

ARTICLE INFO

Received	10 September 2024
Revised	12 October 2024
Accepted	14 October 2024
Published	30 December 2024

CONOSCENZA, INNOVAZIONE E CAMBIAMENTO

Il potere dell'errore nel design e nei sistemi complessi

KNOWLEDGE, INNOVATION, AND CHANGE

The power of error in design and complex systems

Claudia Porfirione, Xavier Ferrari Tumay, Isabel Leggiero

ABSTRACT

L'articolo esplora il rapporto tra complessità, errore e progetto, evidenziando come l'interazione dinamica tra questi elementi sia cruciale per affrontare le sfide del Design contemporaneo. Un'analisi interdisciplinare indaga il ruolo dell'errore come risorsa strategica nella formazione e nella pratica professionale e viene proposta una metodologia che sistematizza la gestione dell'errore, favorendo l'emergere di soluzioni innovative e adattive. Si sottolinea l'importanza di un approccio flessibile e aperto, riconoscendo l'errore come elemento centrale per stimolare l'innovazione, ampliare le prospettive, migliorare i processi di progettazione e favorire una crescita continua nel settore.

This paper explores the relationship between complexity, error and design, highlighting how the dynamic interaction between these elements is crucial in addressing the challenges of contemporary design. An interdisciplinary analysis investigates the role of error as a strategic resource in education and professional practice, and a methodology is proposed that systematises the management of error, encouraging the emergence of innovative and adaptive solutions. The importance of a flexible and open approach is emphasised, recognising error as a central element in stimulating innovation, broadening perspectives, improving design processes and fostering ongoing growth in the field.

KEYWORDS

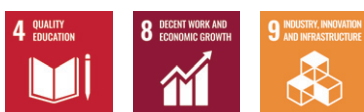
sistemi complessi, gestione dell'errore, progettazione interdisciplinare, apprendimento iterativo, innovazione

complex systems, error management, interdisciplinary design, iterative learning, innovation

Claudia Porfirione, Designer and PhD, is an Associate Professor at the Department of Architecture and Design, University of Genoa (Italy). She conducts numerous research to study Ambient Assisted Living & ICT technologies applied to environmental design to facilitate weak users. Mob. +39 346/693.86.45 | E-mail: claudia.porfirione@unige.it

Xavier Ferrari Tumay, PhD in Design, is the Head of the UniGe Digital Lab and Adjunct Professor at the University of Genoa (Italy) and the Beijing University of Technology Chemistry (China). His research interests include design for digital fabrication and studying participatory processes for social innovation in urban areas. Mob. +39 347/772.10.14 | E-mail: xavier.ferraritumay@unige.it

Isabel Leggiero, PhD Candidate at the 'Luigi Vanvitelli' University of Campania (Italy), conducts her research on the issue of Made in Italy as intangible cultural heritage, working on inclusion and participation in the transmission and preservation of cultural heritage, with particular attention to fragile users. E-mail: isabel.leggiero@unicampania.it



La complessità è un tema centrale nella comprensione dei sistemi contemporanei, dato che l'interconnessione di molteplici elementi crea strutture che sfidano la linearità e la prevedibilità. In un'epoca caratterizzata da rapidi cambiamenti tecnologici, sociali ed economici il Design si trova ad affrontare sfide che richiedono un approccio sempre più interdisciplinare e interconnesso. Come esplorato da Douglas Hofstadter (1999) nel suo celebre lavoro *Gödel, Escher, Bach – An Eternal Golden Braid*, la complessità non è semplicemente una somma di parti, ma emerge dall'interazione dinamica di elementi che generano proprietà inaspettate e spesso imprevedibili.

Wiener (2019) evidenzia come i sistemi complessi, che siano matematici, biologici o cognitivi, mostrino comportamenti non riducibili ai singoli componenti, richiedendo un approccio più olistico e interconnesso. Nel contesto della progettazione e dell'innovazione riconoscere l'importanza della complessità significa anche comprendere il ruolo cruciale dell'errore. James Reason (2009), in *Human Error*, evidenzia che l'errore umano non è solo un fallimento individuale, ma spesso riflette la complessità dei sistemi, dove le interazioni tra variabili possono portare a esiti imprevisti. Nel Design ciò richiede progettisti in grado di sfruttare l'errore come opportunità per innovare, infatti la sua gestione è cruciale per affrontare problemi complessi e sviluppare soluzioni che si evolvono con il contesto (Dominici, 2018), abilità strettamente legata alla natura ibrida e indisciplinata del Design (Auricchio, 2018), che lo rende adatto a gestire la complessità.

Come osserva Vincenzo Cristallo (2017), le nuove generazioni spesso faticano a riconoscere la fatica e l'errore come elementi fondamentali del processo di crescita e della creatività; si tende a privilegiare l'affidamento all'intuizione e all'estro, trascurando l'importanza del lavoro costante e dell'accettazione degli errori come parte integrante del percorso verso il raggiungimento di risultati significativi. Tuttavia è proprio questa natura flessibile e ibrida del Design, capace di integrarsi e adattarsi a molteplici discipline e approcci, che rende il progetto uno strumento potente per affrontare le sfide contemporanee. Cristallo (2017) sottolinea inoltre che la fatica e gli errori rappresentano il vero patrimonio creativo per chiunque aspiri a una pratica progettuale autonoma e consapevole del proprio linguaggio espressivo. In questo contesto, egli critica la diffusa 'teoria del lieto fine', la quale idealizza il processo di Design come un percorso lineare e privo di difficoltà.

In tale ottica il contributo ha l'obiettivo di presentare alcune teorie sulla complessità che, per diversi motivi, sono funzionali allo sviluppo di una nuova visione dell'errore: si vuole indagare in che modo il mondo del Design, legato alla formazione o alla produzione, può utilizzare gli errori nel processo di progettazione, facendo riferimento alle teorie ampiamente discusse negli ambiti dell'ingegneria, della psicologia, della filosofia, delle scienze dell'apprendimento, ecc.

Dopo una prima analisi dello stato dell'arte sui tre concetti chiave del contributo (errore, complessità, progettazione), si analizzano due diversi ambiti in cui il concetto di fallimento e il riconoscimento degli errori può essere considerato come un potenziale per la formazione e la professione. Partendo dalla definizione di errore quale strumento intrinsecamente legato alla costruzione della conoscenza, capace di promuovere innovazione e cambiamento (Nor-

man, 2013) si definiscono alcuni punti chiave utili a sistematizzare la documentazione e la comprensione degli errori all'interno del processo di progettazione (Fig. 1). Guardando a questi temi da un nuovo punto di vista, si vuole invitare la comunità scientifica a riflettere sul potere dell'errore come elemento di innovazione, mettendo in luce il suo potenziale inespresso.

Stato dell'arte: errore, complessità e progettazione

La complessità, definita come interconnessione di molteplici elementi che formano un'entità plurale, è una caratteristica insita del contemporaneo, accentuata dalle questioni di rilevanza globale come i cambiamenti climatici e le pressioni socio-economiche. Il rapporto tra complessità ed errore è stato ampiamente esplorato in molte discipline: in campo ingegneristico, ad esempio, gli studi sulla 'teoria del caos' (Lorenz, 1963; Fig. 2) hanno evidenziato come piccoli errori iniziali possano amplificarsi all'interno di sistemi complessi, portando a esiti imprevedibili; ciò ha richiesto una maggiore attenzione alla gestione dell'errore come parte integrante della progettazione di sistemi robusti e resilienti.

Complessità ed errore interagiscono tra di loro, come nel caso del processo di apprendimento. Nel campo della psicologia cognitiva la 'teoria del carico cognitivo' sviluppata da John Sweller (1988) ha fornito importanti intuizioni su come ciò avvenga, evidenziando che un carico cognitivo eccessivo durante la risoluzione di problemi complessi può ostacolare l'apprendimento e lo sviluppo di nuovi schemi cognitivi. Strategie di problem-solving rigide, come l'analisi mezzo-fine, sovraccaricano la memoria di lavoro, limitando lo spazio per nuovi concetti, mentre una gestione efficace del carico cognitivo facilita l'apprendimento e favorisce l'esplorazione di nuove idee. Un tale approccio ha implicazioni dirette anche per il Design, dove l'equilibrio tra complessità e semplicità diventa cruciale per facilitare l'apprendimento e l'innovazione (Maeda, 2006).

Inoltre l'intero approccio scientifico e la professione stessa del ricercatore si basano su differenti strategie di relazione con l'errore (Di Giovanni and Tiberio, 2022). Bamford (2002) descrive due principali metodologie di progettazione: 'analisi / sintesi' e 'congettura / analisi'. L'analisi / sintesi adotta un approccio scientifico tradizionale, sistematico e rigoroso, volto a minimizzare l'errore e l'incertezza attraverso un processo strutturato, radicato nella metodologia scientifica, in cui la raccolta di dati e l'analisi meticolosa sono centrali per garantire che ogni passaggio del processo progettuale sia accuratamente verificato.

