

Simulacri di Scienza

Critica metodologica dell'empirismo simulativo nella ricerca gestionale

Sulla vacuità epistemologica di ricerche proceduralmente legittime ma empiricamente infondate

Carlo Mancosu

Dicembre 2025

SOMMARIO

Questo saggio critico esamina un pattern metodologico pervasivo nella ricerca contemporanea in operations research e management science: la produzione di studi formalmente rigorosi che soddisfano le convenzioni procedurali pur mancando di autentico referente empirico. Utilizzando il paper di Badakhshan & Ball «Applying digital twins for inventory and cash management in supply chains under physical and financial disruptions» (International Journal of Production Research, 2023) come caso paradigmatico – non come outlier ma come esemplare di qualità medio-alta secondo gli standard del campo – argomentiamo che una porzione significativa della letteratura sottoposta a revisione tra pari opera attraverso quello che definiamo empirismo simulativo: una configurazione epistemologica in cui dati inventati, processati attraverso procedure statistiche legittime, generano risultati che pretendono applicabilità a una realtà che il modello non ha mai rappresentato.

La critica qui sviluppata non investe la simulazione come strumento di indagine teorica, ma la sua specifica degenerazione in surrogato dell'osservazione empirica. Identifichiamo inoltre un meccanismo di diluizione semantica per cui termini tecnici carichi di significato – come «digital twin» – vengono appropriati per designare pratiche che ne contraddicono la definizione, contribuendo al mascheramento liturgico della vacuità epistemica. La diagnosi qui proposta trova riscontro in evidenze quantitative consolidate: analisi sistematiche mostrano che solo il 14% degli studi di simulazione in operations management è empiricamente fondato, mentre la letteratura recente documenta una «epidemia di misconcezione» nell'uso della terminologia dei gemelli digitali. Proponiamo una tipologia degli usi della simulazione che permetta di distinguere impieghi epistemicamente legittimi da pratiche tautologiche, e avanziamo proposte operative immediatamente implementabili per una riforma dei criteri di valutazione della ricerca basata su simulazione.

I. Il paradosso della legittimità procedurale

La pubblicazione accademica contemporanea nelle scienze gestionali e nell'operations research opera attraverso un sistema di legittimazione basato primariamente sulla conformità procedurale piuttosto che sulla validità empirica. Un paper che esibisce i marcatori riconosciuti del rigore scientifico – rassegna della letteratura con tabelle tassonomiche, formalizzazione matematica, intervalli di confidenza, test d'ipotesi, sezione esplicita sulle limitazioni – acquisisce credibilità in larga misura indipendentemente dal fatto che la sua fondazione empirica corrisponda alla realtà osservabile.

Lo studio di Badakhshan e Ball esemplifica questa configurazione con inusuale chiarezza. Pubblicato su una rivista di primo livello del settore, classificata Q1 in Operations Research, il paper presenta tutti i marcatori convenzionali del rigore metodologico: simulazione a eventi discreti implementata in Python, 100 replicazioni per scenario, intervalli di confidenza al 95%, validazione incrociata 10-fold per

la componente di apprendimento automatico, riconoscimento esplicito delle limitazioni e suggerimenti per ricerche future. L'architettura formale è impeccabile.

Eppure l'intero edificio empirico poggia su fondamenta inventate. La catena di fornitura modellata — una struttura seriale a tre livelli comprendente produttore, grossista e rivenditore — non esiste da nessuna parte. La domanda cliente che segue una distribuzione uniforme [5.000, 10.000] non rappresenta alcun mercato osservato. La capacità produttiva settimanale di 35.000 unità non riflette alcun impianto manifatturiero reale. Il parametro di politica di acquisto a credito pari a 0,1 è stato selezionato, non misurato. Ogni elemento quantitativo che entra nell'analisi è un costrutto definito dai ricercatori.

Ciò crea una situazione epistemologica paradossale: uno studio riconosciuto come empiricamente valido dai meccanismi istituzionali che non contiene alcuna osservazione empirica della realtà esterna.

II. La diluizione semantica del «Digital Twin»

Prima di procedere all'analisi metodologica, occorre soffermarsi su un meccanismo di legittimazione che opera a livello linguistico: l'appropriazione di termini tecnici carichi di significato per designare pratiche che ne contraddicono la definizione.

Gli stessi autori, nella sezione dedicata alla revisione della letteratura, definiscono il «digital twin» di una catena di fornitura come «un modello digitale che rappresenta la rete fisica in tempo reale e fornisce visibilità da un capo all'altro». Le caratteristiche distintive vengono esplicitate: i gemelli digitali «sono aggiornati in tempo reale o quasi reale attraverso la connettività con la catena di fornitura reale, sistemi esterni e basi di dati» e «incorporano ottimizzazione e analisi dei dati nei modelli di simulazione». È questa connessione bidirezionale con il sistema fisico — il *twinning* — che distingue il gemello digitale dalla simulazione tradizionale.

Ma l'implementazione effettiva presentata nel paper contraddice radicalmente questa definizione. Ciò che viene sviluppato è una simulazione a eventi discreti che genera dati artificiali, successivamente processati da un algoritmo di apprendimento automatico (CART). Non esiste alcuna catena di fornitura reale a cui il modello sia connesso. Non c'è aggiornamento in tempo reale perché non c'è realtà da cui aggiornare. Non c'è visibilità da un capo all'altro perché non c'è sistema fisico da rendere visibile. I parametri — capacità di 35.000 unità settimanali, domanda uniforme [5.000, 10.000], politica creditizia 0,1 — sono selezioni arbitrarie dei ricercatori, non misurazioni di un sistema esistente.

In altre parole: manca il *twin*. Ciò che viene presentato è una simulazione parametrica con apprendimento automatico integrato — uno strumento legittimo di indagine teorica — etichettato con un termine che evoca connessione al reale precisamente per acquisire la legittimità epistemica che quella connessione conferirebbe.

Questa diluizione semantica non è incidentale; è parte integrante del meccanismo liturgico di legittimazione. Il termine «digital twin» porta con sé connotazioni di modernità tecnologica, di Industria 4.0, di trasformazione digitale. Applicarlo a una simulazione non connessa trasferisce queste connotazioni al lavoro, creando un'apparenza di innovazione e rilevanza pratica che l'analisi sostanziale non supporta. È un caso esemplare di quello che potremmo chiamare arbitraggio semantico: l'estrazione di valore simbolico attraverso l'appropriazione di termini il cui significato tecnico viene sistematicamente tradito.

