

Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia

Dipartimento di Scienze e Metodi dell'Ingegneria

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

La Process Intelligence a supporto dell'analisi della performance
aziendale:

potenzialità e condizioni di efficacia

Relatore: Prof. Francia Franco

Laureando: Alessandro Casoni

Anno Accademico 2025/2026

INDICE

SOMMARIO	6
INTRODUZIONE	8
CAPITOLO 1: CONTESTO MANAGERIALE: PROCESSI, DATI E CREAZIONE DI VALORE	12
1.0 Processi, performance e miglioramento: fondamenti concettuali.	12
1.1 Processi aziendali e vantaggio competitivo.	14
1.2 Dalla gestione per funzioni alla governance end-to-end	20
1.3 Conoscere il processo: dai metodi tradizionali alla tracciabilità digitale.	27
1.4 Approcci al miglioramento dei processi e condizioni per la loro efficacia	35
1.5 Sintesi e prospettive: verso un approccio data-driven alla gestione dei processi	43
CAPITOLO 2: PROCESS MINING: DAI DATI-EVENTO AL PROCESSO REALE .	47
2.1 Il Process Mining: tra data science e process science	48
2.2 La costruzione dell'event log: scelte, perimetro e qualità del dato	59
2.3 Dalle tecniche agli insight: cosa il Process Mining rende visibile.	73
2.4 Implementare il Process Mining: percorso e condizioni organizzative	86
2.5 Il supporto strumentale: evoluzione del panorama e criteri di scelta.....	97
CAPITOLO 3: DATI E METODI	107
3.1 Finalità e impostazione del caso applicativo.....	108
3.2 Il contesto simulato e le domande gestionali	110
3.3 La costruzione dell'event log.....	114
3.4 La logica delle anomalie iniettate e il problema della circolarità	120
3.5 Gli algoritmi impiegati e i criteri di scelta	124
3.6 La configurazione tecnica e i controlli sul log	130
3.7 Sintesi delle scelte e limiti del disegno.....	136
CAPITOLO 4: IL CASO APPLICATIVO: DALLE DOMANDE GESTIONALI AI RISULTATI	139

<i>4.1 Il processo reale e il governo della complessità.....</i>	<i>140</i>
<i>4.2 Le regole e il loro termine di paragone.....</i>	<i>147</i>
<i>4.3 Dove si concentra il tempo.....</i>	<i>153</i>
<i>4.4 Cosa distingue i casi che si ripetono</i>	<i>158</i>
<i>4.5 La visibilità come esito di decisioni</i>	<i>163</i>
<i>4.6 Dall'analisi all'intervento</i>	<i>165</i>
<i>4.7 Cosa il caso mostra e cosa non mostra.....</i>	<i>169</i>
CAPITOLO 5: CONCLUSIONI: LA VISIBILITÀ COME CONDIZIONE E COME	
ESITO	172
<i>5.1 Il percorso e la domanda a cui risponde.....</i>	<i>172</i>
<i>5.2 Cosa il lavoro ha stabilito</i>	<i>174</i>
<i>5.3 Implicazioni per la pratica</i>	<i>177</i>
<i>5.4 Limiti del lavoro e sviluppi possibili</i>	<i>180</i>

La Process Intelligence a supporto dell'analisi della performance
aziendale:
potenzialità e condizioni di efficacia

SOMMARIO

La crescente digitalizzazione delle attività operative genera una quantità sempre maggiore di dati sull'esecuzione dei processi. Questa disponibilità, tuttavia, non si traduce automaticamente in una conoscenza altrettanto accurata del loro funzionamento effettivo: le rappresentazioni organizzative descrivono spesso il processo atteso, mentre l'esecuzione reale viene osservata attraverso indicatori aggregati o strumenti che ne restituiscono solo una parte. Il Process Mining nasce per colmare questa distanza, ricostruendo il comportamento effettivamente registrato a partire dai dati-evento generati dai sistemi informativi.

La disciplina è ormai consolidata sul piano metodologico e strumentale, ma la sua applicazione organizzativa dipende da condizioni che non sono soltanto tecniche. Il presente lavoro adotta quindi una prospettiva gestionale e affronta una domanda che precede quella dell'efficacia degli algoritmi: cosa il Process Mining renda effettivamente visibile di un processo e a quali condizioni tale visibilità possa essere utilizzata per decidere.

Dopo aver costruito il quadro concettuale attraverso l'analisi della letteratura, la tesi sviluppa un caso applicativo relativo a un processo di assistenza tecnica post-vendita, basato su un event log sintetico e analizzato attraverso una pipeline Python sviluppata con PM4Py. I risultati mostrano che le diverse prospettive di analisi producono evidenze complementari e che il loro significato dipende anche da decisioni assunte prima della misurazione, come la definizione del perimetro, del modello di riferimento e degli indicatori. Tali decisioni non sono direttamente ricavabili dai dati né pienamente visibili negli output, ma condizionano ciò che il Process Mining rende osservabile e, di conseguenza, l'utilizzabilità gestionale dei risultati.

INTRODUZIONE

La digitalizzazione delle attività operative ha trasformato non soltanto gli strumenti utilizzati dalle organizzazioni, ma anche le informazioni disponibili sul loro funzionamento. Ogni transazione registrata in un sistema gestionale, ogni segnalazione aperta in un sistema di assistenza e ogni passaggio di stato in un flusso autorizzativo lascia una traccia di ciò che è accaduto, quando e per opera di chi. Questi dati non vengono necessariamente prodotti per finalità analitiche, ma rappresentano un sottoprodotto dell'operatività dei sistemi informativi. La loro disponibilità rende tuttavia osservabile in modo più diretto il modo in cui il lavoro viene effettivamente svolto.

La disponibilità di questi dati non si traduce però automaticamente in una conoscenza altrettanto dettagliata dei processi. Le rappresentazioni organizzative descrivono spesso il funzionamento previsto, mentre l'esecuzione reale viene osservata attraverso indicatori aggregati che misurano il risultato senza ricostruire necessariamente il percorso che lo ha prodotto. Interviste e workshop di modellazione riflettono inoltre la conoscenza e le percezioni di chi vi partecipa, gli audit operano generalmente su campioni circoscritti e il reporting direzionale si concentra soprattutto sugli esiti. Rimane quindi una distanza tra la quantità di informazioni generate dall'operatività e la capacità di utilizzarle per ricostruire in modo sistematico il processo effettivamente eseguito.

Il Process Mining risponde a questa distanza tra dato disponibile e conoscenza utilizzabile. Ricostruendo il processo effettivamente eseguito a partire dai dati-evento, consente di osservare quali percorsi seguano le attività nella pratica, dove si accumulano il tempo, quali regole vengano disattese e cosa distingue i casi che si concludono in modo diverso. La disciplina è oggi consolidata sul piano metodologico e applicativo, dispone di strumenti sia commerciali sia open source e di una letteratura che ne documenta l'impiego in contesti molto diversi, dalla sanità alla manifattura, dai servizi finanziari alla pubblica amministrazione.

L'adozione del Process Mining incontra tuttavia ancora ostacoli rilevanti, molti dei quali non sono di natura strettamente tecnica. Le evidenze raccolte in contesti applicativi richiamano infatti criticità legate al supporto del management, all'accesso e alla qualità dei dati, alla complessità della loro preparazione e alla comprensibilità dei risultati per chi non conduce direttamente l'analisi. Il fatto che queste difficoltà siano documentate da

diversi anni e continuano a ricorrere suggerisce che la maturazione degli strumenti non sia sufficiente, da sola, a garantirne un utilizzo efficace nelle organizzazioni.

Emerge quindi una questione che precede quella dell'efficacia della tecnica. Se le principali difficoltà riguardano la costruzione dei dati, la formulazione delle domande e la traduzione delle evidenze in decisioni, il punto non è soltanto se il Process Mining funzioni, ma cosa renda effettivamente visibile di un processo e a quali condizioni tale visibilità possa essere utilizzata da chi deve decidere.

Questa tesi affronta la questione con un taglio gestionale. L'obiettivo non è valutare la correttezza degli algoritmi né confrontarne le prestazioni computazionali, ma esaminare il Process Mining come strumento di conoscenza a supporto delle decisioni: quali domande consenta di affrontare, quali evidenze produca, quali limiti presentino tali evidenze e quali scelte, tecniche e organizzative, ne condizionino l'utilizzabilità. È questo impiego delle analisi a supporto delle decisioni, insieme alle condizioni organizzative che lo rendono possibile, che la letteratura più recente indica con il termine Process Intelligence, ripreso nel titolo del lavoro e definito nel secondo capitolo. Le tecniche vengono quindi considerate per ciò che rendono osservabile e per i confini di tale osservabilità, più che per il loro funzionamento interno.

Il lavoro si articola in due parti. La prima costruisce il quadro concettuale e metodologico attraverso l'analisi della letteratura, muovendo dalla rilevanza della performance di processo sul piano competitivo fino alle condizioni che influenzano l'efficacia di un'iniziativa di Process Mining. La seconda mette alla prova questo quadro attraverso un caso applicativo relativo a un processo di assistenza tecnica post-vendita di un costruttore di macchine per il confezionamento, sviluppato su un event log costruito appositamente e analizzato mediante una pipeline Python basata sulla libreria PM4Py.

La scelta di utilizzare dati sintetici risponde a un'esigenza metodologica. Conoscere il processo che ha generato i dati consente di confrontare ciò che è stato introdotto nel log con ciò che le analisi riescono effettivamente a ricostruire, disponendo quindi di un termine di paragone controllato. Il limite è che il caso non riproduce il lavoro di reperimento, trasformazione e riconciliazione delle fonti, che nei progetti reali rappresenta una parte rilevante dell'impegno complessivo. Il caso consente quindi di esaminare cosa il Process Mining renda visibile, ma non l'effort necessario per rendere quei dati disponibili all'analisi.

Una seconda scelta riguarda l'ordine del lavoro. Le quattro domande gestionali a cui il caso risponde sono state formulate prima della generazione dei dati, e il disegno dell'event log è stato costruito in funzione di esse. La corrispondenza tra questi quesiti e le quattro tipologie di analisi del Process Mining è stata individuata solo successivamente, senza assumere le tecniche disponibili come punto di partenza. Questa impostazione è coerente con l'approccio question-driven raccomandato in letteratura e riduce il rischio che siano la struttura dei dati disponibili o gli strumenti utilizzati a determinare le domande da affrontare.

Il percorso si sviluppa in cinque capitoli. Il primo costruisce il quadro concettuale entro cui collocare il Process Mining, partendo dalla rilevanza della performance di processo sul piano competitivo e arrivando alle condizioni necessarie per governare, misurare e migliorare un processo end-to-end. Il capitolo approfondisce quindi il ruolo della governance, degli indicatori, dei dati-evento e degli approcci al miglioramento, mostrando come questi elementi concorrano a rendere il processo osservabile e gestibile.

Il secondo capitolo esamina il Process Mining come risposta a questa esigenza. Ne definisce il posizionamento rispetto alle discipline affini, traduce le principali tipologie di analisi in interrogativi gestionali, chiarisce come l'event log venga costruito attraverso scelte di perimetro e granularità e delimita ciò che ciascuna tecnica consente di osservare. Affronta infine le condizioni progettuali e organizzative dell'adozione e i criteri di scelta degli strumenti.

Il terzo capitolo presenta il disegno del caso applicativo, ricostruendone le principali decisioni metodologiche: dalla formulazione delle domande alla definizione del caso, del perimetro e della granularità, fino alla generazione dell'event log e ai controlli effettuati sui dati prodotti.

Il quarto capitolo presenta le analisi e i risultati. Le diverse tecniche vengono applicate alle domande formulate in precedenza, confrontando le evidenze ottenute con quanto discusso in letteratura e mettendo in luce le condizioni necessarie per interpretarle correttamente. I paragrafi conclusivi integrano i risultati, sviluppano alcune ipotesi di intervento e delimitano ciò che il caso consente e non consente di affermare.

Il quinto capitolo ricompone il percorso svolto, sintetizza i principali risultati, chiarisce il contributo del lavoro e ne trae alcune implicazioni per la pratica, per poi discuterne i limiti e le possibili direzioni di sviluppo.

CAPITOLO 1: CONTESTO MANAGERIALE: PROCESSI, DATI E CREAZIONE DI VALORE

1.0 Processi, performance e miglioramento: fondamenti concettuali.

La digitalizzazione si è affermata come uno dei principali motori di innovazione, competitività e crescita economica nel contesto contemporaneo (Kravchenko et al., 2019). Essa non rappresenta soltanto l'adozione di nuove tecnologie, ma una trasformazione più ampia delle modalità con cui individui e organizzazioni producono, scambiano e utilizzano informazioni, accompagnata da una crescente integrazione delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione nei processi economici e sociali.

La digitalizzazione può essere descritta come il processo attraverso cui le tecnologie dell'informazione trasformano le relazioni economiche e sociali, riducendo barriere preesistenti e favorendo l'integrazione e il coordinamento di processi differenti attraverso nuovi strumenti di comunicazione. In questa prospettiva, essa rappresenta uno dei principali fattori che hanno accompagnato il passaggio da un'economia prevalentemente industriale a una sempre più fondata sull'informazione e sulla conoscenza.

In questa nuova fase, talvolta definita come la terza ondata del capitalismo, informazione e conoscenza hanno progressivamente assunto un ruolo centrale nella creazione di valore, affiancandosi ai tradizionali fattori produttivi e diventando risorse strategiche per la competitività delle imprese.

L'efficacia di questa transizione non dipende soltanto dalla disponibilità di tecnologie avanzate, ma soprattutto dalla loro integrazione strategica nei processi aziendali, con l'obiettivo di ridurre i costi di transazione e aumentare l'efficienza complessiva. In molti casi, infatti, gli output rimangono gli stessi beni e servizi dell'economia tradizionale; ciò che cambia è il modo in cui vengono prodotti, erogati o abilitati attraverso tecnologie informatiche e sistemi digitali.

Alcune evidenze empiriche suggeriscono che la digitalizzazione possa contribuire alla crescita economica e alla produttività. Kravchenko et al. (2019) riportano, in particolare, una relazione positiva tra investimenti in software e database e crescita del PIL pro capite, stimando che un incremento dell'1% degli investimenti in digitalizzazione possa associarsi a un aumento del PIL pro capite di circa l'8,5%. In questo scenario, la

digitalizzazione contribuisce inoltre a ridurre alcune barriere geografiche e organizzative, ampliando le possibilità di coordinamento e di sviluppo operativo delle imprese.

Nel panorama industriale attuale, la digitalizzazione delle operations non rappresenta più un fenomeno marginale, ma coinvolge l'intera catena del valore, dalla produzione all'approvvigionamento dei materiali, fino alla distribuzione, al trasporto e al magazzino (Adamczak et al., 2023). Questa trasformazione è sostenuta dalla crescente disponibilità di dati generati da tecnologie ormai mature per l'impiego operativo, come Internet of Things, Big Data Analytics, Cloud e API. Tuttavia, la disponibilità tecnologica non si traduce automaticamente in miglioramento dei processi: il suo impatto dipende dalla presenza di soluzioni software capaci di integrare hardware, dati e flussi informativi e di renderli utilizzabili nelle attività operative (Adamczak et al., 2023).

Tecnologie come Intelligenza Artificiale, Blockchain e Generative AI stanno ampliando ulteriormente queste possibilità, rendendo possibile una gestione dei processi più sofisticata. Il valore della digitalizzazione, tuttavia, emerge soprattutto quando la tecnologia non viene semplicemente innestata sulle modalità operative esistenti, ma viene utilizzata per ripensarne i presupposti. Colotla et al. (2024) sottolineano infatti come le organizzazioni più avanzate mettano in discussione ciò che le operations possono e dovrebbero conseguire, analogamente a quanto avvenuto con il Lean Management e l'Agile rispetto a concetti quali spreco, variabilità e flessibilità.

