando le convenzionali modalità dello stare insieme; in questa logica la Megaforma abitativa appare come un dispositivo contingente d'intervento che, in alternativa ad altre soluzioni, quali la casa individuale, i quartieri residenziali e l'edificio alto, può integrare e/o sostituire parti della città tradizionale. Anche gli edifici pubblici risentono della necessità di attivare nuove relazioni multiscolari; l'esperienza promossa dal Parque Escolar per l'adeguamento dell'edilizia scolastica in Portogallo attiva riflessioni sul dialogo fra le diverse scale attraverso punti di vista distinti (progettuale, educativo, sociale e impiantistico), ritenendo questa chiave di lettura una risposta paradigmatica e adeguata alla complessità dell'edilizia scolastica. A questa ultima esperienza si lega anche il progetto di recupero del Patrimonio Culturale, come quello per un Complesso Conventuale a Napoli, oggi in stato di abbandono, con la proposta di re-immetterlo nella dinamica viva della città attraverso un attento lavoro non solo sul manufatto ma anche sui suoi rapporti con il contesto urbano e paesaggistico di cui fa parte integrante.

L'approccio multiscale non viene introdotto solamente nei contributi che riguardano la città o gli spazi dell'abitare, ma anche indagando sull'innovazione tecnologica legata alla progettazione e alla realizzazione di sistemi e subsistemi edilizi che, dalla micro alla macro-scala, permettono di raggiungere e superare gli obiettivi energetico-ambientali previsti dalle vigenti normative nazionali e internazionali. Altri studi affrontano poi tematiche specifiche sulla capacità del metodo multiscale di gestire il progetto nel rapporto fra spazio e forma, approfondendo la relazione fra la scala del modello e il significato che essa assume nella restituzione tridimensionale, fra forma e struttura, attraverso un'ottimizzazione topologica con strumenti digitali, e fra materia e fruibilità in ambienti museali, attraverso processi percettivi amplificati da tecnologie che agiscono in maniera controllata alla micro-scala e a scala nanometrica dei materiali; rispetto al tema ambientale, per il settore delle costruzioni è poi da segnalare la ricerca sperimentale sulle bioplastiche innovative che, a partire dalla scala micro, risponde alle dinamiche biologiche evolutive proprie del progetto rigenerativo e di quello eco-tecnologico.

Concludono il volume i contributi nella sezione 'Design': il primo illustra una metodologia di progettazione multiscale denominata Weighted Dynamic Networks, basata sui vincoli nodali, che consente di simulare e gestire l'evoluzione del progetto nel tempo; il secondo riporta un caso studio condotto con approccio sistemico e basato su metodi partecipativi e sull'utilizzo di prototipi come strumenti per valutare numerosi dati ai fini progettuali, utili a semplificare la complessità del progetto di un oggetto (come nel caso di un frigorifero); il terzo, attraverso l'integrazione multidisciplinare che sintetizza relazioni multiscolari, riporta una ricerca sulla rappresentazione di scenari esperienziali, nei quali si integrano in uno spazio fisico tecnologie ICT innovative e materiali di ultima generazione; il quarto sperimenta le possibilità d'innovazione che scaturiscono dalla strategia di un Design Territoriale, a partire dalla definizione delle peculiarità dell'ambiente naturale e antropizzato, in termini di creatività e di espressione estetica, e dall'utilizzo di nanotecnologie per facilitare un uso consapevole delle risorse (materiali di scarto locali e biopolimeri) in combinazione alle possibilità offerte dall'additive manufacturing.

In conclusione, i saggi e le ricerche pubblicati dimostrano che, se misurare usando la scala come strumento significa prendere possesso delle cose del mondo stabilendone le differenze, il fuori-misura può costituire la base per nuovi assunti teorici in cui l'infinitamente grande (il 'mega') e l'infinitamente piccolo (il 'nano') concorrono simultaneamente nella definizione di questioni centrali come la sostenibilità ambientale, sociale ed economica, la resilienza, il governo del territorio, la concezione dello spazio, l'estetica, l'uso, lo sviluppo di nuovi prodotti, servizi e materiali, ecc. L'approccio multiscale può quindi essere considerato un importante strumento progettuale operativo che, in un'ottica sistemica, può favorire la proposizione di adeguate strategie d'azione e di pianificazione degli interventi sostenibili, sviluppando nuove metodiche, tecniche operative e metriche condivise, attraverso ragionate gerarchie di priorità necessarie a ottimizzare le scelte del progetto e a determinare credibili bilanci costi/benefici (soprattutto di natura ambientale).