La letteratura scientifica conferma che non si tratta di un'osservazione isolata. La tassonomia di Kritzinger e colleghi (2018), sviluppata presso il Fraunhofer Austria e la TU Wien, distingue rigorosamente tra Digital Model (nessuno scambio automatizzato di dati), Digital Shadow (flusso unidirezionale dal fisico al virtuale) e Digital Twin propriamente detto (flusso bidirezionale in tempo reale). Classificando 53 pubblicazioni, gli autori trovarono che la letteratura sui gemelli digitali autentici era «scarsa» — la maggior parte descriveva in realtà modelli digitali o ombre digitali erroneamente etichettati. Una pubblicazione del 2025 nel *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering* parla esplicitamente di «epidemia di misconcezione», raccomandando che il termine sia riservato «solo ai casi in cui esiste una vera controparte virtuale che mantiene comunicazione bidirezionale in tempo reale con il sistema fisico». Il paper di Badakhshan e Ball, nella tassonomia standard, è un Digital Model etichettato Digital Twin.

III. La simulazione e i suoi usi: una tipologia necessaria

Circoscriviamo ora con precisione il bersaglio della nostra critica. La simulazione computazionale costituisce uno strumento di indagine legittimo e potente, la cui storia nella scienza moderna — dai primi esperimenti di Monte Carlo al progetto Manhattan fino alle simulazioni climatiche contemporanee — testimonia contributi genuini alla conoscenza. La critica qui sviluppata non investe la simulazione in quanto tale, ma una sua specifica degenerazione epistemica.

Proponiamo una tipologia quadripartita degli usi della simulazione nella ricerca:

Simulazione Esplorativa-Teorica: Il modello viene impiegato per esplorare le conseguenze logiche di assunzioni teoriche, senza pretesa di corrispondenza con sistemi specifici. È l'equivalente computazionale dell'esperimento mentale. Il suo valore risiede nella chiarificazione concettuale: «se il mondo funzionasse secondo queste regole, quali dinamiche emergerebbero?» Questo uso è epistemicamente legittimo nella misura in cui mantiene esplicita la propria natura ipotetico-deduttiva e non avanza pretese empiriche.

Simulazione Calibrata: Il modello viene costruito a partire da parametri empiricamente osservati in sistemi reali. Le distribuzioni probabilistiche derivano da dati storici; le strutture riflettono topologie documentate; i comportamenti degli agenti sono inferiti da osservazioni. Il modello mantiene un ancoraggio — parziale ma verificabile — alla realtà che intende rappresentare.

Simulazione Validata Ex Post: Il modello, comunque costruito, viene sottoposto a test di corrispondenza con osservazioni indipendenti. Le predizioni generate vengono confrontate con dati successivi non utilizzati nella costruzione. L'eventuale discrepanza informa la revisione del modello. Questo uso incorpora la possibilità di falsificazione che caratterizza l'indagine empirica autentica.

Simulazione Puramente Generativa (Empirismo Simulativo): Il modello viene costruito su parametri arbitrari, genera dati che vengono trattati come osservazioni, e i risultati ottenuti vengono presentati come conoscenza del mondo senza alcun test di corrispondenza esterna. È questo quarto uso — e solo questo — che costituisce il bersaglio della presente critica.

Il paper di Badakhshan e Ball si colloca inequivocabilmente nella quarta categoria. Gli autori non calibrano il modello su una catena di fornitura osservata; non validano i risultati contro dati indipendenti; non mantengono la cautela epistemica appropriata alla simulazione esplorativa. Al contrario, presentano i risultati come contributi alla conoscenza empirica delle catene di fornitura, raccomandano

l'applicazione del quadro concettuale a contesti reali, e il sistema di revisione tra pari accoglie queste pretese senza obiezioni.

IV. Un caso paradigmatico, non un'Eccezione

Il lettore potrebbe obiettare che la critica, ancorché fondata, si appunti su un singolo caso – insufficiente a sostenere un'accusa di disfunzione sistemica. L'obiezione merita risposta diretta.

Il paper di Badakhshan e Ball non è stato selezionato perché particolarmente scadente. Al contrario: secondo gli standard prevalenti nel campo, rappresenta un contributo di qualità medio-alta. La pubblicazione su una rivista di primo livello classificata Q1 in Operations Research testimonia il superamento di un processo di revisione tra pari competitivo. Le 45 citazioni accumulate in meno di tre anni indicano riconoscimento da parte della comunità scientifica. La struttura metodologica – integrazione di simulazione e apprendimento automatico, scenari multipli di interruzione, analisi di sensitività – riflette le buone pratiche del campo.

Proprio qui risiede il valore diagnostico del caso: se un paper esemplare secondo gli standard disciplinari manifesta i difetti epistemici qui identificati, allora quei difetti non sono patologie individuali ma caratteristiche strutturali della produzione scientifica nel campo.

Un'analisi della Tabella 1 del paper stesso – che recensisce 25 studi di simulazione nel campo delle interruzioni delle catene di fornitura – rivela la pervasività del pattern. Le colonne «Case study» riportano sistematicamente: «General SC», «Automotive SC», «FMCG SC», «Beverage SC», «Perishable products SC» – etichette categoriali, non referenti empirici identificabili. Non un singolo studio tra quelli recensiti specifica una catena di fornitura concreta, con attori nominabili e dati transazionali documentati. La convergenza tra questa evidenza tassonomica e la prassi dei parametri assunti – tutti i valori chiave del modello (capacità, domanda, politica creditizia, tempi di consegna) rientrano nella categoria «scelti dai ricercatori» – conduce a un'inferenza che appare inevitabile: non è che manchino i dati per ancorare i modelli alla realtà; è che il campo ha costruito un formato di ricerca che rende i dati non necessari per ottenere credibilità.

La normalizzazione è completa: nessuno, nel processo di revisione tra pari, solleva l'obiezione che un modello non ancorato a osservazioni non possa generare conoscenza empirica. L'assenza stessa dell'obiezione testimonia quanto profondamente l'empirismo simulativo si sia radicato nelle pratiche disciplinari.

Se questo è problematico – e argomentiamo che lo sia – allora è problematica gran parte della letteratura dominante nel campo. La critica che avanziamo non è un'accusa circoscritta ma una diagnosi di disfunzione sistemica.