Le organizzazioni più efficaci riconoscono che i problemi tecnici possono rappresentare il sintomo di criticità più ampie, che non possono essere affrontate esclusivamente attraverso soluzioni tecnologiche. L'adozione di nuovi strumenti, se non accompagnata dalla comprensione delle cause organizzative e operative sottostanti, rischia infatti di generare nuove inefficienze anziché risolvere quelle esistenti. L'eccellenza operativa non dipende quindi soltanto dall'impiego di software e tecnologie innovative, ma dalla capacità di integrarli in un sistema di gestione che valorizzi e potenzi le competenze umane. In questo contesto, la digitalizzazione rende i processi sempre più osservabili attraverso i dati generati dai sistemi informativi e apre il tema della tracciabilità delle operazioni: la possibilità di ricostruire in modo affidabile cosa accade, quando accade e con quali responsabilità lungo il processo.

1.1 Processi aziendali e vantaggio competitivo.

Il paragrafo si sviluppa in tre passaggi. Anzitutto si chiarisce come il valore venga creato attraverso una catena di attività interdipendenti e perché il processo end-to-end rappresenti l'unità più coerente per comprenderne la generazione. Si definiscono quindi le principali dimensioni attraverso cui valutare la performance di processo, evidenziandone trade-off e interdipendenze. Infine, si analizza il modo in cui il miglioramento operativo può tradursi in risultati economico-finanziari, collegando la performance dei processi a marginalità, ricavi e generazione di cassa.

1.1.1 La catena del valore e il processo come unità di creazione del valore

Nel panorama competitivo moderno, il vantaggio competitivo non deriva da iniziative isolate, ma dalla capacità dell'impresa di generare per i propri clienti un valore superiore ai costi sostenuti per crearlo. Secondo Porter (2008), tale valore è il risultato di un sistema di attività tecnologicamente ed economicamente distinte, organizzate nella cosiddetta catena del valore. Le interconnessioni tra queste attività sono centrali, poiché il modo in cui una viene eseguita può influenzare il costo o l'efficacia delle altre.

Nel modello di Porter (2008), le attività si distinguono in primarie e di supporto:

1. **Attività primarie:** sono direttamente legate alla creazione e alla consegna del valore al cliente lungo il flusso end-to-end. Comprendono tipicamente la logistica in entrata, le operations, cioè la produzione o erogazione del bene o servizio, la logistica in uscita, il marketing e le vendite e i servizi post-vendita.
2. **Attività di supporto:** non generano valore in modo direttamente percepibile dal cliente finale, ma sostengono e accrescono l'efficacia delle attività primarie, creando le condizioni organizzative e infrastrutturali necessarie al funzionamento della catena del valore. Rientrano in questa categoria l'infrastruttura aziendale, la gestione delle risorse umane, la supply chain e lo sviluppo tecnologico.

Porter's Value Chain (1985):



Figura 1.1: Catena del valore. Adattato da Porter (1985).

In questo contesto, il vantaggio competitivo non dipende esclusivamente da ciò che l'impresa offre, ma da come vengono eseguite e coordinate le attività che rendono possibile tale output. La competizione si gioca quindi anche sulla qualità dell'esecuzione operativa e sulla capacità di orchestrare il flusso end-to-end che collega la domanda del cliente alla realizzazione e alla consegna del prodotto o servizio.

Un elemento chiave è rappresentato dai linkages: le attività della catena del valore non devono essere considerate in modo indipendente, poiché le scelte progettuali e operative compiute in un punto del processo possono produrre effetti sulle attività successive e sulla performance complessiva. Di conseguenza, l'ottimizzazione locale di una singola attività non garantisce necessariamente un miglioramento del sistema nel suo insieme e può, al contrario, generare attese, rilavorazioni o trasferire costi su altri passaggi. Il processo end-to-end costituisce quindi l'unità più coerente per comprendere come il valore venga effettivamente creato lungo la catena (Porter, 2008).

Tra le attività di supporto si colloca l'Information Technology (IT), che svolge una funzione trasversale lungo l'intera catena del valore. Non appartiene infatti a una singola fase, ma supporta più attività, rendendo possibile la pianificazione, l'esecuzione e il controllo dei flussi operativi attraverso sistemi informativi, dati condivisi e strumenti di automazione. Il contributo strategico dell'IT non consiste quindi soltanto nell'informatizzare singoli task, ma nel migliorare il coordinamento tra attività interdipendenti, ridurre le inefficienze generate da passaggi e discontinuità e accrescere la capacità dell'organizzazione di rendere i processi osservabili, misurabili e governabili.

La tecnologia agisce così come abilitatore dell'intera catena del valore, incidendo sulla performance complessiva del processo end-to-end.

Questo ruolo della tecnologia digitale viene esplicitato da Porter e Millar (1985), che interpretano la "information revolution" non come semplice automazione, ma come un fattore capace di modificare il contesto competitivo. La tecnologia permea infatti l'intera catena del valore, interessando sia le attività primarie sia quelle di supporto, e può incidere non soltanto sul costo o sulla qualità dei singoli passaggi, ma anche sul coordinamento tra attività interdipendenti. In questa prospettiva, il vantaggio competitivo dipende sempre più dal modo in cui l'impresa struttura e governa la propria rete di processi, interni ed esterni (Porter e Millar, 1985).

1.1.2 Le dimensioni della performance di processo

In questa prospettiva, l'attenzione manageriale non può limitarsi alla corretta identificazione delle attività che compongono la catena del valore, ma deve estendersi alla performance del processo end-to-end nel suo complesso. La capacità dell'organizzazione di generare valore dipende infatti da come tali attività vengono eseguite e coordinate e dalla loro capacità di produrre output coerenti con gli obiettivi aziendali. Se il processo rappresenta l'unità attraverso cui il valore viene effettivamente creato, la sua performance deve quindi essere valutata attraverso dimensioni capaci di rappresentarne sia l'efficienza operativa sia la qualità dell'esecuzione.

Hammer e Champy (2009) individuano alcune dimensioni critiche per valutare l'esecuzione dei processi, riconducibili a costo, qualità, servizio e velocità. A partire da questa impostazione, la performance di processo può essere letta attraverso quattro dimensioni principali, tempo, costo, qualità e affidabilità, alle quali si aggiunge la variabilità. Quest'ultima assume un rilievo specifico nella letteratura sul miglioramento dei processi, poiché può amplificare gli effetti negativi sulle altre dimensioni.

1. **Tempo:** comprende il lead time complessivo, i tempi di attraversamento e i tempi di attesa. Migliorare questa dimensione non significa soltanto "fare più in fretta", ma aumentare la reattività del processo e la capacità di adattamento, con effetti sull'esperienza del cliente e sulla gestione delle operations.

2. **Costo:** comprende il consumo di risorse associato al processo e le principali fonti di inefficienza, tra cui sprechi, rilavorazioni e costi di coordinamento. Non coincide quindi con il costo di una singola attività, ma include anche i costi generati da passaggi ridondanti, controlli ripetuti e mancanza di standardizzazione.
3. **Qualità:** riguarda la conformità dell'output ai requisiti e la stabilità del risultato. Livelli più elevati di qualità riducono la necessità di rework e rafforzano l'affidabilità percepita dal cliente, contribuendo alla sostenibilità del modello operativo.
4. **Affidabilità** esprime la capacità del processo di rispettare i livelli di servizio attesi in termini, ad esempio, di puntualità, completezza e continuità. Dipende dalla coerenza del flusso end-to-end e dalla capacità di gestire le eccezioni senza compromettere il servizio.
5. **Variabilità:** rappresenta la dispersione e l'instabilità dei tempi e dei risultati e può agire come un "moltiplicatore di inefficienze". Riduce la prevedibilità del processo, richiede maggiori buffer in termini di scorte, capacità o tempo e aumenta i costi di controllo e coordinamento.

Queste cinque dimensioni non sono indipendenti, ma presentano trade-off e interdipendenze: un intervento mirato su una singola leva può quindi produrre effetti anche sulle altre. L'obiettivo non consiste nel massimizzare un indicatore isolato, ma nel governare la performance del processo nel suo complesso, bilanciando efficienza e robustezza e mantenendo le dinamiche operative coerenti con la strategia competitiva dell'impresa.

1.1.3 Dalla performance operativa all'impatto economico-finanziario

La performance di processo deve essere collegata anche alle sue conseguenze economico-finanziarie. Il miglioramento operativo assume infatti rilevanza manageriale quando gli effetti prodotti sulle dimensioni di tempo, costo, qualità, affidabilità e variabilità contribuiscono ai risultati dell'impresa, traducendosi nel tempo in maggiore marginalità, sostenibilità dei ricavi o generazione di cassa.

Kaplan e Norton (2005) evidenziano che un sistema di misurazione della performance non può basarsi esclusivamente su indicatori finanziari, ma deve integrarli con misure capaci di rappresentare i driver della performance futura. In questa prospettiva sviluppano la Balanced Scorecard, un framework che combina indicatori finanziari con misure relative ai clienti, ai processi interni e alla capacità di innovazione e miglioramento.

La prospettiva dei processi interni assume un ruolo centrale, poiché concentra l'attenzione sulle attività critiche che consentono all'organizzazione di soddisfare il cliente e conseguire i propri obiettivi. In questa prospettiva, l'eccellenza non dipende da singole funzioni considerate isolatamente, ma dalla qualità dei processi, delle decisioni e delle azioni coordinate trasversalmente all'organizzazione.

Di conseguenza, per monitorare la performance è necessario identificare i processi a maggiore impatto e tradurne i risultati in indicatori operativi coerenti con le dimensioni precedentemente delineate: tempo, costo, qualità, affidabilità e variabilità.

L'utilizzo della Balanced Scorecard consente inoltre di ridurre il rischio di sub-ottimizzazione, poiché permette ai manager di osservare congiuntamente indicatori finanziari e operativi e di verificare che i miglioramenti ottenuti in un'area non avvengano a scapito di un'altra. Questo principio è coerente con quanto discusso nel paragrafo precedente: i trade-off e le interdipendenze tra le diverse dimensioni della performance richiedono una gestione integrata del processo end-to-end.

Secondo questa interpretazione, la performance di processo è riconducibile a tre classi di impatto economico:

1. L'efficienza dei processi incide sul conto economico attraverso la riduzione di sprechi, rilavorazioni, controlli ridondanti e attività non a valore aggiunto, con effetti positivi sulla marginalità.
2. La qualità, l'affidabilità e la stabilità dei tempi contribuiscono a sostenere i ricavi, poiché migliorano l'esperienza del cliente e aumentano la capacità dell'impresa di rispettare le promesse di servizio.
3. La riduzione di accumuli e buffer libera risorse finanziarie e può contribuire a migliorare la liquidità disponibile dell'organizzazione.

Kaplan e Norton (2005) sottolineano inoltre che il legame tra miglioramento operativo e successo finanziario non è automatico: se i progressi ottenuti sui processi non si riflettono nei risultati economici, è necessario riconsiderare la strategia adottata. Gli autori evidenziano anche il ruolo abilitante dei sistemi informativi, che consentono di scomporre le misure aggregate e risalire alle cause operative dei problemi, rendendo possibile un controllo più puntuale della performance e un miglioramento continuo basato sui dati.

In conclusione, l'analisi dei processi mostra come il vantaggio competitivo dipenda dalla capacità dell'impresa di progettare, coordinare e governare la propria catena del valore in una prospettiva end-to-end, valorizzando le interdipendenze tra attività e riducendo le inefficienze. La performance di processo rappresenta quindi il meccanismo attraverso cui il valore creato si traduce in risultati economici concreti e deve essere interpretata in modo integrato, considerando dimensioni tra loro interdipendenti e soggette a trade-off. Ne consegue che la capacità di misurare e governare i processi, supportata da sistemi informativi adeguati, costituisce una condizione fondamentale per trasformare il miglioramento operativo in maggiore marginalità, ricavi più sostenibili e migliore generazione di cassa, rendendo la gestione della performance un elemento strutturale della competitività aziendale.

1.2 Dalla gestione per funzioni alla governance end-to-end

Il paragrafo si sviluppa in tre passaggi. Anzitutto si analizzano i limiti della gestione per funzioni, mostrando come la frammentazione organizzativa possa tradursi in silos e dinamiche di ottimizzazione locale. Si esaminano quindi i ruoli, le responsabilità e i meccanismi necessari a formalizzare una governance end-to-end capace di coordinare il processo oltre i confini funzionali. Infine, si affronta l'allineamento tra strategia e sistema di KPI, condizione necessaria affinché la governance non rimanga un esercizio formale ma orienti concretamente decisioni, priorità e trade-off lungo la catena del valore.

1.2.1 I limiti della logica funzionale: silos e ottimizzazione locale

Riprendendo quanto discusso nei paragrafi precedenti, emerge la necessità di superare una governance esclusivamente funzionale a favore di una gestione orientata ai processi end-to-end. Se il valore viene generato attraverso attività interdipendenti e la performance dipende dall'equilibrio tra più dimensioni, una struttura basata unicamente sui confini funzionali rischia infatti di favorire miglioramenti locali senza garantire un miglioramento della performance complessiva.

In questo contesto, i cosiddetti “silos funzionali” non rappresentano soltanto una caratteristica della struttura organizzativa, ma possono costituire un vincolo alla collaborazione e alla performance end-to-end. De Waal et al. (2019) descrivono i silos come strutture verticali o orizzontali che, oltre a separare attività e responsabilità, possono trasformarsi in veri e propri confini psicologici. Gruppi e reparti possono infatti sviluppare una forte identità interna, riducendo la propensione a condividere risorse, informazioni e conoscenze con il resto dell'organizzazione.

Quando questa condizione evolve in una vera e propria silo mentality, l'organizzazione tende a frammentarsi in sottogruppi portatori di priorità non sempre coerenti con quelle complessive dell'impresa, con effetti negativi sulla collaborazione cross-boundary e sull'apprendimento organizzativo. De Waal et al. (2019) evidenziano come il fenomeno sia ampiamente diffuso e venga percepito come una minaccia alla capacità dell'impresa di generare valore, poiché riduce l'efficacia complessiva, ostacola l'innovazione e

rallenta la capacità di risposta ai cambiamenti. La logica a silos genera criticità soprattutto a livello di processo:

1. Conduce a dinamiche di ottimizzazione locale: le diverse funzioni vengono valutate sulla base di indicatori propri e, in questo contesto, può risultare razionale migliorare la performance interna anche quando ciò produce effetti indesiderati a monte o a valle. L'organizzazione può quindi apparire efficiente nelle singole unità ma risultare inefficiente nel suo complesso, poiché costi e inefficienze vengono trasferiti lungo la catena del valore sotto forma di attese, accumuli, rilavorazioni o maggiore complessità gestionale.
2. Indebolisce i linkages tra attività: questo aspetto si ricollega direttamente al ruolo attribuito da Porter (2008) ai collegamenti nella catena del valore. Se le attività sono interdipendenti e il modo in cui una viene eseguita influenza costi ed efficacia delle altre, i punti di passaggio tra funzioni possono trasformarsi in fonti di inefficienza quando generano ritardi, incomprensioni, ridondanza informativa o responsabilità non definite. In tali condizioni, l'organizzazione perde la capacità di sfruttare i linkages come fonte di vantaggio competitivo e li trasforma in fattori di deterioramento della performance end-to-end.
3. Incrina la capacità di gestione del processo: la performance end-to-end, essendo il risultato di numerose interdipendenze, diventa più complessa da monitorare. La frammentazione di obiettivi e responsabilità aumenta il rischio che il management si concentri su misure locali, perdendo visibilità sui driver complessivi del valore e sulle cause sistemiche delle inefficienze.