AGATHÓN issue number 7 is a collection of essays, studies, research and projects on the subject entitled 'From Mega to Nano: the Complexity of a Multiscale Project', inextricably linked to the ever-increasing request of trans and multidisciplinary of the project. The ability of 'change of scales', work on more different scales – multiscale – create new ones or change the meaning of the scales commonly accepted, it is common practice in the approach to the project and has always concerned architects, engineers, designers and artists for the multiple symbolic and real meanings of the size of a territory, a city, an architecture and an object. However, it can provide a range of opportunities even in different contexts such as economy, politics, culture, etc. The concepts of scale and size are fundamental to link, in a systemic point of view, the detail with the big picture, the detail with the group, to interpret and represent, to discretize and recompose elements and parts that stand in a hierarchy or interconnection relation, to investigate the physical and social, to outline critical issues and potential, but especially to establish the importance of relational aspects between the group and its component as a way to understand their identity, their nature and organization, their regulation rules and the role played in different contexts, namely the fundamental elements to identify the form and structure of a territory, a city, an architecture and an object.

The concept of scale in Architecture regulates the size of the anthropic space, always keeping human dimension as reference. The choice of the scale inevitably becomes a conceptual selection

of what the project actually wants to represent. When using multiscale representation, we try to show the complexity of reality, by using as many regulation criteria and specific evaluations as we can, not only by describing its size and geometric aspects but most of all by significantly highlighting its qualitative aspects and those related to identity, culture and history. This means that there is not just one scale to represent a territory, a city, architecture, an object or a detail; however, in terms of a necessary multiscale, the project chooses the most fitting scale to develop practices, on a case-by-case basis. Therefore, logically the scale influences the project: thanks to the progress of technology in the field of design at all levels, it is probably the component of the project on which the designer works the most, simultaneously coordinating real and virtual relations; these relations do not end when the form is created, but continue over time and modify the management of the object's complexity.

In the 'Focus' section of this issue, the introductory essays report the personal contribution of the invited scholars specialized on the subject. Giovanni Durbiano (Professor of Architecture and Urban Design at Politecnico di Torino, President of the ProArch scientific Society) and Tommaso Listo link the concept of architectural scale to the philosophical-political consequences of the representation action, stating that the scalar attribution, i.e. its representation, constitutes the action of someone trying to control the representations. Francesca Fatta (Professor of Architectural Design at the 'Mediterranean' University of Reggio Calabria and President of the IUD scientific Society) starts from stating that scale and measure are fundamental criteria for interpreting and representing the parts of a unicum linked together in a hierarchy or interconnection relation; she focuses on the digital drawing that makes it possible to observe and interact with the design model, by moving it and modifying it through an immersive and mixed virtual reality, creating new dimensions that animate the model and its multiscale complexity.

Maria Teresa Lucarelli (Professor of Architectural Technology at the 'Mediterranean' University of Reggio Calabria and President of the SITdA scientific Society), together with Martino Milardi, Mariateresa Mandaglio and Caterina Claudia Musarella, investigates the link between buildings and their contexts, taking to the 'macro' scale the stresses that phenomena (such as climate) 'impose' on the envelopes and to the 'micro' scale the new qualitative performance responses of the envelope systems that currently characterize the contemporary architecture panorama. Stefano Francesco Musso (Professor of Restoration at the University of Genoa and President of the SIRA scientific Society) gives cause for reflection on the link between 'mega' and 'nano' present in the complex world of Cultural Heritage, in which the future of each Asset or part of it, for example its matter ('nano'), influences the future of its bigger system, the Cultural Heritage ('mega').