Questa diagnosi trova conferma quantitativa nell'analisi esaustiva di Shafer e Smunt pubblicata nel 2004 sul Journal of Operations Management. Gli autori esaminarono circa 600 studi di simulazione pubblicati su 20 riviste di operations management tra il 1970 e il 2000. Il risultato: solo 85 studi – circa il 14% – risultavano empiricamente fondati, definiti come rappresentazioni di situazioni reali specifiche o calibrati con dati del mondo reale. Il restante 86% operava su parametri inventati dai ricercatori. Evidenze successive suggeriscono che il pattern persista: una rassegna sistematica del 2025 sulla simulazione nelle catene di fornitura mediche trovò che solo il 32% degli studi riportava procedure di verifica e validazione, citando come ostacolo primario l'«insufficienza di dati dal sistema reale».

V. La liturgia della procedura scientifica

Il termine liturgia non è impiegato metaforicamente. La liturgia religiosa consiste in sequenze formalizzate di azioni che, attraverso la loro corretta esecuzione, si ritiene producano efficacia spirituale indipendentemente dagli stati soggettivi dei partecipanti. La procedura scientifica contemporanea opera analogamente: la corretta esecuzione dei passaggi metodologici — raccolta (o generazione) dei dati, analisi statistica, test d'ipotesi, revisione tra pari — si ritiene produca validità epistemica indipendentemente dalla relazione tra modello e realtà.

Badakhshan e Ball seguono questa liturgia con precisione:

L'Invocazione della Necessità: Gli autori invocano il «problema intrattabile» che risulterebbe dal considerare le «interazioni complesse tra un'ampia gamma di variabili in presenza di interruzioni nei flussi fisici e finanziari». Questa mossa retorica — standard nel campo — funziona per legittimare preventivamente qualsiasi semplificazione seguirà. L'affermazione di intrattabilità non viene mai dimostrata; viene asserita come giustificazione per la riduzione che consente alla ricerca di procedere.

Il Sacramento della Simulazione: La simulazione a eventi discreti viene presentata come «strumento ampiamente utilizzato» e metodologia «potente», con citazioni ad applicazioni precedenti che ne stabiliscono la legittimità attraverso successione apostolica. La simulazione non rappresenta una catena di fornitura specifica ma genera una «tipica catena di fornitura di beni di largo consumo» — un ideale platonico che esiste solo nell'immaginazione metodologica.

La Consacrazione dei Dati: La simulazione funziona come «generatore di esempi», producendo 10.000 settimane di dati successivamente processati da algoritmi di apprendimento automatico. Questi dati vengono trattati, a tutti gli effetti analitici, come equivalenti a osservazioni della realtà. La trasformazione è completa: numeri inventati diventano «evidenza empirica».

La Benedizione della Validazione: Lo studio riporta che i risultati sono stati «validati» attraverso 100 repliche e test statistici. Ma cosa, precisamente, viene validato? Solo la coerenza interna del modello con se stesso. I test t confermano che la pianificazione centralizzata riduce il ciclo di conversione della liquidità rispetto alla pianificazione decentralizzata all'interno del modello — un modello i cui parametri sono stati selezionati dai ricercatori per produrre dinamiche coerenti.

VI. La struttura tautologica: inferenza interna vs. pretese empiriche

Il difetto epistemologico fondamentale dell'empirismo simulativo è la tautologia — non in senso retorico ma in senso logico rigoroso. Tuttavia, per rendere l'argomento inattaccabile, occorre una distinzione precisa che prevenga obiezioni fuorvianti.

Un revisore quantitativo potrebbe controbattere: «Non si tratta di tautologia ma di analisi di sensitività su ipotesi; lo studio produce intuizioni condizionali legittime». Questa obiezione merita risposta diretta, perché coglie una verità parziale mentre manca il punto essenziale.

Distinguiamo due operazioni logicamente distinte:

Risultati condizionali (epistemicamente legittimi): «Dato il modello M con parametri P, se si verifica la condizione C, allora segue il risultato R». Questa è inferenza interna al modello. È ciò che qualsiasi simulazione, per quanto arbitraria, può legittimamente produrre. Nessuna obiezione.

Pretese empiriche (il bersaglio della critica): «Pertanto, nel mondo reale, i responsabili aziendali dovrebbero adottare la politica X». Questa è traslazione dal modello al mondo – un’inferenza che richiede giustificazione indipendente, precisamente la giustificazione che l’empirismo simulativo non fornisce.

Il problema non è l’inferenza interna; è la traslazione non giustificata dall’interno del modello al mondo. Badakhshan e Ball non si limitano a esplorare le conseguenze delle proprie assunzioni; avanzano raccomandazioni operative nella sezione «Implicazioni gestionali» e affermano che il quadro concettuale può essere applicato ad altri contesti. Ma è proprio in questa sezione che gli autori rivelano, implicitamente, l’assenza del referente empirico. Scrivono testualmente: «The first step for practitioners wishing to minimise the impact of disruptions [...] would be to replicate the known real-world SC system in a controllable environment, e.g. through a simulation model». Questa formulazione concede ciò che la nostra critica sostiene: lo studio stesso non ha modellato alcun sistema del mondo reale. Il «primo passo» che i professionisti dovrebbero compiere è precisamente ciò che gli autori non hanno compiuto.

La tautologia risiede precisamente qui: i ricercatori definiscono un mondo (struttura della catena, comportamento degli agenti, distribuzioni probabilistiche, metriche di valutazione), «scoprono» che certe politiche performano meglio di altre in quel mondo, e presentano questa scoperta come conoscenza trasferibile al mondo reale. Ma la scoperta era già contenuta nelle premesse. L’elaborazione computazionale – 10.000 settimane simulate, algoritmi di apprendimento automatico, test statistici – non aggiunge contenuto informativo; rende solo esplicito ciò che era implicito nella costruzione del modello.

VII. Il referente assente

La scienza empirica, nella sua formulazione classica, comporta osservazione dei fenomeni, formulazione di ipotesi, derivazione di predizioni e test contro ulteriori osservazioni. L’elemento cruciale è il referente – la realtà esterna a cui le affermazioni teoriche corrispondono e contro cui possono essere valutate.

L’empirismo simulativo elimina il referente mantenendo l’apparato formale dell’indagine empirica. I «dati» analizzati non sono osservazioni ma output di processi computazionali. La «validazione» eseguita non testa la corrispondenza con la realtà ma la coerenza interna. I «risultati» riportati descrivono comportamenti di costrutti matematici, non di sistemi fisici o economici.