Questa visione riflette la tradizione del pensiero razionale e deduttivo, in cui la complessità viene affrontata attraverso la scomposizione sistematica dei problemi e l'applicazione di soluzioni lineari e prevedibili (Fig. 3). La congettura / analisi invece si basa sull'esplorazione e l'innovazione, partendo da problemi complessi e mal definiti; seguendo la filosofia di Karl Popper (2009), questo approccio si fonda su ipotesi audaci che devono essere sottoposte a test empirici rigorosi per essere falsificate e migliorate: Popper, noto per la sua teoria della falsificabilità, sottolinea l'importanza di ipotesi che possano essere messe in discussione per favorire il progresso scientifico (Dalla Pozza and Negro, 2017; Fig. 4).

Questi due approcci mettono in luce come il Design possa avvalersi sia di metodologie induttive che deduttive: l'analisi / sintesi è prevalentemente de-

duzione, basandosi su principi generali per arrivare a conclusioni specifiche, mentre la congettura / analisi è più induttiva, costruendo nuove teorie e soluzioni attraverso l'osservazione e l'esperienza pratica (Fagnoni, 2017). Questa capacità di oscillare tra rigore scientifico e creatività intuitiva riflette la complessità intrinseca del processo progettuale, in cui l'errore diventa parte integrante e necessaria del percorso creativo.

La necessità di flessibilità e di un approccio più aperto si riflette nel 'telos' del Design, come discusso da Stefano Maffei (2022), che spinge verso una visione non limitata alla mera risoluzione di problemi immediati, ma orientata verso la trasformazione sistemica e sociale. Ciò implica un passaggio da una progettazione focalizzata su obiettivi rigidi e specifici a un processo più olistico e adattivo, capace di integrare le complessità del contesto umano in cui opera, tema centrale di 'progettare per il mondo reale', in cui Papanek (2022) introduce il 'diritto al fallimento' per i progettisti, affermando che il fallimento non è un difetto ma una componente necessaria dell'innovazione.

Il 'diritto al fallimento' non è solo una concessione al fatto che gli errori possano accadere, ma una vera e propria difesa della necessità del fallimento per raggiungere un Design significativo (Verganti, 2009). Infatti i sistemi complessi richiedono un approccio che sia capace di integrare analisi e sintesi, affrontando i problemi non come entità isolate, ma come parte di un sistema più ampio e interconnesso. Il Design Thinking, descritto da Francesco Zurlo (2019) come una tecnologia sociale, rappresenta una risposta efficace a questa sfida, permettendo ai progettisti di navigare tra molteplici variabili e incertezze attraverso processi di framing e reframing. Tuttavia nel corso del progetto il reframing diventa essenziale per adattarsi a nuove informazioni, intuizioni o cambiamenti nel contesto, ridefinendo il problema e modificando l'approccio per garantire la rilevanza e l'efficacia del risultato.

Verso una pedagogia dell'errore

Fino al 1970 circa la pedagogia tradizionale era costruita attorno a due assi fondamentali: l'insegnamento e la valutazione (Binanti, 2001). Secondo questo approccio l'errore veniva percepito come qualcosa di assolutamente negativo, mentre a seguito delle grandi contestazioni degli anni '70 che hanno rivoluzionato molti approcci al sapere, si è cominciato a teorizzare una vera e propria 'pedagogia dell'errore', intesa come una forma di educazione attenta alla partecipe e attiva costruzione del sé e del proprio sapere da parte dell'allunno, attraverso prove ed errori.

In tempi più recenti il filosofo Massimo Donà (2012) ci ha spiegato come sbagliare sia un'occasione di crescita, infatti l'errore è lì a ricordarci l'inesauribile complessità della realtà: secondo Donà bisogna cogliere gli aspetti positivi anche in situazioni critiche, quando cioè sbagliare ci consente di attivare risorse e capacità che altrimenti non emergerebbero. Gli errori ci fanno vedere le cose da un altro punto di vista e ci aiutano a cambiare o perfezionare le nostre idee; in fondo la storia della conoscenza umana è fatta di errori che sono stati corretti nel tempo.

Secondo la concezione filosofica del Fallibilismo, nella scienza come nella vita tutti gli esseri viventi procedono per prove ed errori; secondo Popper (2009), lo sviluppo della conoscenza avviene cercando di risolvere problemi ed eliminando le soluzioni meno

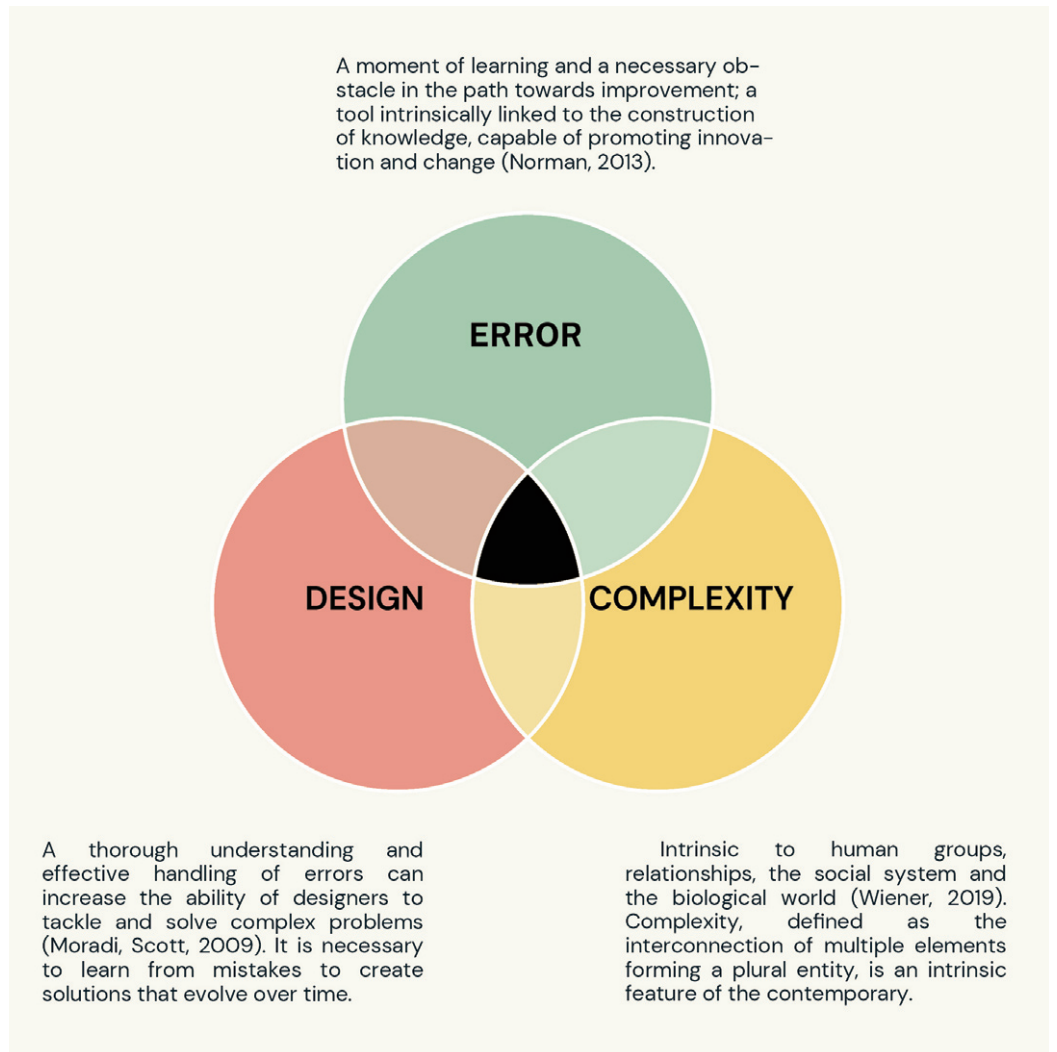


Fig. 1 | Diagram of the three key concepts of the paper (credit: the Authors, 2024).

adeguate, infatti la differenza tra la conoscenza umana e quella animale non sta tanto negli errori, ma nella capacità di affrontarli in modo critico e costruttivo: mentre un'ameba può morire a causa dei suoi errori, l'uomo può progredire grazie ad essi.

Si tratta di un argomento molto ampio e complesso: qual è il ruolo dell'errore nella didattica per il Design in un contesto in cui i progettisti sono chiamati a progettare in modo corretto? L'errore è parte integrante del progetto e soprattutto dell'apprendimento della professione; fare finta che l'errore non esista se non per essere corretto è un approccio sbagliato che grandi Designer e pedagogisti, tra cui Bruno Munari, Gianni Rodari, Donald Norman, Loris Malaguzzi e Bruno Ciari, avevano compreso molto bene. Essi proponevano una pedagogia che non giustifica l'errore, ma che lo considera un aspetto fondamentale della costruzione e della crescita progettuale. In questo senso lavorare con l'errore non significa contrapporre errore e correzione, ma rappresenta un'opportunità per spostare il punto di vista.

La pedagogia dell'errore propone quindi di affrontarlo, come uno stimolo prezioso, non solo per chi lo ha commesso ma per tutto il gruppo (Benes et alii, 2017): in un quadro di didattica costruttivista, esplorativa e partecipata, l'errore diviene una vera porta per la conoscenza. Se in alcuni contesti didattici più virtuosi le potenzialità dell'errore sono state comprese, in molte realtà aziendali si condivide il pensiero che commettere errori nello sviluppo di prodotti e servizi sia sempre negativo. È frequente inoltre la convinzione che imparare dai pro-

pri errori sia piuttosto semplice; per farlo è sufficiente riflettere su cosa abbia originato l'errore ed evitare di ripeterlo in futuro.