In addition to the introductory essays, the selected papers create a framework covering the subjects and the different aspects listed in the Call. The papers in the 'Architecture' section should be read in this sense: the investigation into the original interscale dimension that once again linked the Italian architecture to the territory between 1966 and 1978; the analysis on how the multiscale paradigm can represent – as in the case of CERN – the essential principle for understanding the ensemble of a project on a territorial scale although created and implemented for parts; environmental design, in its broadest sense of urban context, as a tool to create synergistic projects at different scales to improve the safety and quality of life conditions in cities; the experimentation carried out by the City of Westminster which, through a multiscale approach, adds the subject of health care into urban planning tools and policies for improving the well-being of its citizens. Cities are also places of migration which has always been one of the forces that has driven urban transformation, stimulating opportunities and challenges for cities that change according to its inhabitants; on these premises, projects for intercultural spaces in the Albergheria district of Palermo are presented to integrate urban, architectural and public spaces.

Other papers investigate the scalar relations between cities and forms of living, as solutions capable of facing the multiple environmental and social problems of the planet, rethinking the conventional ways of togetherness; in this sense, the Megaform housing seems a temporary intervention tool which – as an alternative to other solutions, such as single houses, residential neighbourhoods and tall buildings – can integrate and/or replace parts of the traditional city. Public buildings are also affected by the need to activate new multiscale relations; the experience promoted by Parque Escolar for the adaptation of school facilities in Portugal triggers reflections on the dialogue between the different scales through different points of view (design, educational, social and plant engineering), considering this interpretation as a paradigmatic and adequate response to the complexity of school construction. To this latest example is linked also the project of the Cultural Heritage recovery, such as that for a Conventual Complex in Naples, now abandoned, with the proposal to re-introduce it into the lively dynamic of the city through a careful work not only on the artefact but also on its relations with the urban and landscape context of which it is an integral part.

The multiscale approach is not only debated in the papers that deal with the city or the living spaces, but also with the investigation on the technological innovation linked to design and creation of building systems and subsystems that from the micro to the macro scale allow to reach and exceed the energy-environmental targets foreseen by the current national and international regulations. Other studies address specific issues on the ability of the multiscale method to manage the project on the relation between space and shape, further looking into the link between the scale of the model and its meaning in the three-dimensional rendering, between shape and structure, through a topology optimization made with digital tools, and between matter and usability in museum spaces, through perceptual processes amplified by technologies that act in a controlled way at

the micro and nanometric scale of materials; about the environmental subject, for the building industry the experimental research on innovative bioplastics is worthy of note. Starting from the micro-scale it responds to the biological evolutionary dynamics of the regenerative and eco-technological project.

The volume concludes with the 'Design' section papers: the first illustrates a multiscale design approach called Weighted Dynamic Networks, based on pins constraints, which allows to simulate and manage the evolution of the project over time; the second reports a case study carried out with a systemic approach based on inclusive methods and on the use of prototypes as tools for evaluating many data for design purposes, useful for simplifying the complexity of an object design (as in the case of a refrigerator); the third, through multidisciplinary integration that summarizes multiscale relations, reports a research on the representation of experiential scenarios, in which innovative ICT technologies and next-generation materials are integrated; the fourth experiments the possibilities of innovation originating from a Territorial Design strategy, starting from describing the characteristics of the natural and man-made environment, in terms of creativity and aesthetic expression, and from the use of nanotechnologies to facilitate an informed use of resources (local waste materials and biopolymers) together with the possibilities given by additive manufacturing.

In conclusion, the essays and research published show that if measuring, using the scale as a tool, means understanding the things in the world by establishing some differences, therefore 'off-size' can be the basis for new theoretical assumptions in which both the infinitely large (mega) and the infinitely small (nano) contribute to defining crucial topics, such as environmental, social and economic sustainability, resilience, territory government, the idea of space, aesthetics, use, development of new products, services and materials, etc. Therefore, the multiscale approach can be considered as an important design working tool that, in a systemic point of view, can foster the proposal of adequate strategies for action and planning of sustainable actions, developing new methods, working techniques and shared measurements, through well-considered hierarchies of priorities necessary to optimize the choices of the project and to determine the reliable cost/benefit balances (especially of environmental nature).