L’assurdità analogica è istruttiva: si immagina uno studio che afferma di far progredire la conoscenza delle dinamiche delle partite di calcio simulando due giocatori che si passano una palla immaginaria, senza stadio, senza avversari, senza meteo, senza psicologia della folla – per poi affermare risultati generalizzabili a partite reali perché la simulazione ha seguito «procedure metodologiche standard».

VIII. Ermeneutica gadameriana e la chiusura del modello

Il filosofo Hans-Georg Gadamer ha articolato, in *Verità e Metodo*, una comprensione dell’interpretazione come procedente necessariamente da pre-comprensioni che vengono poi rischiate

e potenzialmente trasformate attraverso l'incontro con la cosa stessa. Il «circolo ermeneutico» non è vizioso perché si apre continuamente alla cosa stessa, permettendo alle pre-comprensioni di essere sfidate e riviste.

L'empirismo simulativo preclude questa apertura. Il modello incorpora le pre-comprensioni dei ricercatori – sulla struttura della catena di fornitura, sul comportamento degli agenti, sulle variabili rilevanti – ma queste pre-comprensioni non vengono mai esposte alla sfida della realtà esterna. Il modello interroga solo se stesso. Dati generati internamente non possono contraddire assunzioni incorporate nel processo generativo. Il circolo si chiude.

Questa chiusura spiega la peculiare irrefutabilità dei risultati basati su simulazione. Non si può indicare evidenza empirica che contraddica i risultati di Badakhshan e Ball perché i risultati pertengono a un mondo che esiste solo computazionalmente. Lo studio è immune alla falsificazione empirica precisamente perché non fa affermazioni empiriche – nonostante appaia, attraverso il suo apparato formale, costituire ricerca empirica.

IX. La produzione istituzionale di pseudo-conoscenza

La persistenza dell'empirismo simulativo riflette caratteristiche strutturali della produzione accademica contemporanea piuttosto che fallimenti individuali di rigore. Il sistema di revisione tra pari valuta la conformità procedurale più facilmente della validità empirica, per la semplice ragione che la conformità procedurale è valutabile dal paper stesso mentre la validità empirica richiede indagine esterna.

Un revisore può verificare che gli intervalli di confidenza siano calcolati correttamente, che la rassegna della letteratura sia completa, che le limitazioni siano riconosciute. Un revisore non può facilmente verificare che un modello corrisponda alla realtà – particolarmente quando il modello rappresenta un sistema «tipico» piuttosto che specifico. L'asimmetria favorisce sistematicamente la ricerca formalmente corretta ma empiricamente vacua.

Le metriche di pubblicazione rinforzano questa tendenza. Paper che usano metodologie consolidate su problemi trattabili (perché inventati) producono risultati puliti adatti a riviste di prestigio. Ricerche che si confrontano con la realtà empirica disordinata – con limitazioni dei dati, errori di misurazione, variabili confondenti, soggetti di ricerca non cooperativi – producono risultati ambigui meno suscettibili di presentazione nitida.

Il risultato è una letteratura che si cita reciprocamente verso la legittimità. Badakhshan e Ball citano studi di simulazione precedenti sulle interruzioni delle catene di fornitura; ricercatori futuri citeranno Badakhshan e Ball. La rete di citazioni crea un'apparenza di conoscenza cumulativa mentre la domanda fondamentale – questi modelli ci dicono qualcosa sulle catene di fornitura reali? – rimane sistematicamente non affrontata.

Fin qui abbiamo trattato l'empirismo simulativo come un problema di validità della conoscenza. Resta aperta una domanda ulteriore: cosa accade quando una forma di pseudo-conoscenza diventa criterio legittimo di azione?

X. La riscrittura del mondo: una congettura sulla performatività

Le sezioni precedenti hanno documentato la vacuità epistemica dell'empirismo simulativo: modelli costruiti su premesse arbitrarie che generano pseudo-conoscenza attraverso circolarità tautologica, legittimati da procedure formali che mascherano l'assenza di referente empirico. In questa sezione proponiamo un'ipotesi di secondo ordine: quando tali modelli vengono adottati come buone pratiche e quadri concettuali validati, essi non si limitano a fallire epistemicamente — diventano dispositivi performativi di riconfigurazione della realtà.

Avanziamo qui una congettura argomentata, non un'asserzione empirica: che i modelli legittimati dall'empirismo simulativo non si limitino a non descrivere il mondo, ma contribuiscano attivamente a riscriverlo.

Il punto di innesco di questa congettura è precisamente la sezione «Implicazioni gestionali» — il passaggio cruciale in cui i risultati condizionali interni al modello vengono tradotti in raccomandazioni operative per il mondo reale. Quando gli autori prescrivono che i professionisti dovrebbero «replicare il noto sistema del mondo reale in un ambiente controllabile», non stanno semplicemente suggerendo un metodo neutro: stanno indicando come preconditione del funzionamento del loro quadro concettuale una riconfigurazione del sistema reale affinché assomigli alle assunzioni del modello.

Ogni dispositivo tecnico, per funzionare, richiede un ambiente compatibile con il proprio funzionamento. Questa tesi, apparentemente banale, contiene implicazioni che meritano di essere estratte con cura. Il dispositivo non si limita ad attraversare l'ambiente che trova — lo riscrive secondo le proprie esigenze operative. La standardizzazione non è dunque un effetto collaterale dell'automazione, né una scelta politica tra altre possibili: è la sua condizione trascendentale di possibilità.

Se questa logica si estende ai modelli gestionali legittimati dall'empirismo simulativo, il circuito ipotizzato sarebbe il seguente:

Si costruisce un modello su premesse arbitrarie (catena di fornitura seriale a tre livelli, domanda uniforme, politica creditizia 0,1)

Si «scoprono» conseguenze di quelle premesse (la pianificazione centralizzata riduce il ciclo di conversione della liquidità)

Si presentano quelle conseguenze come conoscenza del mondo reale

Le «implicazioni gestionali» prescrivono interventi basati su quella «conoscenza»

Per far funzionare quegli interventi, le organizzazioni reali vengono ristrutturate affinché assomiglino alle premesse del modello

Il modello «funziona» — ma solo perché ha creato le condizioni del proprio funzionamento

Se questa congettura coglie un meccanismo reale, non siamo più di fronte a semplice tautologia epistemica ma a qualcosa di più profondo: una profezia auto-avverante attraverso riscrittura materiale. La catena di fornitura reale — con la sua complessità irriducibile, le sue relazioni idiosincratiche, i suoi ritmi non standardizzabili — verrebbe progressivamente riscritta finché non diventa la «tipica catena di fornitura di beni di largo consumo» del modello. Solo allora le politiche «scoperte» dalla simulazione produrrebbero i risultati attesi. Ma quei risultati non validerebbero il modello — testimonierebbero il successo della riscrittura.