In continuità con quanto discusso sul ruolo della digitalizzazione e sulla crescente "osservabilità" dei processi, emerge che la disponibilità dei dati non è sufficiente se restano all'interno dei silos e non contribuiscono a decisioni trasversali.

Per questo motivo, De Waal et al. (2019) propongono una serie di tecniche di silo-busting volte a ricostruire coerenza e cooperazione tra le unità organizzative. Gli autori evidenziano innanzitutto la necessità di una base culturale e valoriale condivisa, capace di orientare l'organizzazione verso obiettivi collettivi anziché verso risultati di reparto. Sottolineano inoltre l'importanza della standardizzazione e dell'integrazione dei processi tra unità, della chiarezza nell'attribuzione delle responsabilità e di meccanismi di

coordinamento che incentivino la collaborazione. A ciò si aggiunge la necessità di un ambiente collaborativo supportato da strumenti e pratiche di knowledge sharing, nel quale una piattaforma IT comune può facilitare lo scambio informativo e rendere più fluide le interazioni cross-boundary.

A queste leve si aggiunge il ruolo della leadership, intesa come capacità di promuovere cooperazione e responsabilità trasversali, insieme a sistemi di incentivazione coerenti con gli obiettivi complessivi dell'organizzazione. Tali sistemi dovrebbero premiare i risultati condivisi e i comportamenti collaborativi, riducendo la tendenza delle singole funzioni a massimizzare la propria performance locale.

1.2.2 Ruoli e responsabilità nella governance di processo

Il superamento dei silos, tuttavia, non può essere affidato esclusivamente a interventi culturali o a iniziative di collaborazione tra funzioni: per consolidarsi nel tempo deve poggiare su un sistema formale di governance end-to-end, capace di definire ruoli, responsabilità e meccanismi decisionali lungo l'intero processo.

In assenza di tali strutture, anche in presenza di cooperazione e condivisione informativa, permane il rischio di ricadere in logiche funzionali, poiché obiettivi, priorità e responsabilità restano assegnati alle singole unità organizzative anziché distribuiti trasversalmente lungo la catena del valore. Jurczuk (2021) evidenzia che l'adozione di un approccio realmente process-oriented richiede l'istituzione di una governance orientata ai processi: un framework capace di supportarne l'esecuzione e la gestione, assicurando al tempo stesso che la catena del valore rimanga orientata al cliente e coerente con le aspettative degli stakeholder di processo.

All'interno di tale framework, la definizione di ruoli e responsabilità costituisce un elemento cruciale, poiché i processi sono per natura cross-funzionali e richiedono una governance end-to-end capace di superare la frammentazione tipica dei silos. Tra i ruoli chiave individuati da Jurczuk emerge il process owner, responsabile del processo nel suo complesso e della relativa performance. A questa figura spetta il compito di assicurare coerenza nell'esecuzione e di gestire le interdipendenze tra le unità coinvolte. Affinché il ruolo sia effettivo, è necessario che il process owner disponga di un adeguato livello di

authority e accountability, così che la responsabilità non rimanga soltanto formale ma si traduca in una reale capacità di intervento trasversale.

Il process owner deve inoltre essere sostenuto da quello che l'autore definisce BPM leader, interpretabile come sponsor dell'iniziativa process-oriented. Si tratta di una figura dotata di legittimazione e supporto manageriale, capace di promuovere l'adozione della governance, sostenere il cambiamento e attribuire priorità alle iniziative di miglioramento oltre i confini funzionali.

Coerentemente con questa impostazione, e in linea con quanto osservato da De Waal et al., Jurczuk (2021) evidenzia come le difficoltà di implementazione della process governance dipendano soprattutto da barriere organizzative e culturali. Tra gli ostacoli ricorrenti rientrano il livello di maturità dell'organizzazione, la difficoltà nel gestire processi complessi, la carenza di competenze tra gli stakeholder coinvolti e i vincoli imposti da strutture gerarchiche e funzionali consolidate. In particolare, una distribuzione poco chiara delle responsabilità e la debolezza dei meccanismi di coordinamento rendono difficile introdurre una governance end-to-end, perché alimentano conflitti tra priorità locali e riducono la capacità di gestire il processo nel suo complesso.

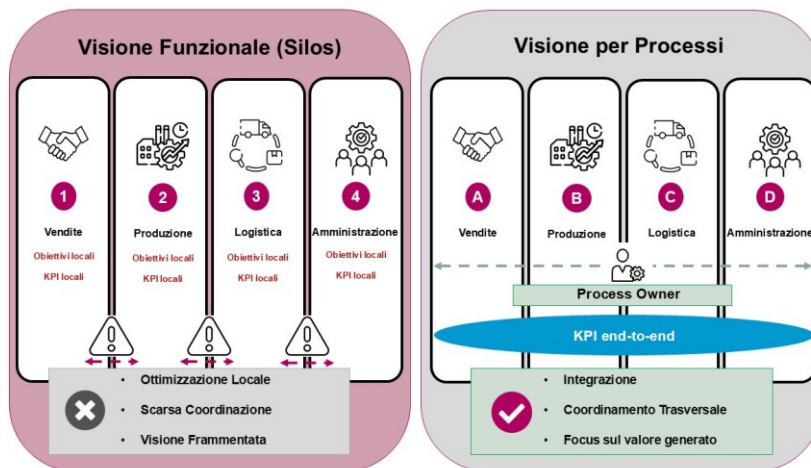


Figura 1.2: Visione Funzionale vs Visione per processi. Elaborazione propria

1.2.3 Allineamento tra strategia e KPI di processo

In questa prospettiva, la governance di processo non costituisce un ulteriore livello di burocrazia, ma una risposta organizzativa alla complessità che emerge quando la creazione di valore attraversa più funzioni. Formalizzare accountability end-to-end attraverso ruoli come process owner e BPM leader consente di ridurre la sub-ottimizzazione, chiarire i diritti decisionali e rendere praticabile un sistema di gestione della performance coerente con gli obiettivi dell'impresa. Perché tale governance sia effettiva, tuttavia, è necessario che la strategia venga tradotta in KPI di processo condivisi. In assenza di questo allineamento, le singole funzioni possono continuare a ottimizzare indicatori locali, mentre la performance end-to-end resta priva di un riferimento comune e misurabile. L'allineamento tra strategia, obiettivi e KPI costituisce quindi un elemento strutturale della governance di processo, poiché rende esplicite le priorità dell'impresa e orienta decisioni e trade-off lungo l'intera catena del valore.

In tale prospettiva, Van Looy e Shafagatova (2015) evidenziano come la misurazione della performance di processo rappresenti una componente cruciale per la competitività delle organizzazioni. L'adozione di modelli di performance measurement consente infatti di rafforzare l'allineamento tra operations e strategia, traducendo le priorità aziendali in misure coerenti con il contesto specifico dell'organizzazione. Ne consegue che la scelta delle metriche non possa essere standardizzata in modo universale, ma debba riflettere le caratteristiche e gli obiettivi della singola impresa.

La definizione dei KPI deve quindi riflettere le priorità strategiche dell'impresa. Le autrici sottolineano tuttavia che molti modelli esistenti si limitano a offrire prospettive e principi generali, senza chiarire in modo sufficientemente operativo come tradurli in misure applicabili nei diversi contesti organizzativi. In particolare, numerosi indicatori non presentano una definizione rigorosa né linee guida univoche per il calcolo e la misurazione, rendendo difficile sia il confronto tra studi sia l'applicazione in contesti reali.

L'analisi prende avvio dalla Balanced Scorecard, riconosciuta come uno dei modelli più diffusi per tradurre la strategia in obiettivi e indicatori, ma ne evidenzia anche alcuni limiti applicativi. La BSC può infatti risultare troppo generica per rappresentare in modo completo la performance dei processi e per cogliere prospettive oggi rilevanti, come quelle relative ai fornitori, alla sostenibilità o agli impatti più ampi sugli stakeholder,

rendendo utile un ampliamento del framework. Le autrici chiariscono inoltre che un set di KPI non deve essere interpretato come un elenco da adottare integralmente: gli indicatori derivano da prospettive e approcci differenti e non sono automaticamente compatibili tra loro. La loro selezione deve quindi essere guidata dalla coerenza strategica e dall'utilità decisionale, evitando dispersione e ridondanza.

Per colmare queste lacune, lo studio propone una revisione strutturata della letteratura che raccoglie un ampio insieme di indicatori di processo e li organizza in undici prospettive di performance, con l'obiettivo di favorire una misurazione più completa e meno esposta alla sub-ottimizzazione. Un risultato rilevante riguarda la distribuzione dell'attenzione nella letteratura: alcune prospettive più tradizionali, come finanza, clienti, tempi e people management, risultano maggiormente sviluppate, mentre altre dimensioni, tra cui il rapporto con i fornitori, la sostenibilità e alcuni aspetti legati a costi e flessibilità, ricevono una copertura più limitata. Questo squilibrio rafforza la necessità di ampliare la misurazione oltre gli indicatori più immediati e di selezionare KPI capaci di rappresentare in modo più completo l'impatto end-to-end del processo (Van Looy e Shafagatova, 2016).

L'utilità di un sistema di KPI multidimensionale risiede nella capacità di ridurre la sub-ottimizzazione. Misurare simultaneamente più aspetti della performance consente infatti di evidenziare gli effetti prodotti dai miglioramenti locali e di supportare la gestione dei trade-off, evitando che l'ottimizzazione di una singola dimensione, come velocità o costo, determini peggioramenti su altre, quali qualità, affidabilità o risultati economico-finanziari. Questo principio è coerente con quanto discusso nel paragrafo precedente attraverso Kaplan e Norton, secondo cui un sistema integrato di misurazione aiuta a evitare miglioramenti ottenuti a scapito di altre aree, richiedendo una valutazione congiunta dei driver operativi e dei risultati finanziari.

Infine, la crescente osservabilità dei processi abilitata dalla digitalizzazione amplia la disponibilità di indicatori e aumenta la granularità della misurazione; allo stesso tempo, questa abbondanza informativa accresce il rischio di information overload e di frammentazione interpretativa. In tale scenario, strumenti come il Process Mining rafforzano l'esigenza di una governance end-to-end: la possibilità di ricostruire il processo reale a partire dai dati-evento aumenta la capacità di misurare e diagnosticare inefficienze lungo il flusso, ma richiede ruoli e metriche condivise per trasformare le evidenze in decisioni coerenti e in miglioramento continuo. In assenza di un presidio end-

to-end, infatti, l'analisi rischia di produrre insight locali e interventi non coordinati, replicando le dinamiche dei silos che la governance di processo mira a superare (Jurczuk, 2021).

Si delinea dunque un quadro coerente: la creazione di valore avviene lungo processi end-to-end, la cui performance è multidimensionale e soggetta a trade-off tra dimensioni interdipendenti; la governance di tali processi richiede quindi il superamento delle logiche a silos attraverso ruoli trasversali, responsabilità definite e un sistema di KPI coerente con la strategia dell'impresa. Affinché questa impostazione non rimanga puramente formale, tuttavia, l'organizzazione deve disporre di una conoscenza affidabile di ciò che accade realmente nell'esecuzione dei propri processi. Definire cosa misurare, chi ne è responsabile e quali obiettivi perseguire costituisce infatti una condizione necessaria, ma non sufficiente, se non è accompagnata dalla capacità concreta di osservare il processo nella realtà operativa.

Il passaggio dalla progettazione della governance alla sua effettiva operatività solleva quindi una questione centrale: in che misura i metodi tradizionalmente utilizzati per conoscere e rappresentare i processi sono in grado di fornire evidenze sufficienti a supportare decisioni end-to-end? E quale contributo possono offrire i dati operativi generati quotidianamente da ERP, CRM e sistemi di produzione nel colmare il divario tra la rappresentazione attesa del processo e la sua esecuzione reale?

1.3 Conoscere il processo: dai metodi tradizionali alla tracciabilità digitale.

Il paragrafo si sviluppa in tre passaggi. Anzitutto si analizzano i limiti dei metodi tradizionali utilizzati per conoscere e rappresentare i processi, evidenziando il gap di evidenza che ne deriva. Si mostra quindi come i sistemi informativi aziendali generino già una memoria digitale dell'esecuzione operativa sotto forma di dati-evento, offrendo una base informativa più granulare e continuativa. Infine, si affronta la data readiness, intesa come insieme delle condizioni di completezza, coerenza e accessibilità necessarie affinché la disponibilità dei dati si traduca in una capacità effettiva di osservare, diagnosticare e migliorare i processi.

1.3.1 I limiti dei metodi tradizionali e il gap di evidenza

Per decenni, le organizzazioni hanno costruito la propria conoscenza dei processi attraverso metodi qualitativi e retrospettivi, come interviste agli stakeholder, workshop di mappatura, audit interni e, più recentemente, strumenti di Business Intelligence orientati al reporting. Questi approcci hanno rappresentato a lungo un riferimento centrale per la gestione dei processi e continuano a offrire un contributo rilevante, soprattutto nella comprensione iniziale del contesto operativo e nell'identificazione delle criticità percepite dagli attori coinvolti. Presentano tuttavia limiti strutturali quando l'organizzazione necessita di evidenze sufficientemente granulari e affidabili da supportare decisioni end-to-end.

1. **Natura soggettiva delle informazioni raccolte:** interviste e workshop restituiscono una rappresentazione del processo filtrata dalle percezioni, dalle esperienze e dai bias cognitivi dei partecipanti, che tendono a descriverlo così come dovrebbe funzionare, o come viene percepito, piuttosto che come si manifesta nella pratica quotidiana.
2. **Granularità:** gli audit, pur essendo fondamentali ai fini della conformità, operano tipicamente su campioni circoscritti e non consentono un monitoraggio continuo dell'esecuzione.
3. **Business Intelligence classica:** si concentra prevalentemente sulla dimensione del risultato e restituisce minore trasparenza su come le attività si sviluppino, devino o si accumulino lungo il flusso operativo.

In tale contesto, Kerpedzhiev et al. (2021), attraverso uno studio Delphi condotto con esperti internazionali di BPM provenienti dal mondo accademico e industriale, identificano una serie di capability che le organizzazioni devono sviluppare per gestire efficacemente i processi nell'era della digitalizzazione. Tra le capability culturali emergenti, gli autori introducono il concetto di Evidence Centricity, inteso come impegno sistematico a fondare le decisioni relative ai processi e al BPM su evidenze oggettive e insight analitici. Il fatto che questa capability venga classificata come nuova suggerisce che la gestione dei processi abbia storicamente fatto affidamento in misura rilevante su percezioni ed esperienza, senza una base sistematica di evidenze. Tale lacuna è coerente con i limiti dei metodi tradizionali appena descritti: in assenza di un orientamento strutturale all'evidenza, la conoscenza del processo rimane frammentaria e vulnerabile ai bias soggettivi.

A complemento di questa dimensione culturale, gli autori evidenziano la necessità di sviluppare competenze diffuse all'interno dell'organizzazione. In particolare, richiamano due ambiti: la Data Literacy, intesa come conoscenza delle tecniche di analisi dei dati, dei temi di privacy e sicurezza e degli asset informativi aziendali; e la Process Data Analytics, intesa come capacità di raccogliere, estrarre, correlare e analizzare i dati di processo. Queste competenze risultano critiche per colmare il divario tra la disponibilità potenziale di informazioni e la capacità effettiva dell'organizzazione di trasformarle in conoscenza utile alle decisioni (Kerpedzhiev et al., 2021). In loro assenza, anche la disponibilità di dati granulari rischia di non tradursi in un reale miglioramento della capacità decisionale.