Queste convinzioni ampiamente diffuse sono fuorvianti: in primo luogo il fallimento non è sempre negativo, a volte è inevitabile e a volte persino positivo; in secondo luogo imparare dagli errori è tutt'altro che semplice. Le attività necessarie per rilevare e analizzare efficacemente i fallimenti sono molto rare nella maggior parte delle aziende così come lo sono la messa a punto di specifiche strategie di apprendimento; le imprese hanno bisogno di modi nuovi e migliori per andare oltre vecchie convinzioni culturali e abbracciare la lezione dell'errore.

Fronteggiare l'errore nel contesto professionale: metodo, adattamento continuo e sicurezza psicologica | Secondo Amy C. Edmondson (2023), ricercatrice nota per il suo lavoro sulla psicologia delle organizzazioni e la gestione dell'errore, gli errori rientrano in tre ampie categorie: 'prevenibili', 'correlati alla complessità' e 'intelligenti'. Quelli che ricadono nel primo gruppo possono effettivamente essere considerati 'negativi' poiché originati da disattenzione o inabilità quando vengono effettuate operazioni di grande volume o routinarie. In relazione ad essi sono state sviluppate apposite metodologie come le checklist, molto utilizzate in ambito medico (Fig. 5). Tuttavia diversi anni prima il chirurgo Atul Gawande (2010) evidenziò l'importanza di estendere l'utilizzo delle checklist in contesti complessi come ingegneria e architettura in cui, a un au-

mento della complessità delle procedure, cresce anche il rischio di errore persino per professionisti esperti; le checklist offrono un metodo semplice ed efficace per gestire questa complessità.

Un altro grande riferimento nella gestione dell'errore è il rivoluzionario Toyota Production System (TPS), il sistema di apprendimento continuo integrato da piccoli errori, che ha avuto un impatto significativo non solo in ambito automobilistico, ma anche in molti altri settori, contribuendo a rivoluzionare le pratiche di produzione e gestione in tutto il mondo. Il modello TPS (Figg. 6, 7) mira a raggiungere i propri obiettivi attraverso una riorganizzazione industriale che coinvolge sia l'aspetto manageriale sia la struttura organizzativa, valorizzando il contributo umano in termini di intelligenza e responsabilità. Questo sistema di gestione dell'errore ha permesso a Toyota di diventare nel 2024 l'undicesima società più grande del mondo in termini di capitalizzazione di mercato e fatturato e la più importante casa automobilistica (Murphy and Schifrin, 2024).

Sempre secondo le teorie sull'errore di Amy C. Edmondson (2023) alcuni errori sono inevitabili poiché legati alla complessità e all'incertezza del lavoro, derivando da combinazioni uniche di esigenze, persone e problemi che potrebbero non essersi mai verificate prima: per essi è necessaria una grande capacità di adattamento perpetuo. Imparare dagli errori nel processo di progettazione è particolarmente importante per il Designer che svolge una professione resiliente; altresì importante secondo Edmondson è il 'psychological safety team' (Fig. 8), ov-

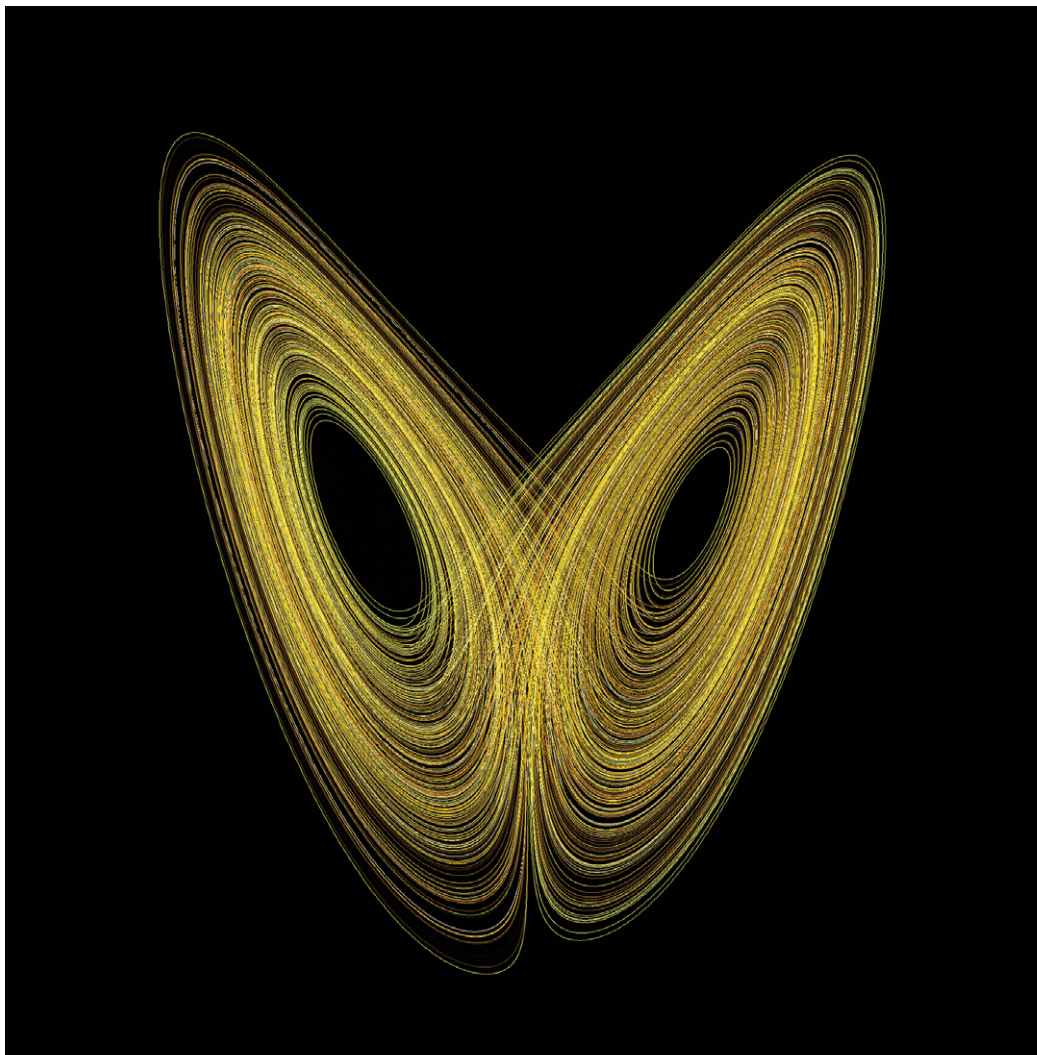


Fig. 2 | The Lorenz attractor is a set of chaotic solutions of the Lorenz system, visualising the Theory of Chaos (source: wikipedia.org, 2005).

vero la sicurezza psicologica nei team, che è cruciale per favorire un ambiente in cui i membri possano condividere idee, porre domande e, soprattutto, ammettere errori senza timore di ripercussioni.

Un'altra interessante tipologia di errore è rappresentata dai 'fallimenti intelligenti'. Teorizzati dal Prof. Sim Sitkin (Rousseau et alii, 1998), ricercatore noto per i suoi studi che già nei primi anni '90 ha messo in relazione errore, apprendimento e performance organizzativa, enfatizzando come una gestione efficace degli errori possa portare a risultati favorevoli nel lungo termine. Tuttavia la capacità di apprendere dipende dalla reazione dell'organizzazione agli errori: per questo è fondamentale sviluppare modelli proattivi che li anticipino e gestiscano, piuttosto che rispondere solo agli imprevisti. Sitkin introduce il concetto di 'fallimenti intelligenti', che si verificano durante la sperimentazione e l'innovazione, quando non esistono risposte note poiché si affrontano situazioni uniche e non ripetibili.

Errare è un atto assai comune in molti contesti ad alto contenuto innovativo, una competenza particolarmente interessante per il Designer: è quindi essenziale che tutti accettino l'idea che l'errore non è solo regressivo, ma può essere anche progressivo e persino prezioso.

Riconoscere l'errore fertile | L'esistenza umana è intrinsecamente legata agli errori; non si tratta solo degli sbagli che compiamo più o meno consciamente; l'intero processo evolutivo della vita è profondamente connesso all'errore (Martin, 2024). Tutta-

via abbiamo con esso un rapporto difficile, tendiamo a nascondere o stigmatizzarlo, ignorando il suo potenziale di diventare un nuovo inizio, un terreno fertile per una nuova visione del problema e un momento di crescita. Infatti, come afferma Karl Popper (1975, p. 242), «[...] evitare errori è un ideale meschino: se non osiamo affrontare problemi che siano così difficili da rendere l'errore quasi inevitabile, non vi sarà allora sviluppo di conoscenza». Per questo, dal momento che nessuno può evitare di fare errori, è fondamentale imparare da essi: in che modo è possibile quindi inserire in modo deliberato il concetto di errore all'interno del processo progettuale?