Si pensi, a titolo puramente illustrativo, a una catena di fornitura che introduce centralizzazione decisionale, indicatori di prestazione standardizzati e vincoli contrattuali sui tempi di consegna precisamente per rendere «operabile» il quadro concettuale adottato. La varianza viene eliminata non

perché inefficiente in sé, ma perché incompatibile con il dispositivo. Il modello «funziona» — ma solo dopo aver riscritto l'ambiente secondo le proprie condizioni di possibilità.

Non affermiamo di aver dimostrato empiricamente questo meccanismo — farlo richiederebbe uno studio longitudinale sulle trasformazioni organizzative indotte dall'adozione di specifici quadri gestionali. Avanziamo la congettura come ipotesi meritevole di indagine, fondata su una logica interna coerente e su precedenti teorici consolidati nella sociologia della scienza (la performatività dei modelli economici studiata da Michel Callon e Donald MacKenzie). Se la congettura è corretta, l'empirismo simulativo non è solo epistemicamente vacuo — è ontologicamente performativo: riscrive il mondo per produrre le condizioni che renderebbero vere le sue affermazioni.

Dalla exteriorità fordista all'interiorizzazione contemporanea

Un elemento ulteriore della congettura merita considerazione. La storia dell'industrializzazione può essere letta come una successione di riscritture ambientali sempre più profonde. La manifattura pre-industriale si adattava all'irregolarità: corpi diversi, ritmi variabili, gesti non perfettamente replicabili. La fabbrica fordista inverte questo rapporto. Non è più il dispositivo ad adattarsi alla varianza — è la varianza a dover essere eliminata perché il dispositivo funzioni. La catena di montaggio presuppone il gesto standardizzato, il tempo omogeneo, il corpo intercambiabile.

Tuttavia, la riscrittura fordista conservava un'esteriorità. Il corpo disciplinato restava distinto dalla coscienza che poteva tematizzare quella disciplina. L'operaio sapeva di essere alienato; poteva oggettivare la propria condizione; poteva organizzarsi contro di essa. La distanza tra soggetto e dispositivo era la condizione di possibilità della critica e della resistenza. Il sindacato presupponeva questa distanza: un soggetto collettivo capace di oggettivare la propria alienazione e di agire contro di essa.

Se la congettura sulla performatività è corretta, l'empirismo simulativo contemporaneo opererebbe diversamente. Le premesse del modello — la struttura seriale, l'agente razionale, la metrica del ciclo di conversione della liquidità — non vengono imposte dall'esterno come disciplina visibile. Vengono interiorizzate come «buone pratiche», «quadri concettuali validati», «standard di settore». Il responsabile aziendale che ristrutturava la propria catena di fornitura secondo le raccomandazioni del paper non subisce una costrizione esterna — applica conoscenza scientifica. La riscrittura avverrebbe attraverso l'adesione volontaria a ciò che appare come razionalità.

Di qui la difficoltà della resistenza. Non ci sarebbe più il cancello della fabbrica che separa il dentro dal fuori. Le categorie del modello — efficienza, ottimizzazione, standardizzazione — diventerebbero le categorie attraverso cui il soggetto pensa se stesso e la propria organizzazione. La critica diventerebbe difficile perché richiederebbe distanziarsi da presupposti che appaiono come ovvietà razionali anziché come costrutti arbitrari.

Ribadiamo lo statuto epistemico di quanto affermato: si tratta di una congettura argomentata, non di una tesi dimostrata. La sua funzione nel presente saggio è indicare che la critica metodologica dell'empirismo simulativo potrebbe avere implicazioni che trascendono il piano epistemologico — implicazioni che meriterebbero indagine empirica autonoma.

XI. Verso una riforma dei criteri di valutazione: proposte operative

La diagnosi sin qui sviluppata rimarrebbe sterile esercizio critico se non si accompagnasse a proposte operative per il superamento della condizione identificata. Prima di articolare le proposte specifiche, enunciamo il principio regolativo che le informa:

Le pretese empiriche richiedono tracciabilità dei parametri e possibilità di falsificazione esterna; in assenza di queste condizioni, il contributo va trattato come teoria computazionale.

Da questo principio derivano tre direzioni di intervento, formulate in modo da essere immediatamente implementabili da direttori di rivista e comitati editoriali. Non si tratta di proposte utopiche: altri campi computazionali hanno già sviluppato standard vincolanti che dimostrano la fattibilità di quanto suggeriamo. La climatologia opera sotto i protocolli CMIP (Coupled Model Intercomparison Project), che rendono obbligatoria la calibrazione su dati reali e il confronto multi-modello. La medicina clinica richiede la conformità alle linee guida CONSORT, adottate da oltre 500 riviste. L'ingegneria computazionale segue gli standard ASME V&V, il cui principio fondante recita: «Non c'è validazione senza dati sperimentali». L'operations research non ha nulla di equivalente. Le proposte seguenti mirano a colmare questo divario.

Prima proposta: Distinzione editoriale tra categorie epistemiche

Le riviste dovrebbero istituire categorie editoriali distinte per lavori che operano secondo logiche epistemiche differenti:

Categoria A – «Teoria basata su simulazione»: Studi che esplorano conseguenze teoriche di assunzioni attraverso simulazione non calibrata. Legittimi se rinunciano esplicitamente a pretese empiriche; vengono valutati secondo criteri appropriati (coerenza interna, rilevanza delle assunzioni, fecondità euristica). Vincolo linguistico: Vietate formulazioni prescrittive incondizionate («i responsabili dovrebbero...», «le imprese devono...»). Obbligatorio l'uso del condizionale («se le assunzioni reggono, allora i responsabili potrebbero considerare...»).

Categoria B – «Contributo empirico»: Studi che avanzano pretese di conoscenza su sistemi reali. Richiedono calibrazione documentata O validazione ex post; dichiarazione esplicita del sistema rappresentato. Vincolo linguistico: Prescrizioni ammesse solo se supportate da evidenza di corrispondenza modello-realtà.