La persistenza di questo gap è confermata dallo studio Delphi condotto da Martin et al. (2021), che identifica e classifica sistematicamente le opportunità e le sfide legate all'adozione del Process Mining nelle organizzazioni. Tra le 32 sfide individuate dal panel di 40 esperti internazionali, emergono con particolare rilevanza l'insufficiente orientamento ai dati e l'insufficiente orientamento ai processi: il primo riguarda la mancanza di una cultura data-driven, che può generare dubbi sulla validità dei risultati ottenuti; il secondo indica invece che l'assenza di una prospettiva orientata ai processi riduce la percezione del valore dell'analisi basata sui dati (Martin et al., 2021).

È inoltre rilevante osservare che alcune delle sfide identificate da Martin et al. (2021) non rappresentano problematiche nuove. Gli autori evidenziano infatti che limitazioni quali l'accesso ai dati, i costi elevati di preparazione e le difficoltà nell'interpretazione degli

output analitici erano già state documentate quasi un decennio prima da Claes e Poels (2013) e continuano a figurare tra le criticità più rilevanti. Questa persistenza suggerisce che il passaggio da una conoscenza dei processi basata sulla percezione a una fondata sull'evidenza non costituisca soltanto una sfida tecnologica, ma richieda un'evoluzione congiunta delle pratiche organizzative, delle competenze e della cultura aziendale. Coerentemente con quanto discusso in precedenza sul superamento dei silos e sull'istituzione di una governance end-to-end, si tratta quindi di una trasformazione che difficilmente può essere affrontata attraverso interventi puntuali, ma richiede un cambiamento più strutturale nel modo in cui l'organizzazione gestisce i propri processi.

1.3.2 La memoria digitale dei sistemi informativi e la tracciabilità dei processi.

Nonostante i limiti appena approfonditi, le organizzazioni dispongono già di una parte rilevante delle informazioni necessarie per costruire una conoscenza più solida dei propri processi: tali informazioni risiedono nelle infrastrutture tecnologiche che supportano l'operatività quotidiana. I sistemi informativi aziendali, come ERP, CRM, MES, sistemi di ticketing e piattaforme di gestione documentale, registrano continuamente le attività svolte da utenti e sistemi automatizzati, generando una vera e propria memoria digitale dell'esecuzione dei processi.

Suriadi et al. (2017) evidenziano che l'esecuzione dei processi lascia nei sistemi informativi tracce storiche registrate in molteplici forme, tra cui audit trail, log di sistema, database operativi e registrazioni digitalizzate. Tali tracce possono essere strutturate in event log, cioè registrazioni ordinate di eventi in cui ciascun evento è caratterizzato, nella sua forma minima, da un identificativo del caso, dal nome dell'attività eseguita e da un timestamp. A questi attributi possono aggiungersi informazioni sulla risorsa che ha eseguito l'attività, sulla localizzazione e su ulteriori elementi contestuali, ampliando il potenziale informativo del log (Suriadi et al., 2017).

Case ID	Activity	Timestamp	Resource	Unità organizzativa	Importo (€)	Case ID
ORD-1042	Ricezione ordine	12/03/2025 09:14	M. Ricci	Vendite	4.850	ORD-1042
ORD-1042	Verifica disponibilità	12/03/2025 11:02	Sistema ERP	Produzione	4.850	ORD-1042
ORD-1042	Conferma ordine	12/03/2025 16:37	M. Ricci	Vendite	4.850	ORD-1042
ORD-1042	Spedizione merce	14/03/2025 08:30	L. Ferri	Logistica	4.850	ORD-1042
ORD-1042	Emissione fattura	14/03/2025 15:10	Sistema ERP	Amministrazione	4.850	ORD-1042
ORD-1043	Ricezione ordine	12/03/2025 10:20	A. Bruni	Vendite	12.300	ORD-1043
ORD-1043	Verifica disponibilità	13/03/2025 08:45	Sistema ERP	Produzione	12.300	ORD-1043
ORD-1043	Richiesta approvazione	13/03/2025 09:10	A. Bruni	Vendite	12.300	ORD-1043
ORD-1043	Approvazione credito	15/03/2025 11:25	G. Neri	Amministrazione	12.300	ORD-1043
ORD-1043	Conferma ordine	15/03/2025 14:02	A. Bruni	Vendite	12.300	ORD-1043
ORD-1043	Spedizione merce	18/03/2025 09:40	L. Ferri	Logistica	12.300	ORD-1043
ORD-1043	Emissione fattura	18/03/2025 16:20	Sistema ERP	Amministrazione	12.300	ORD-1043

Tabella 1.1: Struttura di un event log: estratto di un processo order-to-cash. Elaborazione propria.

È importante sottolineare che questi dati non vengono generati per l'analisi dei processi, ma come sottoprodotto dell'operatività dei sistemi: ogni ordine inserito nell'ERP, ogni ticket aperto nel sistema di assistenza e ogni movimentazione registrata nel MES produce eventi che, se opportunamente estratti e organizzati, consentono di ricostruire il comportamento effettivo del processo.

Questa condizione rappresenta un cambiamento qualitativo rispetto al passato: la tracciabilità digitale rende i processi potenzialmente osservabili in modo più granulare e continuativo, superando parte dei limiti di copertura e tempestività tipici dei metodi tradizionali. Laddove interviste e workshop restituiscono una fotografia puntuale e mediata dalla percezione dei partecipanti, i dati-evento consentono di analizzare il processo così come si manifesta nella realtà operativa, includendo varianti, eccezioni, deviazioni e pattern ricorrenti che i metodi qualitativi difficilmente riescono a intercettare con la stessa sistematicità.

Martin et al. (2021) confermano che la maggiore trasparenza dei processi rappresenta uno dei benefici più rilevanti dell'analisi basata sui dati-evento. Tra le 30 opportunità identificate nello studio, la possibilità di visualizzare i flussi reali sulla base di dati concreti rientra infatti tra quelle valutate come estremamente rilevanti dagli esperti coinvolti. Emergono inoltre la possibilità di mantenere un repository aggiornato dei processi aziendali e di supportare la gestione dei dati, individuando criticità e opportunità di miglioramento nelle modalità di registrazione delle informazioni. Particolare rilievo

assume infine l'analisi di varianti ed eccezioni: i dati-evento consentono di identificare non soltanto il percorso principale del processo, ma anche deviazioni, casi anomali e comportamenti ricorrenti, offrendo una base informativa che i metodi tradizionali difficilmente riescono a garantire con la stessa sistematicità e copertura (Martin et al., 2021).

1.3.3 Data readiness: dalla disponibilità dei dati alla loro utilizzabilità.

Affinché questa osservabilità si traduca in una capacità organizzativa effettiva, tuttavia, non è sufficiente che i dati vengano generati: è necessario che l'organizzazione sviluppi le condizioni per raccogliarli, integrarli e analizzarli in modo strutturato. La Process Data Analytics e la Data Literacy, già richiamate come competenze necessarie per trasformare i dati in conoscenza utile alle decisioni, richiedono a loro volta un'infrastruttura abilitante. Kerpedzhiev et al. (2021) identificano a questo proposito la BPM Platform Integration come una capability necessaria, relativa alla costituzione e al mantenimento di una piattaforma BPM integrata e dotata di interfacce standardizzate con gli altri sistemi aziendali. In assenza di tale infrastruttura, i dati-evento restano dispersi tra sistemi eterogenei e la capacità analitica dell'organizzazione risulta frammentata e difficilmente scalabile.

A completamento di queste capability operative, e in continuità con la logica di governance già delineata, Kerpedzhiev et al. (2021) introducono la Process Data Governance come una nuova capability di governo. Essa definisce standard e linee guida per l'estrazione, la raccolta, l'assicurazione della qualità, la correlazione, l'archiviazione, l'analisi, la sicurezza e la privacy dei dati di processo, strutturati e non strutturati. Il collegamento con la governance end-to-end è diretto: così come la governance di processo richiede ruoli, responsabilità e KPI definiti, la governance dei dati richiede regole condivise che ne garantiscano qualità, accessibilità e utilizzabilità. In assenza di tale presidio, la memoria digitale dei sistemi informativi resta un potenziale inespresso, poiché i dati, pur essendo disponibili, non risultano adeguati a supportare analisi affidabili e decisioni coerenti con gli obiettivi dell'impresa.

La disponibilità dei dati, tuttavia, non esaurisce il problema: il fatto che i sistemi informativi generino quotidianamente tracce delle attività eseguite non implica automaticamente che tali dati siano utilizzabili a fini di analisi e decisione. Il passaggio

dalla disponibilità all'utilizzabilità rappresenta una sfida che le organizzazioni tendono spesso a sottovalutare, trattandola come un aspetto tecnico da delegare ai team IT anziché come una responsabilità manageriale che incide direttamente sulla qualità delle decisioni e, di conseguenza, sulla performance dei processi.

Suriadi et al. (2017) inquadrano questa problematica richiamando il principio *garbage-in, garbage-out*: la qualità dei risultati prodotti da un'analisi basata sui dati dipende dalla qualità dei dati in ingresso. Nel contesto specifico dell'analisi dei processi, ciò significa che un event log contenente informazioni incomplete, imprecise o strutturalmente incoerenti può produrre modelli e insight fuorvianti, indipendentemente dalla sofisticazione delle tecniche analitiche impiegate. Gli autori sottolineano inoltre che la preparazione degli event log è un'attività necessaria ma spesso condotta in modo non sistematico e ad hoc, con il rischio di introdurre errori o di non intercettare problematiche capaci di compromettere la validità dei risultati (Suriadi et al., 2017).

Per documentare la natura e la ricorrenza di tali problematiche, gli autori propongono una tassonomia di undici pattern di imperfezione, ricavati dall'esperienza diretta in contesti industriali reali. Tra questi figurano, a titolo esemplificativo, l'appiattimento dei timestamp causato dai meccanismi di salvataggio delle form elettroniche, l'impossibilità di ricondurre gli eventi ai rispettivi casi di processo in assenza di identificativi univoci e la frammentazione delle informazioni tra sistemi differenti, che impedisce di ricostruire il flusso end-to-end. Quest'ultimo aspetto si ricollega direttamente alla problematica dei silos funzionali discussa in precedenza: la frammentazione dei dati tra sistemi riflette e amplifica quella organizzativa, trasferendo sul piano informativo le stesse discontinuità che la governance end-to-end mira a superare sul piano gestionale. La rilevanza pratica di questi pattern è confermata dai dati empirici riportati dagli autori: in una valutazione condotta con esperti di Process Mining, ciascun rispondente ha identificato in media sette degli undici pattern proposti nei propri dataset, mostrando come non si tratti di problematiche occasionali ma di criticità ricorrenti con cui le organizzazioni devono confrontarsi (Suriadi et al., 2017).

Questa evidenza converge con i risultati di Martin et al. (2021), che confermano su scala più ampia la centralità dei problemi legati alla qualità e all'accessibilità dei dati. Tra le 32 sfide identificate dallo studio, la scarsa qualità dei dati, cioè la presenza di informazioni inaccurate, incomplete o contenenti rumore, e la complessità della loro preparazione,

intesa come lo sforzo necessario per estrarre e pre-processare le informazioni, risultano entrambe valutate come estremamente rilevanti dagli intervistati. A queste si aggiungono le barriere all'accesso ai dati, dovute a limitazioni dipartimentali e organizzative, e l'indisponibilità degli stessi dati-evento necessari all'analisi (Martin et al., 2021). Il fatto che tali criticità figurino tra quelle di maggiore rilevanza e che alcune fossero già documentate quasi un decennio prima senza essere state pienamente superate rafforza l'idea che la data readiness non possa essere trattata come un prerequisito tecnico da soddisfare una tantum, ma debba essere intesa come una responsabilità manageriale continuativa, integrata nella governance dei processi e dei dati.

Ne consegue che, in chiave manageriale, la data readiness non si esaurisce nella semplice presenza dei dati nei sistemi, ma comprende almeno tre dimensioni interdipendenti: la completezza, cioè la capacità dei dati di rappresentare il perimetro del processo senza lacune significative; la coerenza, intesa come standardizzazione e affidabilità delle registrazioni tra sistemi e funzioni differenti; e l'accessibilità, riferita alla possibilità concreta per gli attori coinvolti nella governance del processo di accedere ai dati necessari senza barriere dipartimentali o tecniche. In assenza anche di una sola di queste condizioni, l'organizzazione rischia di fondare le proprie decisioni su una rappresentazione parziale o distorta del processo, vanificando gli sforzi di miglioramento e replicando, sul piano informativo, le dinamiche di sub-ottimizzazione che la governance end-to-end mira a eliminare sul piano organizzativo.

Quando queste condizioni sono soddisfatte, la tracciabilità digitale apre possibilità che vanno oltre la semplice osservazione del processo: dati completi, coerenti e accessibili consentono di ricostruirne in modo più affidabile il comportamento, individuare le cause delle inefficienze anziché limitarsi a registrarne gli effetti, misurare l'impatto degli interventi confrontando la performance prima e dopo la loro implementazione e monitorarne nel tempo l'evoluzione. La data readiness non rappresenta quindi soltanto una condizione necessaria per conoscere il processo, ma costituisce il presupposto abilitante per intervenire su di esso in modo informato, misurabile e coerente con la governance e i KPI definiti nei paragrafi precedenti. Una volta chiarite le condizioni informative necessarie per costruire una rappresentazione affidabile dell'esecuzione operativa, occorre quindi esaminare attraverso quali approcci e leve l'organizzazione possa tradurre questa conoscenza in interventi concreti di miglioramento e quali condizioni ne determinino l'efficacia.

1.4 Approcci al miglioramento dei processi e condizioni per la loro efficacia

La conoscenza del processo reale, resa possibile dalla tracciabilità digitale e dalla data readiness discusse nel paragrafo precedente, acquista valore quando viene tradotta in interventi concreti di miglioramento.

Il paragrafo si articola in quattro passaggi. Anzitutto si distinguono le principali logiche di intervento attraverso cui la letteratura affronta il miglioramento dei processi, mostrando come la loro scelta dipenda dalla natura della criticità e dal contesto operativo. Si esaminano quindi le leve operative attraverso cui tali logiche si traducono in interventi concreti e i criteri utilizzati per giustificarli e prioritizzarli. Successivamente si evidenzia il prerequisito che ne condiziona trasversalmente l'efficacia, ovvero la capacità di osservare il processo reale, diagnosticarne le criticità e misurare l'impatto delle azioni intraprese. Infine, si affrontano le condizioni organizzative necessarie affinché un miglioramento progettato si traduca in un cambiamento effettivamente adottato e sostenibile nel tempo.

1.4.1 Tre logiche di intervento: eliminare, ridisegnare, iterare

La letteratura sul Business Process Management propone diversi approcci al miglioramento, ciascuno fondato su una diversa logica di intervento e su un diverso livello di ambizione nel cambiamento. Dumas et al. (2018) distinguono in particolare tra metodi di redesign transazionali, orientati al miglioramento incrementale del processo esistente, e metodi trasformazionali, finalizzati invece a un ripensamento più radicale. All'interno di questo spettro è possibile individuare tre logiche complementari, la cui applicazione dipende dalla natura della criticità, dagli obiettivi perseguiti e dal contesto operativo in cui l'organizzazione interviene.

1. **Eliminazione e della standardizzazione:** comunemente associata al Lean Management. Quando il processo è strutturalmente valido ma presenta sprechi, attese, ridondanze, rilavorazioni o variabilità non necessaria, l'intervento si concentra sull'identificazione e sulla rimozione sistematica delle attività che non generano valore per il cliente o per l'organizzazione. Dumas et al. (2018) collocano questa logica tra le euristiche di redesign transazionale, evidenziando

in particolare l'eliminazione delle attività non a valore aggiunto, la riduzione dei passaggi di responsabilità tra funzioni e la rimozione dei controlli ridondanti come leve tipiche del miglioramento incrementale. Il Lean opera quindi attraverso una logica di miglioramento continuo, orientata alla stabilizzazione del flusso e alla riduzione della dispersione, assumendo che la struttura complessiva del processo sia adeguata e che il problema risieda principalmente nella sua esecuzione piuttosto che nella sua progettazione.