Il primo aspetto su cui ci si vuole focalizzare è la necessità di una cultura dell'errore, che si opponga alla narrazione del successo che rende gli errori invisibili sia a noi stessi che agli altri. Nel mondo della ricerca e della formazione i fallimenti si presentano in molte forme, avvengono per molte ragioni e giustificano molte soluzioni; tuttavia nessuno di questi viene discusso o presentato nelle conferenze di settore. Per questo motivo Melanie Stefan (2010) propone un 'CV of failures', in cui mettere in mostra gli insuccessi scolastici, i premi non vinti o le borse di studio perse (Tab. 1). Lo scopo è di non stigmatizzare i fallimenti, ma formare i nuovi Designer a concepire l'errore come parte integrante della crescita. Anche il filosofo Antiseri (2017) afferma che per facilitare il progresso della scienza è necessario trovare gli errori, poiché se riusciamo a riconoscerli, mettiamo in luce la necessità di mettere in discussione le teorie esistenti, superando e correggendo l'errore stesso.

Nel Design gli errori possono essere visti come feedback che innescano il ciclo di apprendimento, perciò essi consentono ai progettisti di riflettere su quali aspetti del processo non hanno funzionato, di costruire modelli mentali migliorati e sperimentare nuove soluzioni che possano rispondere in modo più adeguato alle sfide progettuali. Sposando la prospettiva cognitivista si ritiene che documentare gli errori e le soluzioni attuate consenta di costruire un archivio di conoscenze che non solo aiuta i singoli progettisti a migliorare, ma favorisce la crescita del team e dell'organizzazione nel lungo termine.

Il caso della Toyota mette in luce come tenere traccia degli errori e imparare da questi può portare all'innovazione del prodotto o del processo produttivo. È necessario valorizzare l'approccio che riconosce l'errore 'fertile', favorendo l'implementazione di sistemi a ciclo aperto che siano in grado di documentarli, esaminarli e apprendere da questi. Le metodologie progettuali, come il Design Thinking, di per sé includono fasi iterative che abbracciano l'errore come possibilità creativa, tuttavia è necessario avere un registro dei fallimenti e delle soluzioni messe in atto, in modo che diventi uno strumento di apprendimento per i futuri progettisti e per gli altri membri del team.

Come dimostrato dalle teorie della complessità applicate al Design (Simon, 1996), l'errore è inevitabile, poiché le dinamiche del sistema possono essere imprevedibili e non completamente gestibili attraverso la pianificazione iniziale. Gli errori diventano quindi segnali importanti per identificare pun-

ti di debolezza, anomalie o problemi emergenti; non perdere di vista questi segnali è cruciale per poter intervenire in modo proattivo. Ad esempio nel Design di prodotti tecnologici complessi un errore che si manifesta in una fase può avere ripercussioni a cascata su altri elementi del sistema; la documentazione accurata di questi errori permette di evitare che essi si ripetano, facilitando la correzione preventiva di eventuali problemi futuri.

Nella letteratura sull'innovazione, come quella proposta da Joseph L. Bower e Clayton M. Christensen (1995) nella sua teoria della 'innovazione dirompente' (Fig. 9), si evidenzia che spesso gli errori e i fallimenti iniziali sono segni di innovazioni che sfidano lo status quo. Tenere traccia degli errori può rivelare opportunità per innovazioni disruptive, laddove le soluzioni tradizionali continuano a fallire. I team di Design che documentano in modo sistematico i loro errori possono identificare nuove direzioni non precedentemente considerate, trasformando i fallimenti in un trampolino di lancio per innovazioni rivoluzionarie.

Un elemento chiave nella gestione degli errori è la capacità di metterli in discussione, andando oltre la semplice correzione immediata per adottare una riflessione critica e continua sulle ipotesi che guidano il processo di Design. La teoria del Double-Loop Learning (apprendimento a doppio circuito), sviluppata dai teorici dell'organizzazione Chris Argyris e Donald Schön (1998), sottolinea l'importanza di riflettere sulle cause profonde degli errori, mettendo in discussione credenze e modelli mentali alla base delle decisioni. Nel Design questo approccio è particolarmente efficace per affrontare la complessità e l'incertezza, incoraggiando una revisione non solo degli errori tecnici, ma anche delle assunzioni implicite nel processo progettuale. Il vantaggio per i Designer è la possibilità di affrontare le situazioni complesse con maggiore flessibilità e apertura, facilitando la creazione di soluzioni più creative e rilevanti per i bisogni emergenti degli utenti.

Conclusioni | Gli errori sono spesso visti come risultati indesiderati, che indicano un fallimento o una mancanza di competenza; tuttavia, nella complessità del contesto del Design, gli errori possono es-

sere una risorsa preziosa che offre innovazione, avanzamento della conoscenza e opportunità di crescita. Tracciare gli errori e le soluzioni attuate nei processi di Design non è solo una pratica di controllo della qualità, ma una strategia fondamentale per promuovere l'innovazione e l'apprendimento continuo.

Le teorie dell'apprendimento esperienziale (Kolb, 1984), della complessità e dell'apprendimento organizzativo supportano la tesi che l'errore possa essere valorizzato come risorsa cruciale per il miglioramento continuo. Attraverso la documentazione accurata degli errori e la riflessione sulle soluzioni adottate, i Designer possono identificare pattern, sfidare le proprie ipotesi di lavoro e generare innovazioni più efficaci e rilevanti. In definitiva, riconoscere e gestire l'errore non è solo necessario, ma può rappresentare un terreno fertile per la creatività e la crescita (Fig. 10).

L'apertura verso la cultura dell'errore da parte di formatori o delle aziende ha implicazioni in diversi ambiti: a livello culturale può portare a una società più tollerante in cui il fallimento non è stigmatizzato, ma inteso come un passo verso il successo; allo stesso modo può incentivare l'adattabilità e l'apprendimento continuo, qualità fondamentali in un mondo in continuo cambiamento. A livello aziendale questo approccio favorisce l'innovazione e la creatività, poiché ci si sente liberi di sperimentare; inoltre sapere che gli errori sono accettati e discussi apertamente può aumentare il coinvolgimento e la motivazione dei lavoratori.

Tuttavia questo approccio non è esente da limiti nella sua applicazione al mondo reale, anche a causa della complessità in cui viviamo. Quando non è bilanciata si corre il rischio che la cultura dell'errore porti a un'accettazione passiva del fallimento, che non produce un miglioramento della produttività ma genera frustrazione; per questo motivo è necessaria la formazione e la discussione di modelli di gestione dell'errore stesso. Se in alcune discipline la letteratura scientifica ha già ampiamente analizzato il modo in cui approcciarsi all'errore e imparare da esso, l'ambito del Design non ha ancora formalizzato modelli di gestione del fallimento. Nonostante l'interesse verso questo tema sia in forte crescita, grazie anche alla centralità all'inter-

no di convegni di settore, nulla o poco di questo approccio all'errore è stato messo in campo. Il Designer procede per tentativi ed errori in maniera autonoma e spontanea.

È importante trovare un equilibrio tra l'accettazione degli errori come parte del processo di apprendimento e la necessità di mantenere standard elevati e responsabilità. Un approccio equilibrato può massimizzare i benefici minimizzando i rischi e accettare l'errore come elemento fondamentale dello sviluppo progettuale introduce sfide significative, specialmente in contesti orientati al profitto. Rimangono interrogativi cruciali: come è possibile affrontare gli errori in modo costruttivo evitando di promuovere un atteggiamento permissivo? In che modo inoltre è possibile assicurare che le persone, se non vengono biasimate per i propri errori, continuino a dare il massimo impegno e a cercare di migliorare in futuro?

Complexity is a central theme in understanding contemporary systems, where the interconnection of multiple elements creates structures that challenge linearity and predictability. In an era characterised by fast technological, social and economic changes, Design faces challenges that require an increasingly interdisciplinary and interconnected approach. As Douglas Hofstadter (1999) explored in his celebrated work Gödel, Escher, Bach – An Eternal Golden Braid, complexity is not simply a sum of parts but emerges from the dynamic interaction of elements that generate unexpected and often unpredictable properties.

Wiener (2019) highlights how complex systems, be they mathematical, biological or cognitive, exhibit behaviour that cannot be reduced to individual components, requiring a more holistic and interconnected approach. In the context of Design and innovation, recognising the importance of complexity also means understanding the crucial role of error. James Reason (2009), in Human Error, points out that human error is not just an individual failure but often reflects the complexity of systems, where interactions between variables can lead to unforeseen out-