FROM MEGA TO NANO

THE COMPLEXITY OF A MULTISCALAR PROJECT

DAL MEGA AL NANO
LA COMPLESSITÀ DEL
PROGETTO MULTISCALARE

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 requisiti¹ 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 progettazione² 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

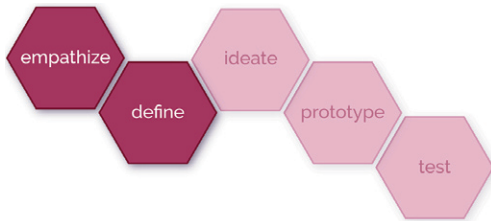
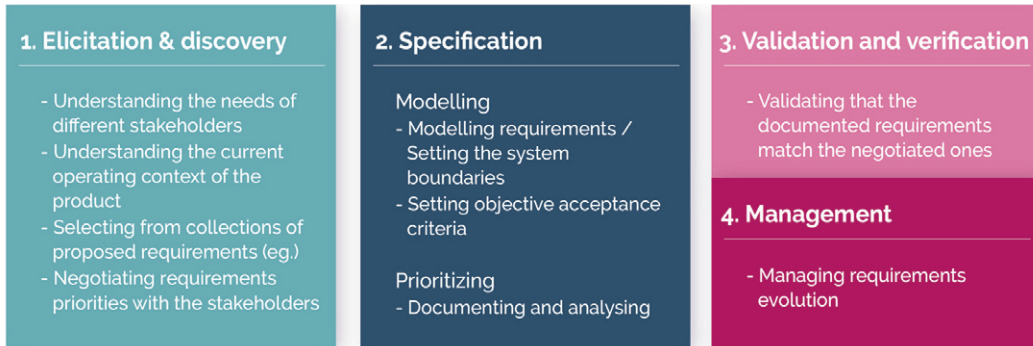


Fig. 1 | Steps in the investigation of design requirements.

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 progettargli (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 cambiamenti³. 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 consumi⁴. 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,

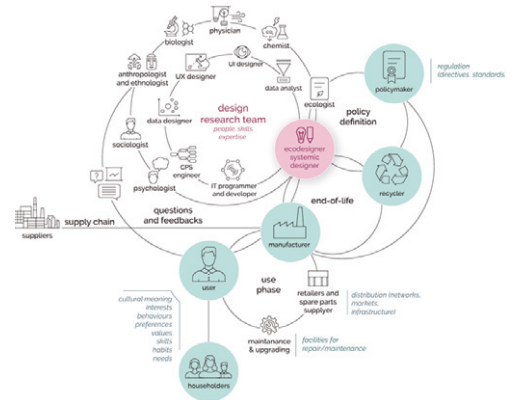
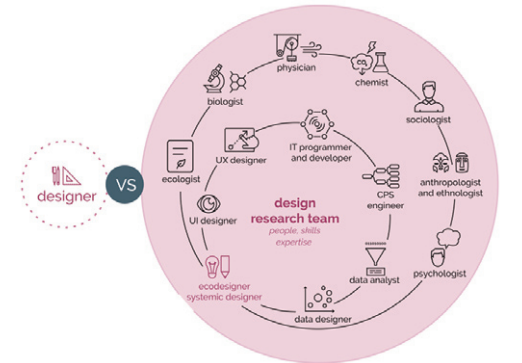


Fig. 3 | The design team involved in the development of connected new appliances.

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).

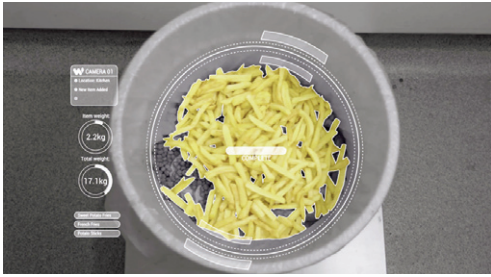


Fig. 7 | Winnow uses AI technology to reduce food waste in commercial kitchens (source: www.winnowsolutions.com).

Fig. 8 | Food waste is detected using a camera and weight sensors connected to Winnow (source: 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.⁵

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 requirements¹ 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 process² 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.

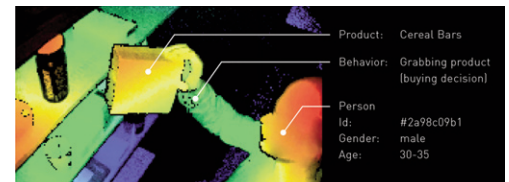
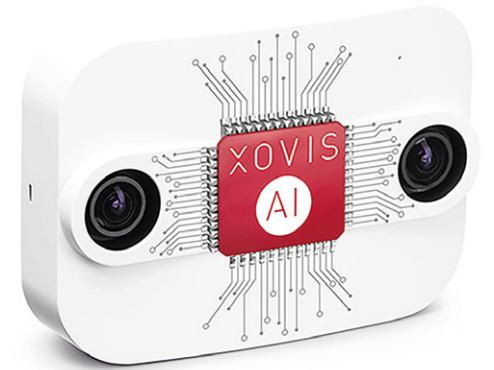


Fig. 9, 10 | AI-powered Xovis 3D sensors detect when a person takes an article from a shelf (source: www.xovis.com).