2. **Ridisegno radicale:** proprio del Business Process Reengineering. Quando la diagnosi mostra che il processo non è semplicemente inefficiente nella sua esecuzione, ma risulta strutturalmente inadeguato rispetto agli obiettivi dell'impresa, alle aspettative del cliente o alle possibilità offerte dalla tecnologia, il miglioramento incrementale non è sufficiente. Hammer e Champy (1993), già richiamati nel paragrafo 1.1, teorizzano la necessità di un ripensamento fondamentale del flusso operativo: l'obiettivo non è migliorare ciò che esiste, ma riconfigurare attività, ruoli e tecnologie per ottenere un salto significativo nella performance. Dumas et al. (2018) illustrano questa logica attraverso il caso IBM Credit, in cui il processo di approvazione dei finanziamenti venne radicalmente ristrutturato sostituendo una catena di specialisti funzionali con un unico operatore generalista supportato da sistemi informativi, con una forte riduzione del tempo di attraversamento e un aumento del volume di pratiche gestite senza incremento dell'organico. Il caso mostra come il BPR intervenga sulla progettazione stessa del processo, più che sulla sua esecuzione, e comporti quindi un livello di rischio e di impatto organizzativo superiore rispetto all'approccio incrementale.
3. **Iterazione rapida e adattamento:** tipica dell'approccio Agile. Quando il contesto è incerto, in rapida evoluzione o caratterizzato da requisiti non pienamente definiti, né il miglioramento incrementale né il ridisegno radicale risultano sempre adeguati: il primo rischia di ottimizzare un processo destinato a cambiare nel breve periodo, mentre il secondo può richiedere investimenti in un ridisegno che rischia di diventare obsoleto prima ancora di essere completato. In questi scenari, l'approccio più coerente prevede cicli brevi di intervento, verifica e adattamento, nei quali ciascun ciclo produce un miglioramento circoscritto, successivamente testato, misurato e raffinato sulla base dei risultati osservati. Kerpedzhiev et al. (2021), nel framework già introdotto in precedenza, formalizzano questa logica

nella capability denominata Agile Process Improvement, definita come il miglioramento rapido e iterativo dei processi basato su dati di performance e feedback dei partecipanti, in particolare dei clienti.

Queste tre logiche non sono mutuamente esclusive: la stessa organizzazione può applicare approcci differenti a processi diversi oppure combinarli in fasi successive dello stesso intervento. Ciò che le accomuna è la necessità di tradurre la logica scelta in leve operative concrete e di valutarne l'adozione sulla base dell'impatto atteso.

1.4.2 Leve operative e logica del value case

Indipendentemente dalla logica di intervento adottata, il miglioramento dei processi si traduce nell'applicazione di leve operative che agiscono sulla struttura, sull'esecuzione o sulla tecnologia del processo. Dumas et al. (2018) propongono ventinove euristiche di intervento, derivate da progetti reali e classificate in base all'elemento del processo su cui incidono: rapporto con il cliente, operazioni, comportamento del flusso, organizzazione, risorse informative, tecnologia e ambiente esterno. Pur mantenendo specificità differenti, tali euristiche possono essere ricondotte a quattro macrocategorie di leve che costituiscono il repertorio operativo a disposizione dell'organizzazione:

1. **Standardizzazione:** mira a ridurre la variabilità nelle modalità di esecuzione attraverso procedure comuni e regole condivise. Gli autori includono in questa categoria euristiche come la definizione di tipologie di caso, che consente di differenziarne il trattamento in base alla complessità, e la standardizzazione delle interfacce con clienti e partner, che riduce errori e informazioni incomplete. Il risultato è un processo più prevedibile, che richiede minore coordinamento discrezionale e rende più affidabile la misurazione della performance.
2. **Semplificazione:** interviene eliminando attività, passaggi o controlli che non generano valore. Tra le euristiche indicate dagli autori rientrano l'eliminazione delle attività non necessarie, la riduzione del numero di risorse coinvolte nel processo e la diminuzione dei contatti con clienti e terze parti. Queste leve riducono la complessità del flusso, con effetti sui tempi di attraversamento e sui costi di coordinamento.

3. **Automazione:** delega a sistemi informatici attività ripetitive e rule-based. L'euristica denominata "activity automation" prevede di considerare l'automazione delle attività come strumento per migliorare i tempi di processamento, ottenere risultati più prevedibili e ridurre i costi, e gli autori specificano che anche l'automazione parziale, intesa come supporto informatico all'operatore anziché sostituzione completa, può generare benefici significativi. A questa si affianca la "integral technology", ovvero l'applicazione di nuove tecnologie per superare vincoli fisici nel processo, ad esempio attraverso l'adozione di sistemi di gestione documentale o di piattaforme BPM che rendano le informazioni accessibili a tutti i partecipanti.
4. **Redesign:** interviene ripensando la sequenza, la logica o la distribuzione delle attività nel flusso. Euristiche come il parallelismo, che consente di eseguire simultaneamente attività precedentemente sequenziali, il case-based work, che elimina l'accumulo in batch e i vincoli di periodicità, e l'empowerment, che attribuisce maggiore autonomia decisionale agli operatori riducendo i passaggi di approvazione, agiscono direttamente sulla struttura del processo modificandone la configurazione operativa. Queste leve non sono mutuamente esclusive e possono essere combinate all'interno dello stesso intervento: un progetto di miglioramento potrebbe semplificare alcune fasi, automatizzarne altre e ridisegnare la sequenza complessiva.

Leva	Logica di intervento	Euristiche	Dimensioni migliorate	Tensione tipica
Standardizzazione	Ridurre la variabilità nelle modalità di esecuzione	- Case types - Interfacing - Triage	Tempo, costo, qualità	Riduce la flessibilità nel trattamento dei casi atipici
Semplificazione	Eliminare attività, passaggi e controlli che non generano valore	- Activity elimination - Numerical involvement - Contact reduction	Tempo, costo, qualità	Rimuovere controlli può esporre a errori non intercettati
Automazione	Delegare a sistemi le attività ripetitive e rule-based	- Activity automation - Integral technology	Tempo, costo, qualità	Richiede investimento iniziale e irrigidisce le eccezioni
Redesign	Ripensare sequenza, logica e distribuzione delle attività	- Parallelism - Case-based work - Empower	Tempo, costo, flessibilità	Aumenta il coordinamento richiesto e l'impatto organizzativo

Tabella 1.2: Le quattro leve operative e i relativi trade-off. Elaborazione propria a partire da Dumas et al. (2018)

Un aspetto cruciale è che ogni intervento di miglioramento comporta trade-off tra le dimensioni della performance. Dumas et al. (2018) formalizzano questo concetto attraverso il Devil's Quadrangle, un framework che considera quattro dimensioni fondamentali: tempo, costo, qualità e flessibilità, e mostra come il miglioramento lungo una di esse possa produrre effetti indesiderati sulle altre. Nella tabella di sintesi proposta dagli autori, ciascuna delle ventinove euristiche viene associata alle dimensioni su cui produce un impatto positivo: ad esempio, il parallelismo migliora il tempo ma non incide necessariamente su costo, qualità o flessibilità; l'eliminazione delle attività può migliorare tempo e costo senza produrre benefici sulla qualità; l'aggiunta di controlli, invece, può migliorare la qualità a scapito del tempo di attraversamento. Questa dinamica è coerente con quanto discusso nel paragrafo 1.1 sulle dimensioni della performance e sulle loro interdipendenze: l'obiettivo non è massimizzare una singola leva, ma governare consapevolmente i trade-off, allineando le scelte operative alla strategia competitiva dell'impresa.

Ne consegue che ogni intervento di miglioramento debba essere sostenuto da un value case, cioè da una valutazione strutturata dei benefici attesi, dei costi di implementazione e dell'impatto complessivo sulla performance del processo e sui risultati economico-finanziari dell'impresa. Lehnert et al. (2016) affrontano questa esigenza proponendo un modello di pianificazione del portfolio dei progetti di miglioramento, fondato sui principi del value-based management. Gli autori osservano che le organizzazioni devono spesso sviluppare simultaneamente la propria capability di BPM e migliorare i singoli processi, e che queste due esigenze sono interdipendenti: i progetti a livello di BPM, come l'adozione di strumenti di modellazione o la formazione sulle tecniche di redesign, non generano valore direttamente, ma facilitano l'implementazione di successivi progetti di miglioramento; questi ultimi agiscono invece sulle dimensioni di costo, qualità e tempo dei processi specifici (Lehnert et al., 2016). Il modello proposto assiste le organizzazioni nel determinare quali progetti implementare e in quale sequenza per massimizzare il contributo al valore dell'impresa, misurato in termini di Net Present Value, tenendo conto degli effetti di ciascun progetto sulla performance, delle interazioni tra progetti diversi e dei vincoli di risorse e budget. Questo approccio implica che la prioritizzazione degli interventi non possa basarsi esclusivamente sulla percezione dell'urgenza o sulla facilità di implementazione, ma debba considerare congiuntamente l'impatto atteso sulle dimensioni della performance, la fattibilità operativa, le dipendenze temporali tra progetti

e la coerenza con i KPI definiti nella governance di processo. In assenza di un value case strutturato, l'organizzazione rischia di allocare risorse su interventi che producono miglioramenti marginali o che, pur generando benefici su una dimensione, deteriorano la performance su altre, riproducendo le dinamiche di sub-ottimizzazione già discusse nella trattazione precedente.

1.4.3 Il prerequisito comune: visibilità, misurabilità e ciclo evidence-based

Ciò che accomuna tutte le logiche di intervento e le leve di miglioramento è un prerequisito che ne condiziona trasversalmente l'efficacia: la capacità di osservare il processo reale, diagnosticare le cause delle inefficienze e misurare l'impatto delle azioni intraprese. Non si tratta di un elemento accessorio, ma di una condizione strutturale, in assenza della quale la scelta dell'approccio, la selezione delle leve e la costruzione del value case rischiano di fondarsi su ipotesi non verificate anziché su evidenze.

Senza visibilità end-to-end, il Lean rischia di eliminare attività percepite come spreco che, in realtà, compensano disfunzioni presenti a monte o a valle del flusso. Un'attività di controllo apparentemente ridondante potrebbe, ad esempio, esistere perché una fase precedente genera errori che non vengono intercettati: eliminarla senza averne prima identificato la causa produrrebbe un miglioramento apparente in termini di tempo e costo, ma potrebbe deteriorare qualità e affidabilità nelle fasi successive. Questa dinamica rappresenta precisamente il tipo di trade-off non governato descritto dal Devil's Quadrangle e che la governance end-to-end, come discusso nel paragrafo 1.2, mira a prevenire.

Senza misurabilità, il BPR non consente di verificare in modo affidabile se il ridisegno abbia prodotto risultati superiori rispetto al processo precedente. Un intervento di reengineering comporta investimenti significativi, disruption operativa e costi di change management: se l'organizzazione non è in grado di misurare la performance prima e dopo l'intervento lungo le dimensioni rilevanti, diventa difficile valutare il ritorno dell'investimento, verificare la coerenza dei trade-off accettati con la strategia e costruire un business case credibile per interventi successivi. Il value case proposto da Lehnert et al. (2016) richiede infatti la quantificazione degli effetti sulla performance: senza una baseline misurabile e senza la capacità di rilevare i cambiamenti post-intervento, la valutazione perde gran parte della propria efficacia.

Senza dati su cui iterare, l'approccio Agile rischia di ridursi a una sequenza di cambiamenti poco informati, privi della base empirica necessaria per distinguere gli interventi efficaci da quelli che non producono risultati. L'Agile Process Improvement, così come definito da Kerpedzhiev et al. (2021), si fonda infatti su dati di performance e feedback: se tali informazioni non sono disponibili, affidabili e tempestive, il ciclo di iterazione perde efficacia e rischia di trasformarsi in una successione di modifiche basate prevalentemente su intuizioni, con la possibilità di introdurre nuova variabilità anziché ridurla.

industrie, confermano la centralità di visibilità e misurabilità nelle iniziative di miglioramento. Tra le principali difficoltà emerge la capacità di quantificare il valore generato dall'analisi dei processi e di tradurlo in benefici in metriche di business comprensibili per il management. Gli intervistati evidenziano inoltre la necessità di disporre di criteri chiari per selezionare i processi su cui concentrare gli sforzi e di allineare le iniziative di miglioramento con la strategia e le operations dell'organizzazione (Grisold et al., 2021). Lo studio richiama inoltre un tema già emerso nel paragrafo 1.3: la volontà di fondare le decisioni su evidenze derivanti dai dati non è sufficiente se le condizioni organizzative ne limitano l'utilizzo. Barriere nell'accesso ai dati, incertezza sulla loro qualità e competenze analitiche distribuite in modo disomogeneo possono infatti ostacolare la trasformazione delle evidenze in decisioni operative. Il gap tra disponibilità dei dati e loro effettiva utilizzabilità incide quindi direttamente sulla capacità dell'organizzazione di condurre interventi di miglioramento evidence-based.

Questo collegamento chiude il cerchio tra i tre elementi chiave analizzati nel capitolo: la governance end-to-end definisce responsabilità e obiettivi del processo; la tracciabilità digitale e la data readiness forniscono la base informativa necessaria per osservarlo e misurarlo; gli approcci di miglioramento traducono infine questa conoscenza in interventi concreti. I tre elementi formano quindi un sistema interdipendente: la governance senza evidenze rischia di rimanere formale, le evidenze senza governance possono produrre insight frammentati, mentre gli interventi privi di visibilità e misurabilità rischiano di generare cambiamenti difficili da verificare e sostenere nel tempo.

1.4.4 Adozione organizzativa: dal miglioramento progettato al miglioramento realizzato

La coerenza tra governance, evidenze e approcci di miglioramento costituisce una condizione necessaria ma non sufficiente per produrre risultati duraturi. Affinché un intervento progettato si traduca in un miglioramento effettivamente realizzato e sostenibile nel tempo, è necessario che l'organizzazione sia in grado di adottare, sostenere e istituzionalizzare il cambiamento. Questa dimensione, talvolta trattata come complementare rispetto agli aspetti tecnici e metodologici, può rappresentare nella pratica uno dei principali fattori che limitano l'efficacia delle iniziative di miglioramento dei processi.

Le resistenze al cambiamento possono assumere forme diverse, dal rifiuto esplicito da parte degli operatori che percepiscono l'intervento come una minaccia alle proprie competenze o al proprio ruolo, fino all'inerzia organizzativa generata da routine consolidate o a forme di resistenza passiva favorite da incentivi incoerenti con gli obiettivi del miglioramento. Grisold et al. (2021) evidenziano inoltre che la trasparenza prodotta dall'analisi basata sui dati può diventare essa stessa una fonte di resistenza: rendere visibili le modalità reali di esecuzione del processo significa infatti esporre inefficienze, deviazioni e comportamenti individuali, con il rischio di attivare meccanismi difensivi da parte di chi si sente monitorato o valutato. Gli autori sottolineano quindi la necessità di anticipare e gestire l'impatto sulla cultura e sull'ambiente di lavoro attraverso politiche trasparenti sull'uso dei dati e una comunicazione chiara degli obiettivi (Grisold et al., 2021). Lo studio mostra inoltre come alcuni ritardi nelle iniziative di Process Mining siano riconducibili a barriere organizzative più che tecniche. In particolare, le difficoltà nell'accesso e nell'integrazione dei dati possono essere accentuate dal mancato coinvolgimento dei team responsabili nei processi decisionali, generando asimmetrie informative e rallentamenti che la sola disponibilità di soluzioni tecnologiche non è sufficiente a risolvere (Grisold et al., 2021).