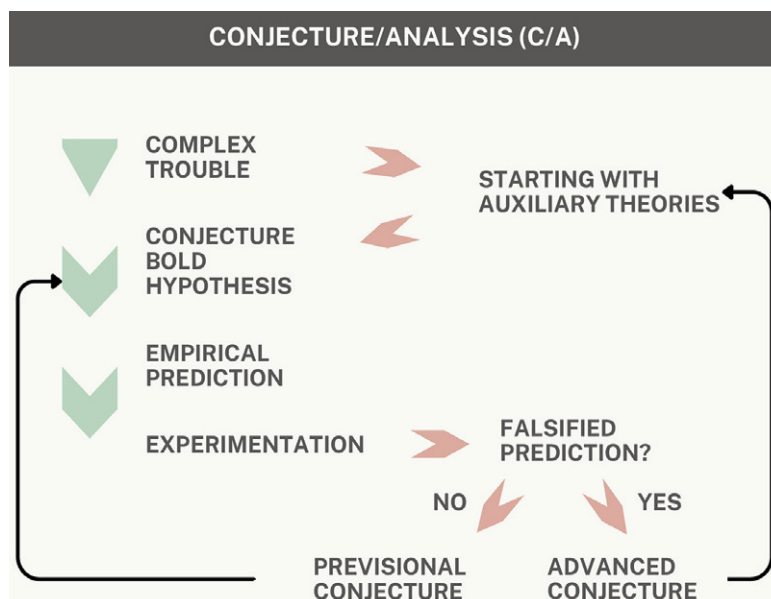
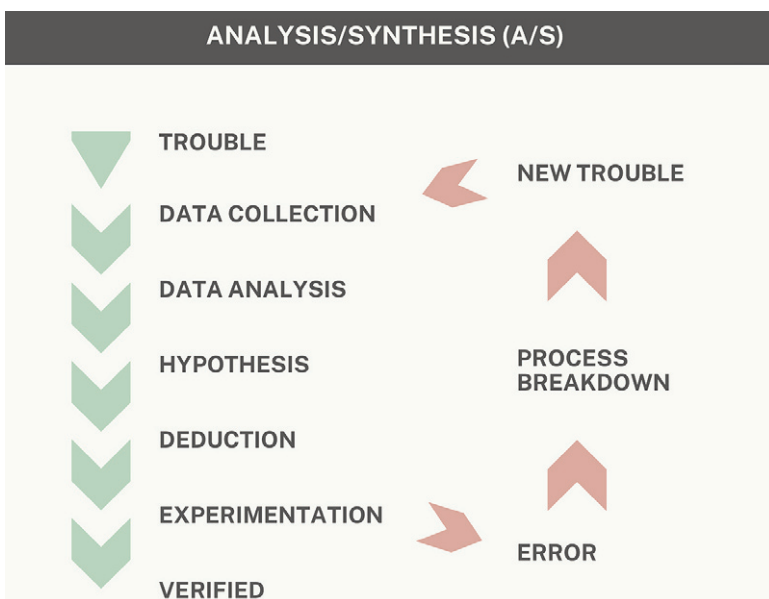


Fig. 3 | Analysis / Synthesis scheme (credit: the Authors, 2024).

Fig. 4 | Conjecture / Analysis scheme (credit: the Authors, 2024).

comes. In Design, this requires designers to be able to exploit error as an opportunity to innovate; in fact, its management is crucial to tackling complex problems and developing solutions that evolve with the context (Dominici, 2018). This ability is closely linked to Design's hybrid and undisciplined nature (Aurichio, 2018), which makes it well-suited to managing complexity.

As Vincenzo Cristallo (2017) notes, new generations often struggle to recognise effort and error as fundamental elements of the growth process and creativity. There is a tendency to privilege the reliance on intuition and flair, neglecting the importance of constant work and acceptance of mistakes as an integral part of the path to achieving meaningful results. However, this flexible and hybrid nature of Design, capable of integrating and adapting to multiple disciplines and approaches, makes it a powerful tool for addressing contemporary challenges. Cristallo (2017) also emphasises that fatigue and mistakes represent the true creative asset for anyone aspiring to an autonomous design practice aware of its expressive language. In this context, he criticises the widespread 'happy ending theory', which idealises the design process as a linear path devoid of difficulties.

From this perspective, this paper aims to present some theories on complexity that, for various reasons, are functional in developing a new vision of error. Specifically, the aim is to investigate how the world of Design, whether related to education or production, can use mistakes in the design process, referring to theories widely discussed in engineering, psychology, philosophy, learning sciences, etc.

After an initial state-of-the-art analysis of the three key concepts of this paper (error, complexity, design), two different areas in which the idea of failure and the recognition of errors can be seen as having potential for training and the profession are analysed. Starting from the definition of error as a tool intrinsically linked to the construction of knowledge, capable of promoting innovation and change (Norman, 2013), some key points are defined that are useful for systematising the documentation and understanding of errors within the design process (Fig. 1). By looking at these issues from a new point of view, we want to invite the scientific community to reflect on

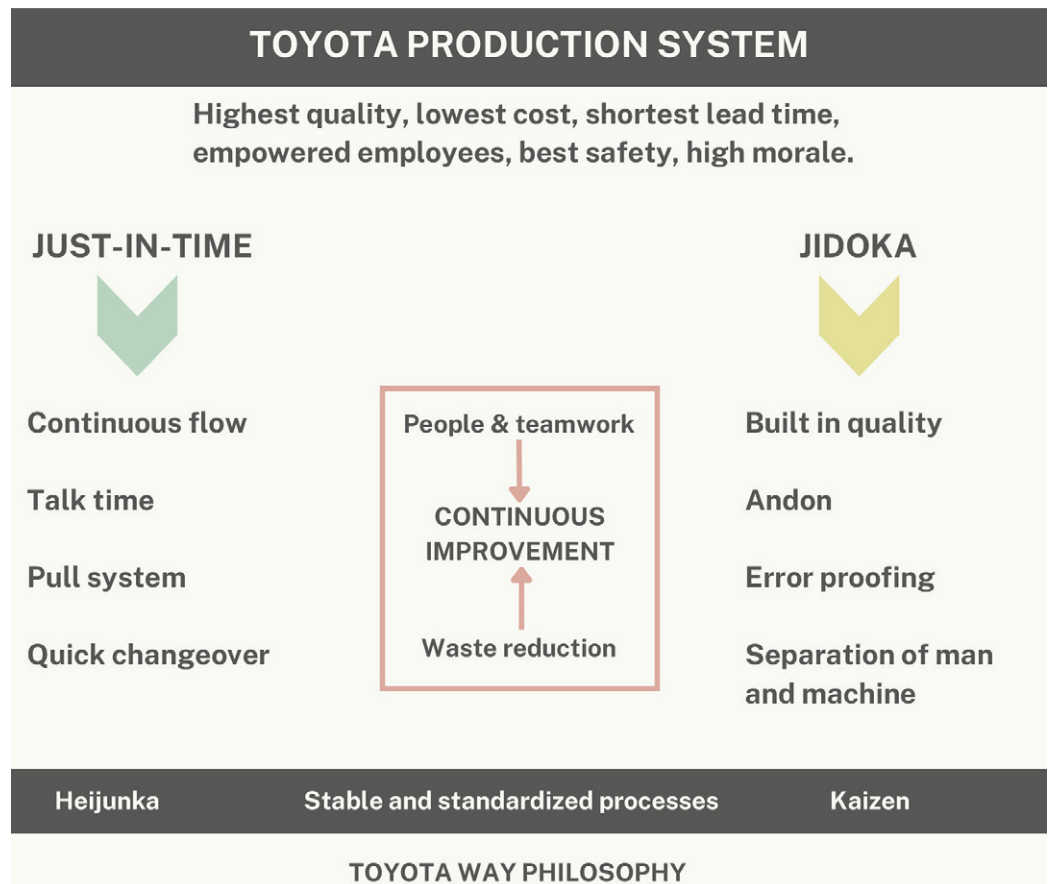
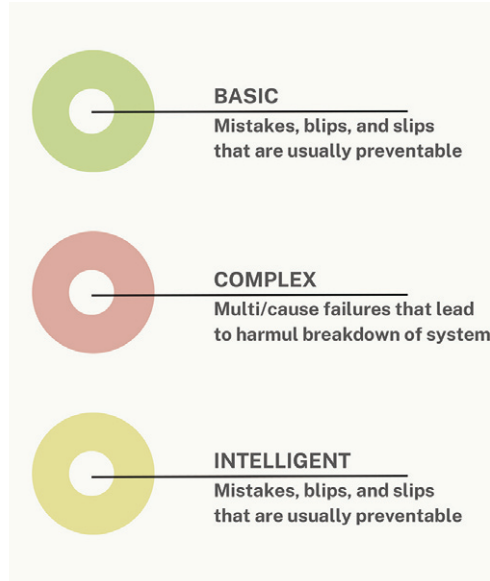


Fig. 5 | Amy C. Edmondson's Scheme of three types of failure (credit: the Authors, 2024).

Fig. 6 | Toyota's Andon system consists of a cable positioned above the production line; when pulled, it creates a signal indicating that a problem has occurred (credit: the Authors, 2024).

Fig. 7 | Toyota production system (credit: the Authors, 2024).

Fig. 8 | 'Psychological safety' team visualisation (credits: the Authors, 2024).



JOHANNES HAUSHOFER CV OF FAILURES

Most of what I try fails, but these failures are often invisible, while the successes are visible. I have noticed that this sometimes gives others the impression that most things work out for me. As a result, they are more likely to attribute their own failures to themselves, rather than the fact that the world is stochastic, applications are crapshoots, and selection committees and referees have bad days. This CV of Failures is an attempt to balance the record and provide some perspective.

This idea is not mine, but due to a wonderful article in Nature by **Melanie I. Stefan**, who is a Lecturer in the School of Biomedical Sciences at the University of Edinburgh. You can find her original article here, her website here, her publications here, and follow her on Twitter under @MelanieIStefan.

I am also not the first academic to post their CV of failures. Earlier examples are here, here, here, and here.

This CV is unlikely to be complete – it was written from memory and probably omits a lot of stuff. So if it's shorter than yours, it's likely because you have better memory, or because you're better at trying things than me.