Seconda proposta: Dichiarazioni richieste per lavori di simulazione

Sul modello dei protocolli CONSORT (per gli studi clinici) e PRISMA (per le rassegne sistematiche), proponiamo un riquadro di «Dichiarazioni richieste» che ogni proposta basata su simulazione dovrebbe compilare:

La compilazione obbligatoria di questo riquadro renderebbe visibile ciò che attualmente rimane implicito, costringendo autori e revisori a una riflessione esplicita sullo statuto epistemico del contributo.

Terza proposta: Tracciabilità dei parametri

Ogni parametro chiave del modello dovrebbe essere classificato secondo una tassonomia esplicita:

Misurato: derivato da osservazioni dirette di un sistema specifico (documentare fonte)

Stimato: derivato da dati di settore, letteratura, o inferenza indiretta (documentare procedura)

Assunto: scelto dai ricercatori senza base empirica diretta (giustificare la scelta)

Esplorato: variato sistematicamente in analisi di sensitività (riportare intervallo)

Nel paper di Badakhshan e Ball, tutti i parametri chiave ricadrebbero nella categoria «Assunto» — rendendo immediatamente evidente la natura puramente generativa della simulazione.

XII. Verso un empirismo autentico

La critica qui sviluppata non deve essere intesa come anti-empirica. Al contrario, argomentiamo per l'empirismo — ma un empirismo ancorato all'osservazione di fenomeni reali piuttosto che al processamento di dati inventati.

La ricerca empirica autentica sulle dinamiche delle catene di fornitura richiede confronto con dati transazionali reali: ordini effettivamente effettuati, pagamenti effettivamente eseguiti, interruzioni effettivamente sperimentate. Tale ricerca affronta ostacoli genuini: accesso ai dati, vincoli di riservatezza, confidenzialità commerciale, difficoltà di misurazione. Questi ostacoli non scompaiono perché sono scomodi. Aggirarli attraverso la simulazione non calibrata non costituisce innovazione metodologica; costituisce abbandono dell'indagine empirica pur mantenendone i marcatori formali.

Approcci emergenti — inclusi gemelli digitali autentici costruiti da dati transazionali anonimizzati, analisi di rete di flussi di pagamento inter-aziendali reali, generazione di dati sintetici che preservano le proprietà statistiche di osservazioni reali — offrono percorsi verso ricerca metodologicamente rigorosa e empiricamente fondata. Questi approcci affrontano le proprie sfide e limitazioni. Ma rappresentano tentativi di comprendere la realtà economica piuttosto che di sostituire la fantasia computazionale all'osservazione.

Il paradosso finale è che proprio questi approcci — ancorati a dati reali ma spesso non conformi alle convenzioni stilistiche della letteratura dominante — incontrano maggiori difficoltà di pubblicazione rispetto alle simulazioni empiricamente vacue ma proceduralmente impeccabili. L'inversione è rivelatrice dello stato epistemico del campo.

XIII. Conclusione

Il paper di Badakhshan e Ball non è, secondo gli standard prevalenti nel suo campo, un paper scadente. È, secondo quegli standard, un paper esemplare — metodologicamente accurato, formalmente rigoroso, chiaramente scritto, appropriatamente modesto nelle sue affermazioni. È precisamente questo che lo rende prezioso come oggetto diagnostico: rivela non un fallimento individuale ma una disfunzione sistemica.

Una disciplina in cui dati inventati, processati attraverso procedure legittime, generano risultati sottoposti a revisione tra pari che affermano applicabilità a una realtà non modellata ha perso la

sua fondazione empirica pur mantenendo la sua auto-comprensione empirista. Il risultato è ciò che abbiamo definito empirismo simulativo: una pratica di ricerca che simula l'indagine empirica attraverso la conformità procedurale senza impegnarsi nell'osservazione del mondo.

A questa disfunzione si aggiunge il meccanismo di diluizione semantica per cui termini tecnici pregnanti — come «digital twin» — vengono appropriati per designare pratiche che ne contraddicono la definizione, contribuendo al mascheramento della vacuità epistemica attraverso l'evocazione di connessioni al reale che non esistono.

Abbiamo inoltre avanzato una congettura sulla dimensione ontologico-performativa dell'empirismo simulativo: l'ipotesi che i modelli legittimati accademicamente possano diventare strumenti di riconfigurazione della realtà economica, riscrivendo il mondo per produrre le condizioni che renderebbero retroattivamente «vere» le proprie premesse. Questa congettura — che richiede verifica empirica autonoma — suggerisce che le conseguenze della disfunzione epistemica potrebbero trascendere il piano della conoscenza per investire quello della realtà materiale.

I meccanismi istituzionali dell'accademia contemporanea — revisione tra pari, metriche di pubblicazione, reti di citazioni — attualmente non forniscono alcun correttivo sistematico a questa tendenza. Anzi, la rinforzano premiando problemi trattabili con risultati puliti rispetto al confronto disordinato con la realtà recalcitrante.

Le proposte operative qui avanzate — distinzione editoriale tra categorie epistemiche, dichiarazioni richieste per lavori di simulazione, tracciabilità dei parametri — non pretendono di risolvere la disfunzione ma di creare le condizioni per un suo riconoscimento istituzionale. Sono strumenti minimi, immediatamente implementabili, che renderebbero visibile ciò che attualmente rimane implicito.

La riforma autentica richiederà un ripensamento più profondo del rapporto tra produzione scientifica, incentivi accademici e validità epistemica — un ripensamento che eccede gli scopi del presente saggio ma che la diagnosi qui sviluppata intende rendere ineludibile.

Riconoscere la condizione è prerequisito per affrontarla. La critica qui offerta mira non a qualsiasi studio o ricercatore individuale ma a una configurazione di pratiche, incentivi e assunzioni epistemologiche che si è normalizzata fino al punto dell'invisibilità.

Abbiamo aperto questo saggio descrivendo la liturgia della procedura scientifica — sequenze formalizzate che producono legittimità indipendentemente dalla corrispondenza con il reale. La chiudiamo con un'ipotesi più radicale: che questa liturgia, quando i suoi prodotti vengono adottati come criteri di azione, non si limiti a produrre legittimità — produca mondo. Una liturgia che riscrive la realtà a propria immagine, e che trova nella realtà riscritta la conferma della propria efficacia. Spezzare questo circolo richiede, prima di tutto, renderlo visibile.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Badakhshan, E., & Ball, P. (2023). Applying digital twins for inventory and cash management in supply chains under physical and financial disruptions. *International Journal of Production Research*, 61(15), 5094-5116.