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.

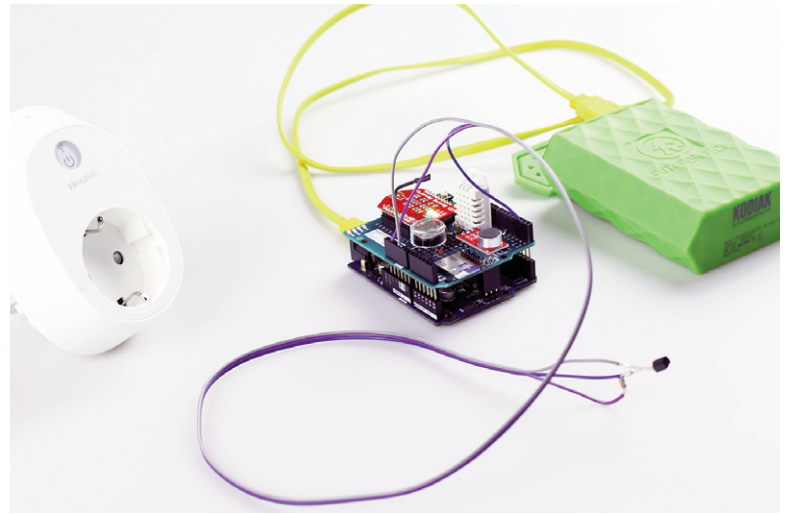
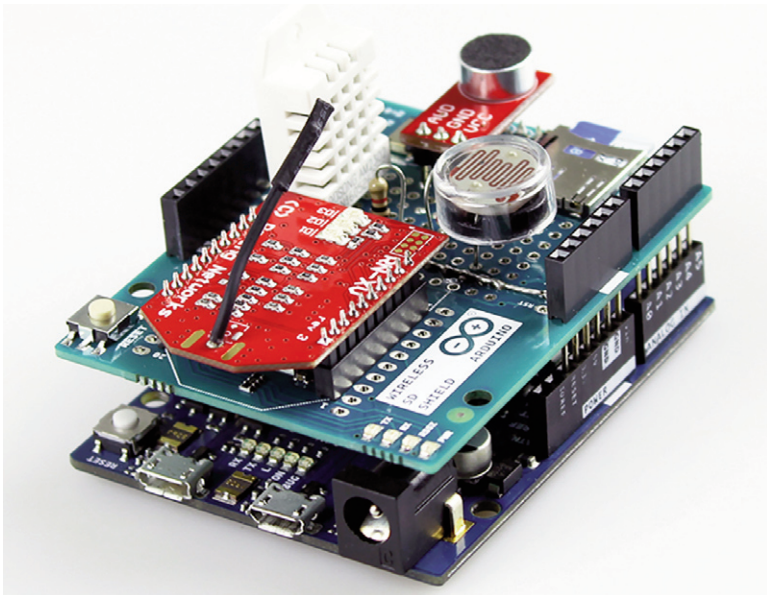


Fig. 11 | Arduino Zero with Wireless SD Proto Shield and sensors.

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 changes³. 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 consumption⁴. 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-