Degree programs I did not get into

- 2008 PhD Program in Economics, Stockholm School of Economics
- Graduate Course in Medicine, Cambridge University
- 2003 Graduate Course in Medicine, UCL
- PhD Program in Psychology, Harvard University
- PhD Program in Neuroscience and Psychology, Stanford University
- 1999 BA in International Relations, London School of Economics

Academic positions and fellowships I did not get

- Harvard Kennedy School Assistant Professorship
- UC Berkeley Agricultural and Resource Economics Assistant Professorship
- MIT Brain & Cognitive Sciences Assistant Professorship
- 2014 This list is restricted to institutions where I had campus visits; the list of places where I had first-round interviews but wasn't invited for a campus visit, and where I wasn't invited to interview in the first place, is much longer and I will write it up when I get a chance. The list also shrouds the fact that I didn't apply to most of the top economics departments (Harvard, MIT, Yale, Stanford, Princeton, Chicago, Berkeley, LSE) because one of my advisors felt they could not write a strong letter for them.

Awards and scholarships I did not get

- 2011 Swiss Network for International Studies PhD Award
- Society of Fellows, Harvard University
- 2010 Society in Science Scholarship
- University of Zurich Research Scholarship
- 2009 Human Frontiers Fellowship
- 2007 Mind-Brain-Behavior Award (Harvard University)
- 2006 Mind-Brain-Behavior Award (Harvard University)
- 2003 Fulbright Scholarship
- Haniel Scholarship (German National Merit Foundation)

Paper rejections from academic journals

- 2016 QJE, Experimental Economics
- 2015 AER x 2
- 2013 PNAS, Experimental Economics, Science, Neuron
- 2009 AER
- 2008 Science, Neuron, Nature Neuroscience, Journal of Neuroscience, Journal of Vision

Research funding I did not get

- 2016 MQ Mental Health Research Grant
- 2015 Russell Sage Research Grant (two separate ones)
- 2013 National Science Foundation Research Grant
- University of Zurich Research Grant
- 2010 Swiss National Science Foundation Research Grant
- Financial Innovation Grant
- 2009 International Labor Organization Research Grant
- 3ie Research Grant

Meta failures

- 2016 This darn CV of Failures has received way more attention than my entire body of academic work

Tab. 1 | Johannes Haushofer's 'CV of failures', Goh Keng Swee Professor of Economics at the National University of Singapore (credit: Haushofer, 2020).

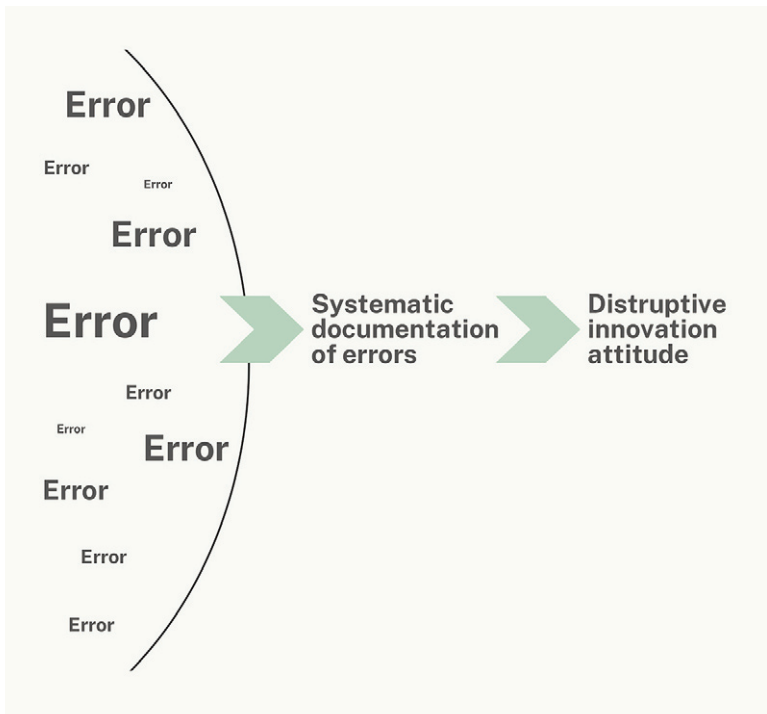


Fig. 9 | Disruptive innovation theory visualisation (credits: the Authors, 2024).

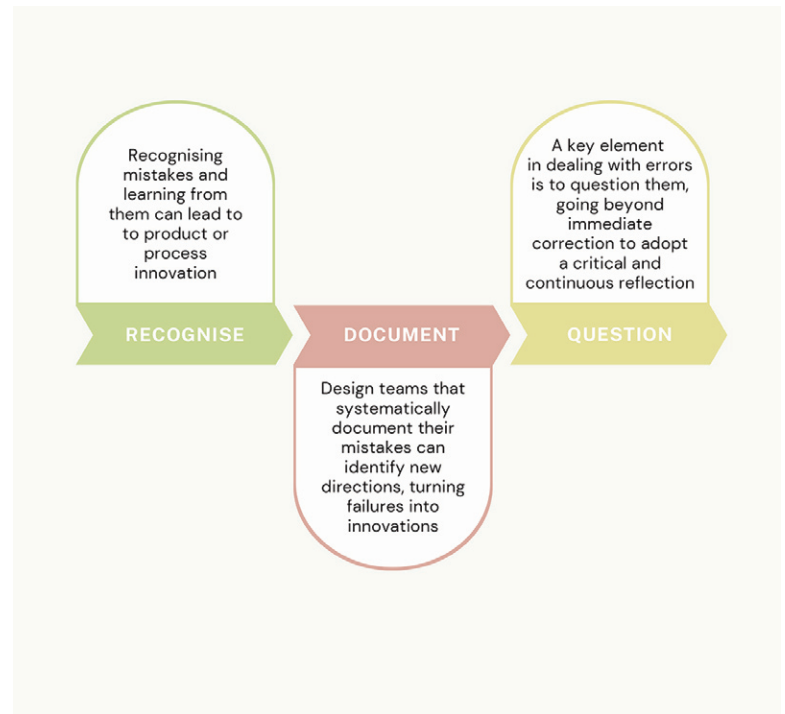


Fig. 10 | The design process error management proposal (credit: the Authors, 2024).

the power of error as an element of innovation, highlighting its unexpressed potential.

State of the art: error, complexity and design | Defined as the interconnection of multiple elements forming a plural entity, complexity is an inherent characteristic of the contemporary world, accentuated by issues of global significance such as climate change and socio-economic pressures. The relationship between Complexity and Error has been widely explored in many disciplines: in engineering, for example, studies on ‘chaos theory’ (Lorenz, 1963; Fig. 2) have highlighted how minor initial errors can be amplified within complex systems, leading to unpredictable outcomes. This has led to an increased focus on error management as an integral part of designing sturdy and resilient systems.

Complexity and error interact with each other, as in the case of the learning process. In cognitive psychology, the ‘cognitive load theory’ developed by John Sweller (1988) provided important insights into how this occurs. Sweller pointed out that excessive cognitive load during complex problem-solving can hinder learning and the development of new mental patterns. Rigid problem-solving strategies – such as half-end analysis and overloaded working memory – limit the space for new concepts. Effective management of cognitive load facilitates learning and encourages the exploration of new ideas. Such an approach also has direct implications for Design, where the balance between complexity and simplicity becomes crucial to facilitate learning and innovation (Maeda, 2006).

Furthermore, the entire scientific approach and the researcher’s profession are based on different strategies for dealing with errors (Di Giovanni and Tiberio, 2022). Bamford (2002) describes two primary design methodologies: ‘analysis / synthesis’ and ‘conjecture / analysis’. Analysis / synthesis adopts a traditional, systematic and rigorous scientific approach aimed at minimising error and uncertainty through a structured process rooted in scientific method-

ology, where meticulous data collection and analysis are central to ensuring that each step in the design process is thoroughly verified.

This view reflects the tradition of rational and deductive thinking, where complexity is addressed through the systematic decomposition of problems and the application of linear and predictable solutions (Fig. 3). Conjecture / analysis, on the other hand, is based on exploration and innovation, starting from complex and ill-defined problems. Following the philosophy of Karl Popper (2009), this approach is based on bold hypotheses that need to be subjected to rigorous empirical testing to be falsified and improved: Popper, known for his theory of falsifiability, emphasises the importance of assumptions that can be challenged to foster scientific progress (Dalla Pozza and Negro, 2017; Fig. 4).

These two approaches highlight how Design can use both inductive and deductive methodologies. Analysis / synthesis is predominantly deductive, relying on general principles to arrive at specific conclusions, while conjecture / analysis is more inductive, building new theories and solutions through observation and practical experience (Fagnoni, 2017). This ability to oscillate between scientific rigour and intuitive creativity reflects the inherent complexity of the design process, where error becomes an integral and necessary part of the creative journey.

The need for flexibility and a more open approach is reflected in the ‘telos’ of Design, as discussed by Stefano Maffei (2022), which pushes towards a vision not limited to the mere resolution of immediate problems but oriented towards systemic and social transformation. This implies a shift from a design focused on rigid and specific goals to a more holistic and adaptive process, capable of integrating the complexities of the human context in which it operates, a central theme of ‘designing for the real world’, in which Papanek (2022) introduces the ‘right to failure’ for designers, stating that failure is not a flaw but a necessary component of innovation. The ‘right to fail’ is not just a concession to the fact that mis-

takes can happen but a real defence of the necessity of failure to achieve meaningful Design (Verganti, 2009). Indeed, complex systems require an approach capable of integrating analysis and synthesis, addressing problems not as isolated entities but as part of a more extensive, interconnected system. As a social technology, Francesco Zurlo (2019) describes Design Thinking as an effective response to this challenge, allowing designers to navigate multiple variables and uncertainties through framing and reframing processes. However, during the project, reframing becomes essential to adapt to new information, insights or changes in context, redefining the problem and modifying the approach to ensure the relevance and effectiveness of the outcome.