Callon, M. (1998). The laws of the markets. *Sociological Review*, 46(S1), 1-57.

Gadamer, H.-G. (1960/2004). *Verità e Metodo*. Bompiani.

Kuhn, T. S. (1962). *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*. Einaudi.

MacKenzie, D. (2006). *An Engine, Not a Camera: How Financial Models Shape Markets*. MIT Press.

Popper, K. R. (1934/1972). *Logica della scoperta scientifica*. Einaudi.

APPENDICE A: SINTESI DEGLI STRUMENTI PROPOSTI

Principio Regolativo

Le pretese empiriche richiedono tracciabilità dei parametri e possibilità di falsificazione esterna; in assenza, il contributo va trattato come teoria computazionale.

A. Categorie Editoriali

Teoria basata su simulazione (nessuna pretesa empirica, linguaggio condizionale obbligatorio)

Contributo empirico (calibrazione o validazione richiesta, prescrizioni ammesse)

B. Riquadro Dichiarazioni Richieste

Sei domande standard con risposta Sì/No e campo evidenza

C. Tabella Tracciabilità Parametri

Quattro classificazioni: Misurato / Stimato / Assunto / Esplorato

APPENDICE B: EVIDENZE DALLA LETTERATURA

La critica sviluppata in questo saggio trova riscontro in un corpo consolidato di evidenze empiriche e riflessioni metodologiche interne alla comunità scientifica. Questa appendice sintetizza le principali fonti a supporto.

B.1 Il fondamento empirico è l'eccezione, non la regola

L'analisi più sistematica disponibile è quella di Shafer e Smunt (2004), pubblicata sul *Journal of Operations Management*. Gli autori esaminarono circa 600 studi di simulazione pubblicati su 20 riviste di operations management tra il 1970 e il 2000. Solo 85 studi (circa il 14%) risultarono empiricamente fondati – definiti come rappresentazioni di situazioni reali specifiche o calibrati con dati del mondo reale. Questa conclusione si allinea con l'osservazione di Meredith e colleghi secondo cui «la ricerca in operations management tende ad essere artificiale per natura a causa della sua dipendenza dalla modellazione piuttosto che dalla ricerca empirica».

Evidenze successive suggeriscono che il pattern persista. Una rassegna sistematica del 2025 sulla simulazione nelle catene di fornitura mediche trovò che solo il 32% degli studi riportava procedure di verifica e validazione a livello concettuale o operativo, citando come ostacolo primario l'«insufficienza di dati dal sistema reale». La revisione di Janssen (2017) su 2.367 pubblicazioni di modellazione ad agenti trovò che solo circa il 10% rendeva pubblicamente disponibile il codice del modello, rendendo la validazione indipendente essenzialmente impossibile.

Le linee guida STRESS (Strengthening The Reporting of Empirical Simulation Studies), pubblicate sul *Journal of Simulation* nel 2018-2019, emersero specificamente perché «i resoconti pubblicati e sottoposti a revisione tra pari dei modelli possono essere ambigui, incompleti e quindi difficili da riutilizzare ed estendere». Gli autori riconoscono una crisi di riproducibilità nella ricerca basata su simulazione.

B.2 La terminologia del «digital twin» subisce diluizione sistematica

La tassonomia seminale di Kritzinger e colleghi (2018), sviluppata presso Fraunhofer Austria e TU Wien, stabilì la distinzione oggi canonica: Digital Model (nessuno scambio automatizzato di dati tra sistema fisico e virtuale), Digital Shadow (flusso dati unidirezionale dal fisico al virtuale), Digital Twin (flusso dati bidirezionale automatizzato in tempo reale). Classificando 53 pubblicazioni dal 2001 al 2017, gli autori trovarono che la letteratura sui gemelli digitali autentici era «scarsa» – la maggior parte delle pubblicazioni descriveva in realtà modelli o ombre digitali erroneamente etichettati.

Un paper del 2025 nel *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering* avverte esplicitamente di una «epidemia di misconcezione», argomentando che il termine dovrebbe essere riservato «solo ai casi in cui esiste una vera controparte virtuale che mantiene comunicazione bidirezionale in tempo reale con il sistema fisico». Una rassegna ACM di Heluany e Gkioulos (2023)

afferma: «Questa misconcezione riguardo alla definizione sta portando a un uso improprio del termine, ostacolando la distinzione tra la sua filosofia e le soluzioni tradizionali».

Un'analisi definitoria su larga scala che ha esaminato oltre 15.000 articoli a testo completo usando tecniche di elaborazione del linguaggio naturale ha concluso che «una definizione universalmente accettata» rimane elusiva, con il «puro volume di definizioni» che crea «ambiguità nella concettualizzazione e implementazione». Indagini industriali confermano la confusione: quasi il 60% dei dirigenti B2B ammette di non sapere realmente cosa significhi il termine, nonostante l'entusiasmo per adottarlo.

B.3 Gli standard di validazione restano volontari e frammentati

A differenza delle linee guida CONSORT della medicina clinica (obbligatorie nella maggior parte delle riviste mediche), degli standard ASME V&V dell'ingegneria aerospaziale, o dei protocolli CMIP della climatologia, la simulazione in operations research non dispone di alcun quadro di validazione universalmente obbligatorio.

Il quadro V&V di Robert Sargent, sviluppato attraverso tutorial alla Winter Simulation Conference dal 1979 al 2020, resta il riferimento più citato. Sargent distingue validità del modello concettuale, verifica del modello computerizzato, validità operativa e validità dei dati. Tuttavia, questo quadro è consultivo piuttosto che obbligatorio — le principali riviste di operations research (EJOR, IJPR, Operations Research) non richiedono specifiche checklist di validazione nelle loro linee guida per gli autori.

L'equivalente più vicino a CONSORT per la simulazione è il protocollo ODD (Overview, Design concepts, Details) sviluppato da Grimm e colleghi per i modelli ad agenti (2006, aggiornato 2010, 2020). Eppure l'adozione resta limitata: la revisione di Janssen trovò che solo circa il 7% dei paper di modellazione ad agenti nelle scienze sociali utilizzava ODD, nonostante il diffuso riconoscimento del suo valore.