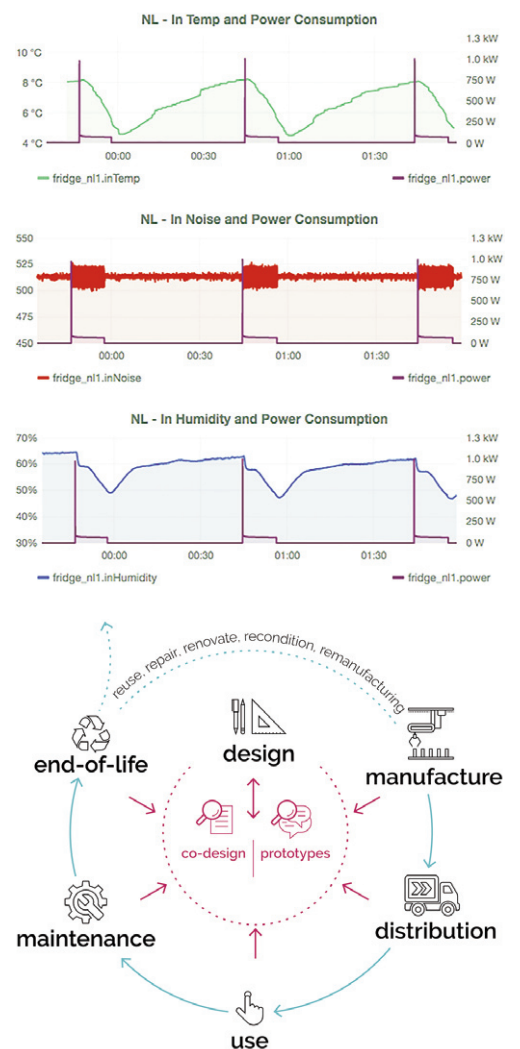


Fig. 13 | Monitoring of the power consumption of one refrigerator over 12 hours.

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

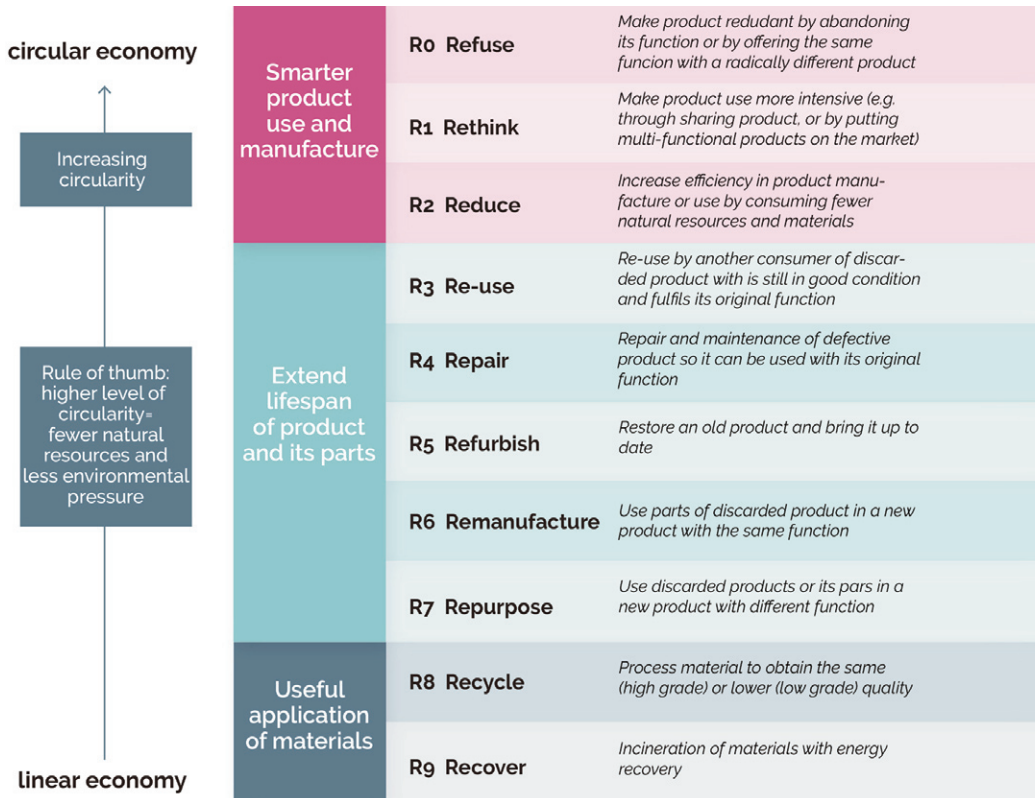


Fig. 15 | Circularity strategies within the production chain, in order of priority (credit: Potting et alii, 2017).

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.⁵

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 [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 [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 [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 [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 [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 [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 [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-</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 [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 [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 [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 [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 [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 [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 [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 [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 [Accessed 4 March 2020].