Towards a pedagogy of error | Until around 1970, traditional pedagogy was built around two fundamental axes: teaching and evaluation (Binanti, 2001). According to this approach, error was perceived as something negative, whereas following the significant protests of the 1970s that revolutionised many approaches to knowledge, an authentic ‘pedagogy of error’ began to be theorised, understood as a form of education that is attentive to the pupil’s active and participatory construction of self and knowledge through trial and error.

In more recent times, philosopher Massimo Donà (2012) explained how making mistakes is an opportunity for growth; in fact, the Error is there to remind us of the inexhaustible complexity of reality: according to Donà, we need to grasp the positive aspects even in critical situations, i.e. when making mistakes, it allows us to activate resources and capabilities that would otherwise not emerge. Mistakes make us see things from another point of view and help us change or refine our ideas. After all, the history of human knowledge is made up of mistakes that have been corrected over time.

According to the philosophical concept of Fallibilism, all living beings proceed by trial and error in science as in life. According to Popper (2009), knowl-

edge development takes place by trying to solve problems and eliminating less adequate solutions. The difference between human and animal knowledge lies not so much in the errors. Still, in terms of the ability to deal with them critically and constructively, whereas an amoeba can die because of its mistakes, human could progress thanks to them.

This is a vast and complex topic: what is the role of error in design education in a context where designers are called upon to design correctly? Error is an integral part of design, especially when learning the profession. Pretending that error does not exist except to be corrected is a wrong approach that great designers and pedagogues, including Bruno Munari, Gianni Rodari, Donald Norman, Loris Malaguzzi and Bruno Ciari, understood very well. They proposed a pedagogy that does not justify error but considers it a fundamental aspect of construction and design growth. In this sense, working with error does not mean opposing error to correction but represents an opportunity to shift the point of view.

Error pedagogy, therefore, proposes to deal with it as a valuable stimulus, not only for the person who made it but for the whole group (Benes et alii, 2017). The error becomes a true gateway to knowledge within constructivist, exploratory and participatory education frameworks. While the potential for error has been understood in some more ethical educational contexts, many companies believe that making errors in developing products and services is always wrong. There is also a frequent belief that learning from one's mistakes is relatively simple. To do so, one must reflect on what caused the error and avoid repeating it in the future.

These widely held beliefs are misleading: first, failure is not always harmful; sometimes, it is inevitable and sometimes even positive; second, learning from mistakes is far from easy. The activities required to detect and analyse failures effectively are rare in most companies, as is the development of specific learning strategies. Companies need new and better ways to move beyond old cultural beliefs and embrace the lessons of error.

Coping with error in the professional context: method, ongoing adaptation and psychological safety

According to Amy C. Edmondson (2023), a researcher known for her work on organisational psychology and error management, errors fall into three broad categories: 'preventable', 'complexity-related' and 'intelligent'. Those who fall into the first group can be considered 'negative' as they originate from inattention or inability when large volume or routine operations occur. Particular methodologies such as checklists, which are widely used in the medical field, have been developed (Fig. 5). However, several years earlier, surgeon Atul Gawande (2010) highlighted the importance of extending the use of checklists in complex contexts such as engineering and architecture where, as the complexity of procedures increases, so does the risk of error, even for experienced professionals. Checklists offer a simple and effective method to manage this complexity.

Another great reference in error management is the revolutionary Toyota Production System (TPS), the ongoing learning system integrated from minor errors, which has had a significant impact in the automotive industry and many other sectors, helping to revolutionise production and management practices worldwide. The TPS model (Figg. 6, 7) aims to achieve its objectives through an industrial reorganisation in-

volving both the managerial aspect and the organisational structure, enhancing the human contribution to intelligence and responsibility. This error management system has enabled Toyota to become the eleventh-largest company in the world in terms of market capitalisation and turnover and the largest car manufacturer in 2024 (Murphy and Schifrin, 2024).

Also, according to Amy C. Edmondson's (2023) error theories, some errors are unavoidable because they are linked to the complexity and uncertainty of work, arising from unique combinations of needs, people and problems that may never have occurred before. They require an excellent capacity for perpetual adaptation. Learning from mistakes in the design process is particularly important for the designer in a resilient profession; also crucial, according to Edmondson, is the 'psychological safety team' (Fig. 8), which is essential to foster an environment where members can share ideas, ask questions and, most importantly, admit mistakes without fear of repercussions.

Another interesting type of error is represented by 'intelligent failures'. Theorised by Prof. Sim Sitkin (Rousseau et alii, 1998), a researcher known for his studies that already in the early 1990s related error, learning and organisational performance, emphasising how effective error management can lead to more favourable results in the long term. However, the ability to learn depends on the organisation's reaction to errors. It is crucial to develop proactive models that anticipate and manage them rather than just responding to the unexpected. Sitkin introduces the concept of 'intelligent failures', which occur during experimentation and innovation when there are no known answers because unique and non-repeatable situations are faced.

Erring is a common act in many highly innovative contexts, and it is a particularly interesting skill for the designer. Therefore, everyone must accept that error is not only regressive but can also be progressive and valuable.

Recognising the fertile error | Human existence is intrinsically linked to errors. It is not just the mistakes we make more or less consciously; the entire evolutionary process of life is deeply connected to error (Martin, 2024). However, we have a problematic relationship with it; we tend to hide or stigmatise it, ignoring its potential to become a new beginning, a fertile ground for a new outlook and a moment of growth. In this regard, Karl Popper (1975) states that avoiding mistakes is a petty ideal: if we do not dare to tackle problems that are so difficult that error is almost inevitable, there will then be no development of knowledge. Therefore, since no one can avoid making mistakes, it is essential to learn from them. How can the concept of error be deliberately incorporated into the design process?

The first aspect we want to focus on is the need for a culture of error, which opposes the success narrative that makes mistakes invisible to ourselves and others. In the world of research and education, failures come in many forms, occur for many reasons and justify many solutions; however, none of these are discussed or presented at industry conferences. For this reason, Melanie Stefan (2010) proposes a 'CV of failures', in which academic failures, unsuccessful awards or lost scholarships are showcased (Tab. 1). The aim is not to stigmatise failures but to train new Designers to conceive error as an integral part of growth. The philosopher Antiseri (2017) also states that to facilitate the progress of science, it is neces-

sary to find errors because if we can recognise them, we highlight the need to question existing theories and overcome and correct the errors themselves.

In design, errors can be seen as feedback that triggers the learning cycle. This allows designers to reflect on which aspects of the process have failed, build improved mental models, and experiment with new solutions that can more adequately respond to design challenges. Shifting to the cognitivist perspective, it is believed that documenting mistakes and implemented solutions allows the construction of a knowledge repository that helps individual designers improve and fosters long-term team and organisational growth.

The Toyota case highlights how keeping track of errors and learning from them can lead to product or process innovation. It is necessary to enhance the approach that recognises 'fertile' error, favouring the implementation of open-loop systems that can document, examine and learn from them. Design methodologies, such as Design Thinking, per se, include iterative steps that embrace error as a creative possibility. However, it is necessary to have a record of failures and implemented solutions so that it becomes a learning tool for future designers and other team members.

As complexity theories applied to design have shown (Simon, 1996), error is inevitable, as the system dynamics may be unpredictable and not fully manageable through initial planning. Errors become necessary signals for identifying weaknesses, anomalies or emerging problems. Not losing sight of these signals is crucial for proactive intervention. For example, in the design of complex technological products, an error occurring in one phase can have cascading repercussions on other system elements; the accurate documentation of these errors makes it possible to prevent them from recurring, facilitating the preventive correction of future problems.

In the literature on innovation, such as that proposed by Joseph L. Bower and Clayton M. Christensen (1995) in their theory of 'disruptive innovation' (Fig. 9), initial mistakes and failures are often signs of innovations that challenge the status quo. Keeping track of mistakes can reveal opportunities for disruptive innovations where traditional solutions continue to fail. Design teams that systematically document their mistakes can identify new directions not previously considered, turning failures into a springboard for breakthrough innovations.

A key element in error management is the ability to question errors, going beyond simple, immediate correction to adopt a critical and continuous reflection on the assumptions that drive the design process. The theory of Double-Loop Learning, developed by organisational theorists Chris Argyris and Donald Schön (1998), emphasises the importance of reflecting on the root causes of errors, questioning beliefs and mental models underlying decisions. In Design, this approach is particularly effective in dealing with complexity and uncertainty, encouraging a review of technical errors and the assumptions implicit in the design process. The advantage for Designers is the ability to approach complex situations with greater flexibility and openness, facilitating the creation of more creative solutions relevant to emerging user needs.

Conclusions | Errors are often seen as undesirable outcomes, indicating failure or lack of competence. However, in the complexity of the Design context, er-

rors can be a valuable resource that offers innovation, knowledge advancement and growth opportunities. Tracking errors and implementing solutions in Design processes is a quality control practice and a key strategy to promote innovation and ongoing learning.