B.4 Confronto tra campi: il divario di rigore

La disparità tra gli standard di validazione dell'operations research e quelli di altri campi computazionali è marcata:

Modellazione climatica: Opera sotto il Coupled Model Intercomparison Project (CMIP), ora alla Fase 6, che impone requisiti rigorosi di metadati, formati di output standardizzati, confronti di ensemble multi-modello contro osservazioni, e simulazioni storiche validate contro esperimenti di controllo pre-industriali. La calibrazione su dati reali è obbligatoria.

Fisica computazionale e ingegneria: Segue gli standard ASME V&V (10-2006/2019, 20-2009, 40-2018) e NASA-STD-7009 (aggiornato 2024), che richiedono validazione gerarchica dai problemi unitari attraverso i sistemi completi, formule esplicite di quantificazione dell'incertezza, e studi V&V documentati. Il quadro ASME V&V 20 afferma esplicitamente: «Non c'è validazione senza dati sperimentali».

Modellazione epidemiologica: Segue le linee guida ISPOR-SMDM (2012) e CHEERS (2013, aggiornate 2022), approvate da oltre 15 riviste e riconosciute dall'EQUATOR Network. Richiedono validazione esplicita contro dati empirici, quantificazione dell'incertezza, e sei elementi di «valutazione».

Operations research: Non dispone di standard vincolanti, non ha formato di documentazione standardizzato equivalente a ODD/CMIP/ASME, la documentazione di validazione è ad hoc e dipendente dalla pubblicazione, e la calibrazione su dati reali è opzionale piuttosto che obbligatoria.

B.5 Le preoccupazioni epistemologiche sono documentate ma disperse

La comunità di operations research si è impegnata in una sostanziale, seppur frammentata, autoriflessione epistemologica. Il paper di Kleindorfer, O'Neill e Ganeshan (1998) su Management Science catturò l'ansia fondamentale: «C'è ancora considerevole dubbio e persino ansia tra i modellatori di simulazione riguardo a quali dovrebbero essere le linee guida o procedure metodologicamente corrette per validare i modelli di simulazione».

Il seminale «The Future of Operational Research is Past» di Russell Ackoff (1979), con oltre 1.000 citazioni, criticò la «Operations Research dominata dalla tecnica» e la «deriva naturale» del campo che privilegia «l'astratto rispetto al pratico, i modelli rispetto agli interventi». Schaumann, Thakur-Weigold e Van Wassenhove (2024) hanno recentemente invocato la critica di Ackoff per inquadrare i problemi attuali come «una crisi epistemologica kuhniana, in cui il paradigma dominante della modellazione quantitativa mostra segni di esaurimento».

La voce della Stanford Encyclopedia of Philosophy sulle simulazioni computerizzate (Winsberg, 2019) identifica caratteristiche che rendono distintiva l'epistemologia della simulazione: i risultati sono «autonomi» — «la conoscenza prodotta dalla simulazione non può essere sanzionata interamente dal confronto con l'osservazione» perché «le simulazioni sono solitamente impiegate per studiare fenomeni dove i dati sono scarsi». Il libro di Eric Winsberg Science in the Age of Computer Simulation (2010) argomenta che la conoscenza da simulazione è giustificata attraverso competenza artigianale accumulata e calibrazione per tentativi ed errori tra modello e metodo.

B.6 Iniziative di riforma e sfide di adozione

Iniziative significative di riforma sono emerse dal 2015. La politica di divulgazione dati e codice di Management Science del 2019 richiede agli autori di paper accettati contenenti lavoro numerico o computazionale di fornire «i dati, i programmi e altri dettagli dell'esperimento e dei calcoli sufficienti a permettere la replicazione». Un audit di riproducibilità su larga scala di Fišar e colleghi (2024) che ha esaminato circa 500 articoli ha trovato che dopo il 2019, oltre il 95% degli articoli poteva essere completamente o in gran parte riprodotto quando i dati erano accessibili — ma il 29% aveva barriere di accessibilità ai dati, producendo un tasso di riproduzione complessivo del 68%.

L'editoriale del 2024 di Melnyk, Thürer, Blome, Schoenherr e Gold sull'International Journal of Operations & Production Management, intitolato «(Ri-)scoprire la simulazione come elemento critico della ricerca in OM/SCM», ha esplicitamente invocato che la simulazione «si evolva oltre la semplice generazione e analisi di dati» verso la simulazione empiricamente fondata come approccio prioritario. Gli autori hanno riconosciuto che «le riviste di punta, come IJOPM, sono state spesso riluttanti ad accettare studi di simulazione».

B.7 Riferimenti bibliografici dell'appendice

- Ackoff, R. L. (1979). The future of operational research is past. *Journal of the Operational Research Society*, 30(2), 93-104.
- Bertrand, J. W. M., & Fransoo, J. C. (2002). Operations management research methodologies using quantitative modeling. *International Journal of Operations & Production Management*, 22(2), 241-264.
- Fišar, M., et al. (2024). Reproducibility in management science. *Management Science*, 70(3), 1343-1356.
- Grimm, V., et al. (2006, 2010, 2020). The ODD protocol: A review and first update. *Ecological Modelling*.
- Heluany, J., & Gkioulos, V. (2023). A survey on digital twin definitions. *ACM Computing Surveys*.
- Janssen, M. A. (2017). The practice of archiving model code of agent-based models. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 20(1).
- Kleindorfer, G. B., O'Neill, L., & Ganeshan, R. (1998). Validation in simulation. *Management Science*, 44(8), 1087-1099.
- Kritzinger, W., et al. (2018). Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 1016-1022.
- Melnyk, S. A., Thürer, M., Blome, C., Schoenherr, T., & Gold, S. (2024). (Re)-discovering simulation as a critical element of OM/SCM research. *International Journal of Operations & Production Management*.
- Sargent, R. G. (1979-2020). Verification and validation of simulation models. *Proceedings of the Winter Simulation Conference*.
- Schaumann, N., Thakur-Weigold, B., & Van Wassenhove, L. N. (2024). Operational research in humanitarian logistics. *European Journal of Operational Research*.
- Shafer, S. M., & Smunt, T. L. (2004). Empirical simulation studies in operations management: Context, trends, and research opportunities. *Journal of Operations Management*, 22(4), 345-354.
- Winsberg, E. (2010). *Science in the Age of Computer Simulation*. University of Chicago Press.
- Winsberg, E. (2019). Computer simulations in science. *Stanford Encyclopedia of Philosophy*.

* * *

Gli autori riconoscono che questa stessa critica opera entro convenzioni accademiche che parzialmente contesta — una limitazione riflessiva inerente al discorso scientifico che non può completamente sfuggire alle strutture che analizza.