Queste dinamiche si ricollegano direttamente alle barriere organizzative già analizzate nei paragrafi precedenti. De Waal et al. (2019) evidenziano come la silo mentality possa ostacolare la collaborazione cross-boundary e come il suo superamento richieda una base culturale e valoriale condivisa, sistemi di incentivazione coerenti e una leadership capace di promuovere cooperazione e responsabilità trasversali. Analogamente, Jurczuk (2021)

individua tra le principali difficoltà nell'implementazione della governance di processo la maturità organizzativa, la carenza di competenze degli stakeholder e i vincoli derivanti da strutture gerarchiche consolidate. Gli stessi fattori possono ostacolare anche l'adozione degli interventi di miglioramento: se il process owner non dispone di authority e accountability effettive, gli incentivi continuano a premiare risultati di reparto e la sponsorship manageriale è debole o intermittente, anche un intervento metodologicamente solido rischia di produrre benefici temporanei, difficili da consolidare nel tempo.

Ne consegue che il miglioramento dei processi non possa essere concepito come un'attività progettuale isolata, ma debba essere inserito in un ciclo continuo che collega insight, decisione, intervento, misurazione e apprendimento. L'osservazione del processo reale attraverso i dati genera gli insight necessari a individuare dove e come intervenire; tali evidenze vengono quindi tradotte in decisioni coerenti con il value case e con i KPI definiti dalla governance. L'intervento applica le leve di miglioramento selezionate, mentre la successiva misurazione consente di verificare gli effetti prodotti sulle diverse dimensioni della performance e di individuare eventuali trade-off non previsti. I risultati ottenuti alimentano infine un processo di apprendimento che aggiorna la conoscenza del processo, consolida le pratiche efficaci e orienta i cicli successivi di miglioramento. In assenza di questa circolarità, il miglioramento rischia di rimanere episodico e difficile da sostenere nel tempo; quando invece il ciclo viene istituzionalizzato, la gestione del miglioramento può consolidarsi come una capability organizzativa stabile e orientata alla generazione di valore.

1.5 Sintesi e prospettive: verso un approccio data-driven alla gestione dei processi

Il percorso sviluppato nel capitolo ha progressivamente delineato un quadro in cui ciascun elemento non costituisce un tema autonomo, ma una condizione di efficacia per quelli successivi.

Il punto di partenza è che il vantaggio competitivo non dipende soltanto da ciò che l'impresa offre, ma anche da come vengono eseguite e coordinate le attività che rendono possibile tale output. La catena del valore di Porter, e in particolare il ruolo attribuito ai linkages, mostra che le attività sono interdipendenti: il modo in cui una viene eseguita può influenzare costi ed efficacia delle altre, rendendo l'ottimizzazione locale

insufficiente a garantire un miglioramento complessivo. Il processo end-to-end emerge così come l'unità più coerente per comprendere la creazione del valore, mentre la sua performance rappresenta il meccanismo attraverso cui il miglioramento operativo può tradursi in maggiore marginalità, ricavi più sostenibili e migliore generazione di cassa. Tale performance è tuttavia multidimensionale: tempo, costo, qualità, affidabilità e variabilità e le sue dimensioni presentano trade-off e interdipendenze che richiedono una gestione integrata anziché la massimizzazione di singoli indicatori.

Da questa premessa emergono i limiti di una gestione esclusivamente organizzata per funzioni. I silos non separano soltanto attività e responsabilità, ma possono favorire dinamiche di ottimizzazione locale, indebolire i linkages tra attività e frammentare la capacità di governare il processo nella sua interezza. Il loro superamento richiede interventi culturali e collaborativi, ma per consolidarsi nel tempo deve poggiare anche su una governance formale end-to-end, fondata su ruoli come il process owner, dotati di authority e accountability effettive, sul supporto del BPM leader e su un sistema di KPI coerente con la strategia dell'impresa. In assenza di questo allineamento, le singole funzioni possono continuare a ottimizzare indicatori locali mentre la performance complessiva del processo rimane priva di un riferimento condiviso e misurabile.

Definire cosa misurare e chi ne è responsabile, tuttavia, non equivale a conoscere ciò che accade realmente nell'esecuzione del processo. I metodi tradizionali come interviste, workshop, audit e Business Intelligence orientata al reporting possono restituire rappresentazioni filtrate dalle percezioni degli attori coinvolti, limitate nella copertura o maggiormente concentrate sui risultati che sul comportamento del flusso. A questa esigenza risponde il concetto di Evidence Centricity introdotto da Kerpedzhiev et al., che richiede competenze diffuse di Data Literacy e Process Data Analytics. Una base informativa più granulare è già presente nei sistemi aziendali: i dati-evento generati come sottoprodotto dell'operatività consentono infatti di ricostruire il processo reale, incluse varianti, eccezioni e deviazioni. Questa osservabilità non è però automatica. La data readiness, intesa in chiave manageriale come completezza, coerenza e accessibilità dei dati, costituisce una responsabilità continuativa di governo; in sua assenza, la frammentazione informativa tra sistemi rischia di riprodurre sul piano dei dati le stesse discontinuità che la governance end-to-end mira a superare sul piano organizzativo.

La conoscenza del processo acquista infine valore quando viene tradotta in interventi di miglioramento. Le tre logiche esaminate (eliminare, ridisegnare e iterare) differiscono per natura della criticità affrontata e livello di ambizione, ma condividono la necessità di tradursi in leve operative concrete e di essere sostenute da un value case che ne valuti benefici, costi e coerenza con i KPI. La loro efficacia dipende inoltre dalla disponibilità di evidenze: senza visibilità end-to-end, il Lean rischia di eliminare attività che compensano disfunzioni presenti altrove nel processo; senza misurabilità, il BPR non consente di verificare pienamente il valore prodotto dal ridisegno; senza dati affidabili e tempestivi, l'approccio Agile rischia di ridursi a una successione di cambiamenti poco informati. A ciò si aggiunge la dimensione organizzativa: resistenze, incentivi incoerenti e debole sponsorship possono limitare la capacità di trasformare un miglioramento progettato in un cambiamento effettivamente adottato e sostenibile nel tempo.

Il quadro che ne risulta è quindi quello di un sistema interdipendente: una governance priva di evidenze rischia di rimanere formale, le evidenze senza governance possono produrre insight frammentati e gli interventi privi di visibilità e misurabilità risultano difficili da verificare e consolidare. Emerge quindi l'esigenza di un approccio capace di collegare queste dimensioni, ricostruendo il processo reale a partire dai dati-evento, misurandone la performance, individuando le cause delle inefficienze e alimentando un ciclo continuo di insight, decisione, intervento, misurazione e apprendimento. In questa prospettiva si colloca il Process Mining, oggetto del capitolo successivo.

Sistema Interdipendente e ciclo di miglioramento continuo

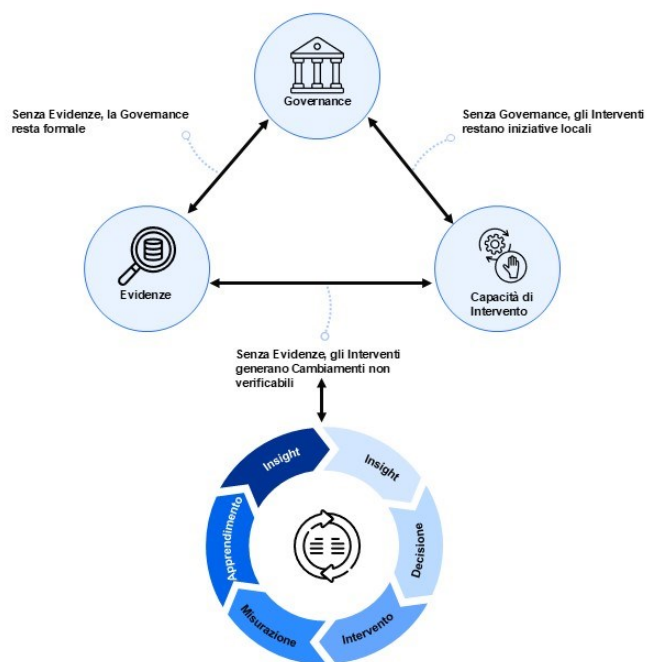


Figura 1.3 Governance, evidenze e capacità di intervento come sistema interdipendente.
Elaborazione propria.

CAPITOLO 2: PROCESS MINING: DAI DATI-EVENTO AL PROCESSO REALE

Il capitolo precedente ha mostrato che la gestione efficace dei processi richiede l'integrazione tra governance, evidenze e capacità di intervento, e che la data readiness costituisce una condizione necessaria per osservare il processo reale e misurare gli effetti delle azioni intraprese. In questa prospettiva, il Process Mining rappresenta il punto di raccordo tra disponibilità dei dati e capacità di trasformarli in evidenze utili alla gestione e al miglioramento dei processi.

Il capitolo ha quindi l'obiettivo di definire il Process Mining, chiarirne i presupposti informativi, le principali forme di analisi e le condizioni necessarie affinché il suo utilizzo produca valore. Il taglio è intenzionalmente gestionale: l'interesse non risiede negli algoritmi sottostanti, ma in ciò che il Process Mining rende osservabile, nelle domande a cui consente di rispondere e nelle condizioni tecniche e organizzative che ne determinano l'efficacia. Il percorso si sviluppa in cinque passaggi: dapprima si definisce il Process Mining e se ne chiarisce il posizionamento rispetto alle discipline e agli approcci affini; si esaminano quindi le scelte che determinano la costruzione e l'affidabilità dell'event log; si approfondiscono le principali tecniche di analisi e gli insight che esse rendono disponibili; si affrontano successivamente le condizioni progettuali e organizzative necessarie per trasformare tali evidenze in capacità di intervento; infine, si analizza il supporto strumentale, definendo i criteri di scelta delle piattaforme e collegandoli al caso applicativo del capitolo successivo.

2.1 Il Process Mining: tra data science e process science

Il paragrafo si sviluppa in tre passaggi. Anzitutto si definisce il Process Mining e se ne chiarisce la collocazione rispetto alle discipline da cui deriva, mostrando come la sua specificità risieda nel confronto sistematico tra comportamento osservato e modelli di processo. Si esaminano quindi le principali tipologie di analisi, interpretate non come semplici varianti algoritmiche ma come risposte a domande gestionali distinte. Infine, il Process Mining viene confrontato con gli strumenti e gli approcci di miglioramento già utilizzati dalle organizzazioni, chiarendo quale valore possa offrire e quali condizioni siano necessarie perché tale valore si realizzi.

2.1.1 Definizione e collocazione disciplinare

Nel capitolo precedente si è osservato che i sistemi informativi aziendali generano quotidianamente una memoria digitale dell'esecuzione dei processi, e che tale memoria costituisce il presupposto per fondare le decisioni su evidenze anziché su percezioni. La disponibilità dei dati, tuttavia, non equivale alla capacità di interpretarli: perché le tracce registrate si traducano in conoscenza del processo servono tecniche in grado di ricostruirne il comportamento a partire dalle registrazioni. In questo contesto si colloca il Process Mining, disciplina emersa alla fine degli anni Novanta e consolidatasi progressivamente come campo autonomo di ricerca e di applicazione.

Van der Aalst (2016) definisce il Process Mining come l'insieme delle tecniche che utilizzano i dati-evento per scoprire i processi, verificarne la conformità, analizzare i colli di bottiglia, confrontare le varianti e suggerire miglioramenti. In termini più sintetici, l'obiettivo consiste nello scoprire, monitorare e migliorare i processi reali, e non quelli presunti, estraendo conoscenza dai log disponibili nei sistemi informativi. Il riferimento ai processi reali non è una precisazione accessoria, ma costituisce il fondamento della disciplina: il Process Mining nasce infatti dalla constatazione che la rappresentazione documentata di un processo e la sua esecuzione effettiva tendano a divergere e che tale scarto resti invisibile finché l'analisi si fonda su modelli costruiti manualmente anziché sulle evidenze registrate.

Questa constatazione trova conferma nella qualità dei modelli che le organizzazioni effettivamente utilizzano. Van der Aalst osserva come molti modelli costruiti manualmente risultino scollegati dalla realtà operativa e restituiscano una versione

idealizzata del processo, perdendo credibilità presso coloro che lo eseguono quotidianamente. Il caso dei modelli di riferimento è indicativo: nel modello SAP, adottato come repertorio di best practice da numerose organizzazioni, oltre il 20% dei modelli presenta difetti strutturali quali deadlock e livelock (van der Aalst, 2016). Le implicazioni sono rilevanti, perché un modello disallineato compromette qualsiasi analisi che su di esso si fondi: condurre simulazioni o avviare progetti di ridisegno a partire da una rappresentazione idealizzata espone al rischio di decisioni errate e di implementazioni percepite dagli utenti finali come inadeguate. Si tratta della stessa distorsione già evidenziata nel paragrafo 1.3.1 rispetto ai metodi qualitativi: interviste e workshop tendono a restituire il processo così come viene percepito, o come dovrebbe funzionare, piuttosto che come si manifesta nella realtà quotidiana, e i modelli che ne derivano ne ereditano i limiti.

Il presupposto abilitante del Process Mining risiede nella crescente disponibilità di dati-evento, che van der Aalst inquadra attraverso il concetto di Internet of Events, con cui designa la totalità dei dati-evento generati nella società digitale. L'autore articola tale ecosistema in quattro componenti sovrapposte: le informazioni prodotte dagli esseri umani, i dati relativi all'interazione sociale, gli oggetti fisici connessi alla rete e i dati dotati di dimensione geografica (van der Aalst, 2016). Ogni evento registrato all'interno di una macchina, di un sistema informativo aziendale, di una struttura sanitaria o di un sistema di trasporto contribuisce ad alimentare questo patrimonio informativo. Il concetto si ricollega a quanto discusso nel paragrafo 1.3.2 sulla memoria digitale: se ERP, CRM, MES e sistemi di ticketing registrano l'esecuzione delle attività come sottoprodotto dell'operatività, l'Internet of Events estende tale osservazione oltre i confini dei sistemi gestionali, includendo le tracce generate dai dispositivi connessi, dalle interazioni digitali con i clienti e dai sistemi di localizzazione.

La collocazione disciplinare del Process Mining si comprende considerandone il posizionamento rispetto a due ambiti preesistenti:

1. **Data science:** intesa come campo interdisciplinare finalizzato a trasformare i dati in valore e comprendente attività di estrazione, preparazione ed esplorazione dei dati, diverse forme di mining e apprendimento e la presentazione dei risultati.

2. **Process science:** termine con cui van der Aalst designa la disciplina che combina conoscenze provenienti dall'information technology e dalle scienze manageriali per gestire e migliorare i processi operativi, comprendendo la ricerca operativa, il Business Process Management, gli approcci di business process improvement e l'automazione dei processi.

La tesi centrale dell'autore è che queste due tradizioni presentino carenze speculari. Gli approcci di data science tendono a essere process agnostic: data mining, statistica e machine learning non considerano i processi end-to-end e operano su dati tipicamente tabellari, nei quali ciascuna riga costituisce un'istanza indipendente e la dimensione sequenziale del comportamento non trova rappresentazione. Gli approcci di process science risultano invece data agnostic: pur essendo orientati al processo, privilegiano la modellazione rispetto all'apprendimento dai dati, trascurando l'evidenza contenuta nelle registrazioni. Il Process Mining si colloca quindi all'intersezione tra i due ambiti e trova la propria specificità nel confronto sistematico tra i dati-evento, cioè il comportamento osservato, e i modelli di processo, siano essi costruiti manualmente o scoperti automaticamente (van der Aalst, 2016).