The theories of experiential learning (Kolb, 1984), complexity and organisational learning all support the thesis that error can be exploited as a crucial resource for continuous improvement. By accurately documenting errors and reflecting on their solutions, designers can identify patterns, challenge their working assumptions and generate more effective and relevant innovations. Ultimately, recognising and managing error is necessary and can be a fertile ground for creativity and growth (Fig. 10).

Openness towards the culture of failure on the part of trainers or companies has implications in several areas. At the cultural level, it can lead to a more tolerant society in which failure is not stigmatised but

understood as a step towards success; likewise, it can stimulate adaptability and ongoing learning, fundamental qualities in an ever-changing world. At the corporate level, this approach fosters innovation and creativity, as one feels free to experiment; furthermore, knowing that mistakes are accepted and openly discussed can increase employee involvement and motivation. However, this approach has limitations in its application to the real world, not least because of the complexity in which we live. When it is not balanced, the risk is that the error culture leads to a passive acceptance of failure, which does not produce a productivity improvement but generates frustration. While in some disciplines, the scientific literature has extensively analysed how to approach errors and learn from them, the design field has not yet formalised models of failure management. Despite interest in this topic proliferating, thanks to its centrality within industry conferences, little or noth-

ing of this approach to error has been implemented. The Designer proceeds by trial and error autonomously and spontaneously.

It is essential to strike a balance between accepting mistakes as part of the learning process and the need to maintain high standards and accountability. A balanced approach can maximise benefits while minimising risks. Accepting error as a fundamental element of project development introduces significant challenges, especially in profit-oriented contexts. Crucial questions remain: how can errors be dealt with constructively while avoiding promoting a permissive attitude? Furthermore, how is it possible to ensure that people, if they are not blamed for their mistakes, continue to give their best effort and strive for improvement in the future?

Acknowledgements

This paper is the result of a reflection shared by the authors. However, the introductory paragraph and ‘State of the art: error, complexity and design’ are attributed to X. Ferrari Tumay, the paragraph ‘Towards a pedagogy of error’ and ‘Coping with error in the professional context: method, ongoing adaptation and psychological safety’ to C. Porfirione; the paragraphs ‘Recognising the fertile error’ and ‘Conclusions’ are attributed to I. Leggiero.

References

Antiseri, D. (2017), “Scienza senza certezze”, in *Ithaca* | *Viaggio nella Scienza*, vol. IX, pp. 21-32. [Online] Available at: siba-ese.unisalento.it/files/ithaca/Ithaca_IX_2017.pdf [Accessed 27 September 2024].

Argyris, C. and Schön, D. A. (1998), *Apprendimento organizzativo – Teoria, metodo e pratiche*, Edizioni Guerini, Milano. [Online] Available at: guerini.it/index.php/prodotto/apprendimento-organizzativo/ [Accessed 27 September 2024].

Auricchio, V. (2018), “Agilità didattica – Luisa Collina sulla evoluzione delle scuole di design | Agile Education – Luisa Collina on the evolution of Design Schools”, in *Agathón* | *International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 3, pp. 213-218. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/3282018 [Accessed 27 September 2024].

Bamford, G. (2002), “From analysis / synthesis to conjecture / analysis – A review of Karl Popper’s influence on design methodology in architecture”, in *Design Studies*, vol. 23, issue 3, pp. 245-261. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/S0142-694X\(01\)00037-0](https://doi.org/10.1016/S0142-694X(01)00037-0) [Accessed 27 September 2024].

Benes, R., Cellie, D., Czerwinsky, L. D. and Kopciowski, J. (2017), *Per una pedagogia dell’errore – Verso una scuola amica*, Asterios Editore, Trieste.

Binanti, L. (2001), *Pedagogia, epistemologia e didattica dell’errore*, Rubbettino Editore, Soveria Mannelli.

Bower, J. L. and Christensen, C. M. (1995), “Disruptive Technologies – Catching the Wave”, in *Harvard Business Review*, vol. 73, issue 1, pp. 43-53.

Cristallo, V. (2017), “Ricerca, sperimentazione e responsabilità del progetto”, in Flora, N. and Iarusso, F. (eds), *Progetti mobili*, LetteraVentidue, Siracusa, pp. 45-56.

Dalla Pozza, C. and Negro, A. (2017), *Come distinguere scienza e non-scienza – Verificabilità, falsificabilità e conferme bayesiana*, Carocci editore, Roma.

Di Giovanni, E. and Tiberio, M. (2022), “Per un’antropologia del design”, in *Narrare i Gruppi*, vol. 17, issue 1, pp. 110-125. [Online] Available at: iris.unipa.it/handle/10447/563320 [Accessed 27 September 2024].

Dominici, P. (2018), “The Hypertechnological Civiliza-

tion and the Urgency of a Systemic Approach to Complexity – A New Humanism for the Hypercomplex Society”, in Floriani Neto, A. B., Caceres Nieto, E., Chiodi, G. and Petrocchia, S. (eds), *Governing turbulence, risk and opportunities in the complexity age*, Cambridge Scholars Publishing, Newcastle, pp. 22-44. [Online] Available at: cambridgescholars.com/resources/pdfs/978-1-5275-0756-2-sample.pdf [Accessed 27 September 2024].

Donà, M. (2012), *Filosofia dell’errore – Le forme dell’inciampo*, Bompiani, Milano.

Edmondson, A. C. (2023), *Right kind of wrong – The science of failing well*, Simon Element, New York.

Fagnoni, R. (2017), “Practicescape – Orizzonti della pratica nella ricerca in design”, in Riccini, R. (ed.), *FRID 2017 – Sul Metodo / Sui Metodi – Esplorazioni per le identità del design*, Mimesis, Milano, pp. 75-82.

Gawande, A. (2010), *Checklist manifesto – How to get things right*, Penguin Books India, New Delhi.

Hofstadter, D. R. (1999), *Gödel, Escher, Bach – An eternal golden braid*, Basic Books, New York.

Kolb, D. A. (1984), *Experiential Learning – Experience as the source of learning and development*, Prentice-Hall, Hoboken.

Lorenz, E. N. (1963), “Deterministic Nonperiodic Flow”, in *Journal of the Atmospheric Sciences*, vol. 20, issue 2, pp. 130-141. [Online] Available at: [doi.org/10.1175/1520-0469\(1963\)020<0130:DNF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1963)020<0130:DNF>2.0.CO;2) [Accessed 27 September 2024].

Maeda, J. (2006) *The laws of simplicity – Design, technology, business, life*, The MIT Press, Cambridge (US).

Maffei, S. (2022), “Expanding the Galaxy – Designing More-than-Human Futures”, in *DIID* | *Disegno Industriale Industrial Design*, vol. 75, article 8, pp. 14-21. [Online] Available at: doi.org/10.30682/diid751a [Accessed 27 September 2024].

Martin, P. (2024), *Storie di errori memorabili*, Editori Laterza, Roma-Bari.

Murphy, A. and Schifrin, M. (2024), “The Global 2000”, in *Forbes*, newspaper online, 06/06/2024. [Online] Available at: forbes.com/lists/global2000/ [Accessed 27 September 2024].

Norman, D. A. (2013), *The design of everyday things*, Basic Books, New York.

Papanek, V. (2022), *Design per il mondo reale – Ecologia umana e cambiamento sociale* [or. ed. *Design for the real world – Human ecology and social change*, 1972], Quodlibet, Macerata.

Popper, K. R. (2009), *Congetture e confutazioni – Lo sviluppo della conoscenza scientifica*, Mulino, Bologna.

Popper, K. R. (1975), *Conoscenza oggettiva – Un punto di vista evoluzionistico*, Armando editore, Roma.

Reason, J. (2009), *Human error*, Cambridge University Press, Cambridge.

Rousseau, D. M., Sitkin, S. B., Burt, R. S. and Camerer, C. (1998), “Introduction to Special Topic Forum – Not so Different after All – A Cross-Discipline View of Trust”, in *The Academy of Management Review*, vol. 23, issue 3, pp. 393-404. [Online] Available at: jstor.org/stable/259285 [Accessed 27 September 2024].

Simon, H. A. (1996), *The sciences of the artificial*, MIT Press, Cambridge (US).

Stefan, M. (2010), “A CV of failures”, in *Nature*, vol. 468, p. 467. [Online] Available at: doi.org/10.1038/nj7322-467a [Accessed 27 September 2024].

Sweller, J. (1988), “Cognitive Load During Problem Solving – Effects on Learning”, in *Cognitive Science*, vol. 12, issue 2, pp. 257-285. [Online] Available at: doi.org/10.1207/s15516709cog1202_4 [Accessed 27 September 2024].

Verganti, R. (2009), *Design-Driven Innovation – Cambiare le regole della competizione innovando radicalmente il significato dei prodotti e dei servizi*, Etas, Milano.

Wiener, N. (2019), *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*, MIT Press, Cambridge (US). [Online] Available at: doi.org/10.7551/mitpress/11810.001.0001 [Accessed 27 September 2024].

Zurlo, F. (2019), “Designerly Way of Organizing – II Design dell’organizzazione creativa | Designerly Way of Organizing – The Design of creative organization”, in *Agathón* | *International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 5, pp. 11-20. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/522019 [Accessed 27 September 2024].