In tale prospettiva emerge una distinzione netta rispetto al data mining tradizionale, che non riguarda soltanto le tecniche impiegate ma l'oggetto stesso dell'analisi. Il data mining individua relazioni non sospettate all'interno di insiemi di dati e li sintetizza in forme quali regole, cluster o strutture ad albero; il Process Mining aggiunge la prospettiva di processo, trattando il caso, l'attività, il timestamp e la risorsa come elementi di primo piano anziché come attributi indifferenziati. La differenza si apprezza considerando gli interrogativi a cui ciascun approccio consente di rispondere: laddove il data mining individua associazioni tra variabili, il Process Mining permette di stabilire quali siano i percorsi più frequenti in un processo, se mutino nel tempo, cosa accomuni i casi che superano una determinata durata e dove si collochino i colli di bottiglia responsabili dei ritardi osservati. Sono precisamente le domande che la governance end-to-end delineata nel paragrafo 1.2 richiede di poter affrontare, e alle quali i metodi tradizionali non rispondono con la medesima sistematicità.

2.1.2 Le tipologie di analisi come domande gestionali

Stabilito cosa sia il Process Mining e quale posizione occupi rispetto alle discipline affini, occorre esaminare in che modo esso operi concretamente. Dumas et al. (2018) collocano le tecniche di Process Mining all'interno della fase di monitoraggio del ciclo di vita del BPM, distinguendole dalle tecniche statistiche utilizzate nei cruscotti direzionali. Queste ultime restituiscono una rappresentazione aggregata dello stato di salute del processo attraverso funzioni di sintesi e visualizzazioni, mentre il Process Mining consente di approfondire l'analisi fino al livello delle singole attività, delle risorse coinvolte e dei passaggi di consegna tra unità organizzative. L'elemento distintivo è il ruolo attribuito ai modelli di processo, attorno ai quali l'analisi si struttura; per questo gli autori qualificano tali tecniche come *model-based*. Questa collocazione ha una conseguenza rilevante per l'impostazione seguita nel capitolo precedente. La fase di monitoraggio rappresenta il punto di chiusura del ciclo di vita del BPM, quello in cui i risultati dell'esecuzione vengono ricondotti alle fasi di diagnosi e ridisegno. Operando in questa fase, il Process Mining consente al ciclo di chiudersi su una base fattuale, anziché su percezioni o modelli idealizzati. Si tratta della circolarità già delineata nel paragrafo 1.4.4, dove il miglioramento è stato descritto come una sequenza continua di insight, decisione, intervento, misurazione e apprendimento: senza una capacità di osservazione fondata sui dati, tale circolarità resta un'aspirazione metodologica priva di supporto operativo.

Gli autori classificano le tecniche di Process Mining in quattro categorie, distinte per gli input che richiedono e per gli output che producono. Piuttosto che presentarle come varianti algoritmiche, è utile leggerle come risposte a quattro domande gestionali differenti, ciascuna pertinente a un momento diverso della gestione del processo.

1. **il modo in cui il processo viene realmente eseguito.** Le tecniche di process discovery ricevono in input un event log e producono un modello di processo che riflette il comportamento osservato nel log, senza richiedere una conoscenza preliminare del processo. Van der Aalst (2016) sottolinea che questa è la caratteristica distintiva della discovery: il modello viene costruito a partire dalle evidenze registrate e non da ipotesi formulate a priori. L'output non si limita necessariamente al flusso di controllo, poiché, quando il log contiene informazioni sulle risorse, è possibile ricostruire anche modelli organizzativi, come le reti di collaborazione tra gli attori coinvolti. Rispetto ai metodi di mappatura discussi nel

paragrafo 1.3.1, la differenza è sostanziale: laddove i workshop restituiscono una rappresentazione mediata dalla percezione dei partecipanti, la discovery mostra il processo come si manifesta nell'esecuzione, comprese varianti ed eccezioni che i metodi qualitativi tendono a non intercettare.

2. **Conformità dell'esecuzione rispetto alle regole prescritte dall'organizzazione.** Le tecniche di conformance checking ricevono in input un event log e un modello di processo, oppure un insieme di regole di business, e restituiscono le differenze rilevate. Il modello assume in questo caso natura normativa: descrive come il processo dovrebbe essere eseguito e il confronto con il log consente di individuare i punti in cui l'esecuzione se ne discosta. Tali scostamenti non devono però essere interpretati automaticamente come errori, poiché possono rappresentare eccezioni legittime non previste dal modello. La distinzione è di natura gestionale prima che tecnica: se il modello è descrittivo, uno scostamento indica che la rappresentazione è inadeguata; se è normativo, indica invece che l'esecuzione si allontana da quanto stabilito dall'organizzazione. Il collegamento con la governance delineata nel paragrafo 1.2 è diretto, poiché la verifica di conformità presuppone che ruoli, responsabilità e regole siano definiti in modo esplicito e verificabile.
3. **Punti in cui il processo perde valore.** Le tecniche di performance mining ricevono in input un modello di processo, costruito manualmente o ottenuto tramite discovery, e un event log, restituendo un modello arricchito con informazioni di natura prestazionale. Dumas et al. (2018) evidenziano che tale arricchimento consente di analizzare le performance rispetto alle quattro dimensioni del Devil's Quadrangle: tempo, costo, qualità e flessibilità. Il collegamento con il paragrafo 1.4.2 è diretto: lì il framework è stato introdotto per mostrare come ogni intervento di miglioramento comporti trade-off tra dimensioni interdipendenti, ma la sua utilità dipende dalla possibilità di misurarle concretamente. Il performance mining rende possibile questa misurazione, consentendo di quantificare tempi di attesa, tempi di ciclo, frequenze di esecuzione e rilavorazioni e di individuare i colli di bottiglia che rallentano il flusso.

4. **Razionali degli scostamenti.** Le tecniche di variants analysis ricevono in input due event log corrispondenti a due varianti del processo e restituiscono un elenco delle differenze tra essi. Tipicamente, il primo log raccoglie i casi conclusi con esito positivo secondo un criterio prestabilito e il secondo quelli conclusi con esito negativo: casi che hanno rispettato i tempi previsti contrapposti a casi in ritardo, oppure casi che hanno generato soddisfazione contrapposti a casi sfociati in reclamo. L'analisi comparativa consente di diagnosticare perché l'esecuzione talvolta non conduca all'esito desiderato, isolando le attività, i percorsi o le configurazioni di risorse che differenziano i due gruppi. Questa categoria merita particolare attenzione perché opera direttamente sulla variabilità, introdotta nel paragrafo 1.1.2 come moltiplicatore di inefficienze: laddove le altre tecniche descrivono il processo nel suo insieme, la variants analysis interroga la dispersione dei risultati, chiedendosi non quale sia il comportamento medio, ma perché i comportamenti differiscano.

Domanda	Tipologia di analisi	Input	Output	Limite principale
Come viene realmente eseguito il processo?	Process discovery	Event log	Modello di processo costruito dalle evidenze registrate; se il log contiene le risorse, anche modelli organizzativi	Mostra come il processo si svolge, non se il comportamento osservato sia corretto o desiderabile
Dove l'esecuzione si discosta da quanto prescritto?	Conformance checking	Event log e modello di processo, oppure insieme di regole di business	Elenco delle discrepanze tra comportamento osservato e riferimento	Individua gli scostamenti ma non ne stabilisce la gerarchia, che resta una valutazione manageriale
Dove il processo perde valore?	Performance mining	Event log e modello di processo, costruito manualmente o ottenuto tramite discovery	Modello arricchito con misure di tempo, costo, qualità e flessibilità	Localizza dove si concentrano tempi e attese, senza spiegare perché ciò accada
Perché casi simili conducono a esiti diversi?	Variants analysis	Due event log corrispondenti a due varianti del processo	Elenco delle differenze tra i due gruppi di casi	Richiede un criterio di partizionamento definito a priori, che dipende dagli obiettivi del processo

Tabella 2.1: Le quattro tipologie di analisi lette come domande gestionali. Elaborazione propria a partire da Dumas et al. (2018) e van der Aalst (2016).

Le quattro categorie non vanno intese come alternative tra cui scegliere, ma come strumenti complementari che l'analista può combinare in funzione del problema da affrontare. Dumas et al. (2018) distinguono a questo proposito due modalità di applicazione. L'approccio esplorativo nasce dall'esigenza di comprendere come il processo venga eseguito, senza partire da una domanda specifica: si avvia tipicamente con la discovery o con la verifica di conformità rispetto a un modello esistente, per poi estendersi all'analisi dei colli di bottiglia e a confronti longitudinali o trasversali. L'approccio orientato alle domande parte invece da un problema di business definito, per esempio la necessità di comprendere perché determinate pratiche richiedano tempi eccessivi, e si articola in cinque fasi: inquadramento del problema, raccolta dei dati, analisi, interpretazione dei risultati e formulazione di una proposta di miglioramento. I due approcci sono complementari, poiché l'esplorazione iniziale può contribuire a far emergere gli interrogativi che l'analisi successiva affronterà in modo più mirato.

Quest'ultima osservazione merita di essere sottolineata, poiché la sequenza di fasi descritta dagli autori corrisponde nella sostanza al ciclo delineato nel paragrafo 1.4.4. L'inquadramento del problema e la raccolta dei dati precedono l'insight, l'interpretazione dei risultati alimenta la decisione e la proposta di miglioramento conduce all'intervento, la cui efficacia deve essere a sua volta misurata. Il Process Mining non si limita quindi a fornire strumenti di analisi, ma si inserisce in una logica di gestione continua del processo che, come discusso nel capitolo precedente, le organizzazioni faticano a sostenere proprio in assenza di una base informativa affidabile.

2.1.3 Cosa il Process Mining rende possibile: posizionamento e valore atteso

Le sezioni precedenti hanno chiarito cosa sia il Process Mining e attraverso quali tipologie di analisi operi. Resta da chiarire quale sia il suo contributo effettivo rispetto a un panorama già popolato da strumenti e metodologie che le organizzazioni utilizzano da decenni per analizzare e migliorare i propri processi. La questione non riguarda dunque la novità della tecnica in sé, bensì la lacuna che essa colma e, altrettanto importante, ciò che essa non è in grado di fornire.

1. Il primo termine di confronto è rappresentato dagli strumenti di Business Intelligence, sotto il cui ombrello il Process Mining viene talvolta collocato. Van der Aalst (2016) osserva che tali strumenti, pur essendo destinati a supportare le

decisioni, si concentrano prevalentemente su interrogazione, reportistica e visualizzazione attraverso cruscotti e scorecard, mentre la prospettiva di processo resta sostanzialmente assente. La critica rivolta ai fogli di calcolo è particolarmente efficace: essi consentono di elaborare i numeri in molteplici modi, ma non permettono di analizzare adeguatamente colli di bottiglia e deviazioni, perché il comportamento dinamico di un processo non può essere ricostruito attraverso sole aggregazioni numeriche. Concetti quali il caso, l'attività, il timestamp e la risorsa devono essere trattati come elementi centrali dell'analisi; gli strumenti che li considerano semplici attributi tabellari restano invece, per costruzione, process agnostic (van der Aalst, 2016). Si tratta della stessa limitazione già evidenziata nel paragrafo 1.3.1, dove si è osservato che la Business Intelligence classica si concentra sul risultato senza restituire trasparenza su come le attività si sviluppino, devino o si accumulino lungo il flusso operativo.

2. Il secondo termine di confronto riguarda gli approcci di miglioramento continuo, e in particolare il Lean Six Sigma. Van der Aalst ne riconosce la diffusione, osservando come molte organizzazioni abbiano investito significativamente nella formazione e nelle certificazioni associate a tale metodologia, ma rileva al contempo che le tecniche analitiche effettivamente impiegate risultano spesso elementari, al punto che l'approccio viene talvolta considerato una moda manageriale. È proprio in questo spazio che il Process Mining può fornire maggiore sostanza analitica: la process discovery consente di individuare attività non a valore aggiunto e di rendere visibili attese e rilavorazioni, mentre il conformance checking permette di rilevare e diagnosticare le deviazioni rispetto ai modelli normativi (van der Aalst, 2016). Il collegamento con quanto discusso nel paragrafo 1.4.1 è diretto, poiché il Lean è stato presentato come logica di eliminazione degli sprechi fondata sul presupposto che questi ultimi siano identificabili. Il paragrafo 1.4.3 ha inoltre mostrato come, in assenza di visibilità end-to-end, tale identificazione possa produrre effetti opposti a quelli attesi, portando a eliminare attività che in realtà compensano disfunzioni presenti a monte del flusso.

3. Il terzo termine di confronto è il Business Process Reengineering. Van der Aalst osserva che il BPR condivide con il Process Mining l'orientamento al processo, ma se ne distingue perché non è data-driven: promuove il ripensamento radicale del modo di operare anziché l'analisi dettagliata dei dati disponibili. Ne deriva una complementarità chiara: il Process Mining contribuisce a identificare i problemi e supporta gli stakeholder nella definizione delle azioni di miglioramento, ma non è in grado di generare autonomamente modalità di lavoro radicalmente differenti, a meno che i dati-evento non vengano integrati con conoscenza di dominio (van der Aalst, 2016). Questa precisazione delimita l'ambito di applicabilità del Process Mining, evitando di presentarlo come sostituto degli approcci di miglioramento anziché come loro fondamento empirico. Coerentemente con quanto osservato nel paragrafo 1.4.3, il ridisegno radicale richiede misurabilità per valutarne i risultati, ma la scelta di ridisegnare e la direzione del cambiamento restano decisioni che richiedono competenza gestionale e visione strategica.

Il confronto con la Business Intelligence consente di chiarire anche un termine che ricorre con frequenza crescente accanto a quello di Process Mining, e che dà il titolo a questo lavoro: Process Intelligence. Il termine ha origine nella Business Process Intelligence, che van der Aalst (2016) registra fra le denominazioni alternative della disciplina distinguendone due accezioni. Nella prima è usata come sinonimo di Process Mining, con un'enfasi minore sui modelli di processo. Nella seconda indica una Business Intelligence orientata ai processi operativi, i cui strumenti spesso non ricostruiscono il processo dai dati, ma proiettano misure di performance su modelli disegnati a mano e assunti come stabili. Nell'uso più recente il termine ha acquisito un significato ulteriore, che riguarda l'impiego delle tecniche più che le tecniche stesse. Reinkemeyer (2022) descrive l'evoluzione del Process Mining verso forme di esecuzione intelligente del processo, in cui gli insight raggiungono direttamente gli utenti come segnalazioni proattive, previsioni e azioni suggerite, invece di restare confinati nelle analisi. Lo stesso autore osserva che molti progetti falliscono per resistenze organizzative più che per limiti tecnologici, e individua come condizioni di successo la definizione esplicita del valore atteso, la sponsorship del vertice, la gestione del cambiamento e una struttura dedicata che guidi la trasformazione, come un centro di eccellenza. La Process Intelligence si configura così come il passaggio da un insieme di tecniche applicate a singoli progetti a una capacità

organizzativa continuativa di conoscenza e miglioramento del processo. In questo lavoro i due termini sono quindi usati con significati distinti. Process Mining indica le tecniche e le analisi con cui il processo viene ricostruito e valutato a partire dai dati-evento. Process Intelligence indica l'utilizzo di quelle analisi a supporto delle decisioni gestionali, insieme alle condizioni organizzative che esso richiede. La prima è condizione necessaria della seconda, senza esserne garanzia: un'analisi può essere condotta correttamente e restare priva di seguito, se mancano le condizioni che la traducono in decisione.

Stabilito il posizionamento sul piano concettuale, occorre verificare quale valore le organizzazioni ricavano effettivamente dall'adozione del Process Mining. A questo scopo è particolarmente utile lo studio Delphi condotto da Martin et al. (2021), già richiamato nel capitolo precedente in relazione alle sfide legate alla qualità e all'accessibilità dei dati. Gli autori osservano che, mentre la ricerca si è concentrata soprattutto sullo sviluppo e sul miglioramento degli algoritmi, le evidenze relative all'applicazione del Process Mining nelle organizzazioni sono rimaste più limitate, così come la comprensione sistematica delle opportunità offerte in contesti reali. Lo studio, articolato in sei round e condotto con un panel internazionale di esperti provenienti dal mondo accademico e industriale, ha identificato trenta opportunità e trentadue sfide, organizzate secondo i sei elementi fondamentali del BPM e, per quelle relative a metodi e tecnologie, secondo le fasi del ciclo di vita del BPM (Martin et al., 2021).

Tra le trenta opportunità identificate, dieci sono valutate come estremamente rilevanti da entrambi i sottopanel, formando un nucleo di consenso particolarmente significativo perché condiviso sia da chi studia il Process Mining sia da chi lo applica. Tali opportunità possono essere ricondotte ad alcune aree tematiche che presentano una corrispondenza diretta con quanto discusso nel capitolo precedente. La prima riguarda la trasparenza: il Process Mining rende visibili i flussi effettivi sulla base di dati reali e consente di analizzare varianti ed eccezioni, supportando iniziative quali la standardizzazione. La seconda riguarda la misurazione della performance: gli esperti attribuiscono massima rilevanza alla valutazione delle performance di processo, all'identificazione degli sprechi, come attività non a valore aggiunto e colli di bottiglia, e alla possibilità di condurre confronti e attività di benchmarking tra processi o varianti. La terza riguarda il controllo, poiché la comprensione della conformità consente una verifica più efficiente e completa dell'esecuzione e delle ragioni dei comportamenti devianti. La quarta riguarda l'intervento, poiché il Process Mining è valutato come uno strumento capace di

supportare il miglioramento e il ridisegno dei processi, dall'identificazione delle opzioni di intervento fino alla valutazione dei loro effetti (Martin et al., 2021).

Merita infine attenzione la decima opportunità del nucleo di consenso, relativa alla promozione di una comunicazione e di un processo decisionale fondati sull'evidenza. Gli autori la descrivono come la capacità del Process Mining di agire da catalizzatore per conversazioni basate sui dati anziché sulle percezioni, incoraggiando l'obiettività nel confronto tra le funzioni coinvolte. Questa formulazione converge con il concetto di Evidence Centricity introdotto nel paragrafo 1.3.1 e ne costituisce la controparte operativa: laddove Kerpedzhiev et al. identificavano l'orientamento all'evidenza come capability culturale emergente, lo studio di Martin et al. documenta che gli esperti riconoscono nel Process Mining lo strumento in grado di renderla praticabile.

Un ulteriore elemento emerge dalla distribuzione delle opportunità tra le categorie del framework. Gli autori osservano che tredici delle trenta opportunità, pari a circa il 40%, non sono riconducibili all'elemento metodi e tecnologie, ma si collocano nelle aree della governance, delle persone, della cultura e dell'allineamento strategico (Martin et al., 2021). Il dato conferma che il valore generato dal Process Mining non si esaurisce sul piano tecnico, ma coinvolge la dimensione organizzativa nel suo complesso, coerentemente con quanto discusso nel paragrafo 1.4.4 circa il ruolo dell'adozione organizzativa nel successo delle iniziative di miglioramento. È inoltre significativo che i practitioner attribuiscono alle opportunità legate all'allineamento strategico una rilevanza superiore rispetto agli accademici, differenza che gli autori interpretano come riflesso dell'esperienza maturata nell'avvio e nella conduzione di iniziative reali.

Il quadro che emerge può essere sintetizzato in una constatazione e in una condizione. La constatazione è che il Process Mining colma una lacuna specifica: fornisce una base fattuale che gli strumenti di Business Intelligence non offrono e che gli approcci di miglioramento presuppongono senza poterla generare autonomamente. La condizione è che tale valore dipende dalla disponibilità di dati-evento adeguati. Prima di esaminare in dettaglio le tecniche di analisi e le modalità di implementazione, è quindi necessario chiarire quali requisiti tali dati debbano soddisfare, quali scelte l'organizzazione debba compiere nella loro definizione e quali rischi derivino da una preparazione inadeguata.

2.2 La costruzione dell'event log: scelte, perimetro e qualità del dato

Il paragrafo si sviluppa in tre passaggi. Innanzitutto, si mostra che l'event log non preesiste all'analisi, ma viene costruito attraverso scelte che ne determinano il contenuto; tra queste, la definizione di ciò che costituisce un caso è particolarmente rilevante, perché presuppone la formulazione esplicita della domanda gestionale a cui si intende rispondere. Si esaminano quindi le decisioni relative al perimetro e alla granularità dell'osservazione, evidenziando come una delimitazione coerente con i soli confini dei sistemi disponibili rischi di riprodurre sul piano informativo la stessa frammentazione che la governance end-to-end mira a superare. Infine, si affronta la qualità dei dati, mostrando attraverso quali meccanismi le imperfezioni possano tradursi in conclusioni errate e perché la loro gestione richieda conoscenza del processo, non soltanto competenza tecnica.

2.2.1 La struttura dell'event log e la definizione del caso

Nel paragrafo 1.3.2 si è osservato che i sistemi informativi registrano l'esecuzione delle attività, generando una memoria digitale del processo che può essere strutturata in un event log. Nella sua forma minima, questo contiene un identificativo del caso, il nome dell'attività e un timestamp. Quella descrizione presupponeva tuttavia che l'event log fosse già disponibile. In realtà, esso viene costruito attraverso una serie di scelte che ne determinano il contenuto e, di conseguenza, ciò che sarà possibile osservare.

Van der Aalst (2016) formalizza la struttura di un event log attraverso alcuni assunti fondamentali. Un processo è composto da casi, ciascun caso da eventi, e ogni evento deve riferirsi a un solo caso. Gli eventi all'interno dello stesso caso sono inoltre ordinati e possono presentare diversi attributi. Tra quelli più comuni rientrano l'attività, il timestamp, la risorsa che ha eseguito l'evento e il tipo di transazione, che può indicare, ad esempio, la programmazione, l'avvio, il completamento o la sospensione di un'attività. Nessuno di questi attributi è obbligatorio in senso stretto: i requisiti minimi consistono nella possibilità di associare ogni evento a un caso e a un'attività e di ordinare gli eventi all'interno dello stesso caso, condizione necessaria per ricostruire le dipendenze causali (van der Aalst, 2016).

Dumas et al. (2018) formulano il medesimo requisito in termini equivalenti, indicando come elementi minimi l'identificativo del caso, la classe dell'evento e il timestamp.

La disponibilità di attributi ulteriori non è una raffinatezza tecnica ma determina quali tipologie di analisi risultino praticabili. Il flusso di controllo può essere ricostruito utilizzando il solo attributo relativo all'attività; per misurare le durate occorre disporre del tipo di transazione, che consente di distinguere l'avvio dal completamento, e dei timestamp; per analizzare l'impatto economico servono gli attributi di costo; per ricostruire le reti di collaborazione tra gli attori è necessario l'attributo relativo alla risorsa. Questa constatazione ha una conseguenza gestionale rilevante: le domande a cui l'organizzazione potrà rispondere sono vincolate a monte da ciò che i sistemi hanno registrato, e ampliare il perimetro delle analisi possibili richiede interventi sulle modalità di logging piuttosto che sugli strumenti di analisi.

Un ulteriore elemento di scelta riguarda il classificatore, definito da van der Aalst (2016) come la funzione che associa a ciascun evento l'etichetta con cui esso comparirà nel modello risultante. Utilizzare come classificatore il nome dell'attività, che costituisce la convenzione predefinita, produce un modello del flusso operativo; combinare attività e tipo di transazione consente invece di rappresentare esplicitamente il ciclo di vita di ciascuna attività; utilizzare la risorsa genera infine un modello in cui gli eventi sono denominati in base a chi li ha eseguiti, restituendo una rappresentazione della struttura organizzativa anziché del processo. Lo stesso insieme di dati può quindi produrre rappresentazioni radicalmente diverse in funzione di una scelta che precede l'analisi e che non è determinata dai dati stessi.

La decisione più rilevante riguarda tuttavia la definizione di ciò che costituisce un caso. Van der Aalst affronta il tema attraverso il problema dell'appiattimento della realtà negli event log: i processi reali presentano relazioni tra oggetti diversi, mentre i linguaggi di modellazione convenzionali tendono a rappresentare il ciclo di vita di un'unica tipologia di caso considerata isolatamente. L'autore illustra il problema attraverso un database composto da quattro tabelle, relative rispettivamente agli ordini, alle righe d'ordine, alle consegne e ai tentativi di consegna. Le relazioni tra queste entità non sono biunivoche: un ordine comprende più righe d'ordine, una consegna può includere righe appartenenti a ordini diversi e una singola consegna può richiedere più tentativi prima di concludersi con successo.

Poiché ogni evento deve essere ricondotto a un caso, la costruzione dell'event log impone di scegliere quale delle quattro entità assumere come riferimento, e questa decisione

produce log sostanzialmente diversi. Se il caso coincide con l'ordine, tutti gli eventi relativi alle righe e alle consegne correlate vengono ricondotti al suo identificativo e l'analisi si concentra sul ciclo di vita complessivo, dalla creazione al completamento. Se invece il caso coincide con la riga d'ordine, l'attenzione si sposta sul percorso del singolo prodotto, proiettando sulla riga gli eventi relativi all'ordine di appartenenza e alla successiva consegna. Limitandosi alla sola tabella degli ordini, infine, si otterrebbero al massimo tre eventi per caso e la discovery restituirebbe un processo sequenziale di tre passi, privo di informazioni sulle righe d'ordine e sulle consegne (van der Aalst, 2016).

L'autore osserva inoltre che questa limitazione non deriva dai dati ma dalle notazioni impiegate. I linguaggi convenzionali, imponendo una rappresentazione bidimensionale, costringono a comprimere in un unico modello monolitico una realtà che presenta relazioni uno-a-molti e molti-a-molti tra oggetti distinti, e i costrutti di gerarchia disponibili in tali linguaggi non sono in grado di gestire adeguatamente tali relazioni. Il fatto che l'applicazione del Process Mining a processi reali renda evidente questo limite costituisce, secondo l'autore, un contributo conoscitivo in sé, poiché aiuta manager, consulenti e analisti a comprendere meglio la struttura effettiva dei processi aziendali e i limiti delle rappresentazioni eccessivamente semplificate a cui sono abituati.

Ne deriva una raccomandazione operativa articolata in tre passaggi. In primo luogo, occorre costituire un archivio dei dati orientato ai processi, capace di raccogliere gli eventi di business nella loro forma grezza ed evitare le aggregazioni preventive tipiche dei data warehouse tradizionali, che possono precludere l'analisi di processo. In secondo luogo, va definita la vista appropriata in funzione delle tematiche da affrontare, appiattendosi i dati necessari per produrre un event log. In terzo luogo, le tecniche di analisi vengono applicate a tale vista, filtrando ulteriormente il log qualora necessario e ripetendo il ciclo di estrazione, filtraggio e analisi finché le domande non trovino risposta (van der Aalst, 2016).

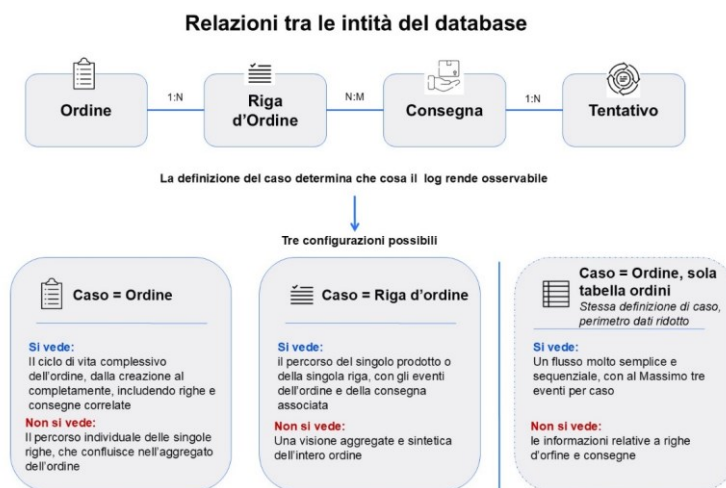


Figura 2.1: Effetti della definizione del caso sulla costruzione dell'event log. Elaborazione propria a partire da van der Aalst (2016)

Questa articolazione chiarisce la natura della definizione del caso: non si tratta di un passaggio tecnico preliminare da delegare a chi possiede competenze informatiche, bensì di una decisione che presuppone la formulazione esplicita della domanda gestionale a cui l'analisi deve rispondere. Un'organizzazione interessata a ridurre i tempi di evasione degli ordini e una orientata a ottimizzare la logistica delle consegne compiranno scelte diverse a partire dagli stessi sistemi, ottenendo legittimamente rappresentazioni differenti dello stesso ambito operativo. La responsabilità di questa scelta ricade quindi su chi conosce il processo e ne governa la performance, cioè su quei ruoli trasversali che il paragrafo 1.2 ha identificato come elemento costitutivo della governance end-to-end.

2.2.2 Perimetro, granularità e loro effetti sull'analisi

Definita la nozione di caso, resta da stabilire quali eventi includere nell'analisi e a quale livello di dettaglio considerarli. Si tratta di due decisioni distinte ma complementari: la prima riguarda l'estensione orizzontale dell'osservazione, ovvero dove il processo inizia e dove finisce ai fini dell'analisi; la seconda ne riguarda la risoluzione verticale, ovvero

quanto finemente le attività vengono rappresentate. Entrambe condizionano ciò che risulterà visibile, ed entrambe presentano implicazioni gestionali che eccedono la dimensione tecnica.

Il punto di partenza è la constatazione che i dati non si presentano in forma ordinata. Van der Aalst (2016) osserva che non ci si deve attendere di trovare tutte le informazioni necessarie in un'unica fonte ben strutturata: nella realtà, i dati-evento sono tipicamente dispersi tra fonti eterogenee e la raccolta di quelli rilevanti richiede uno sforzo considerevole. La dispersione può avere cause tecniche, come la presenza di sistemi legacy che custodiscono dati cruciali, ma anche organizzative, come nel caso di sistemi informativi utilizzati soltanto a livello dipartimentale. Nelle analisi che attraversano i confini dell'impresa, per esempio quelle relative alle catene di fornitura, i dati possono inoltre essere distribuiti tra organizzazioni diverse. La dimensione del problema è illustrata da un dato: un'implementazione completa di SAP comprende tipicamente oltre diecimila tabelle. Ne consegue che l'estrazione dei dati debba essere guidata dalle domande piuttosto che dalla loro semplice disponibilità, poiché non avrebbe senso tentare di estrarre esaustivamente event log da migliaia di tabelle (van der Aalst, 2016).

Questa affermazione capovolge l'ordine con cui le organizzazioni tendono ad affrontare la questione. L'approccio spontaneo consiste nel verificare quali dati siano disponibili e nel domandarsi successivamente cosa se ne possa ricavare; l'approccio corretto muove dalla domanda gestionale e da essa deriva quali dati siano necessari. La differenza non è meramente procedurale: nel primo caso il perimetro dell'analisi risulta determinato dall'architettura dei sistemi informativi, che riflette la struttura organizzativa esistente e le sue partizioni; nel secondo è determinato dal processo che si intende governare.

Il concetto che formalizza questa decisione è quello di scoping, che van der Aalst considera centrale nella costruzione dell'event log. La difficoltà non risiede tanto nella conversione sintattica dei dati quanto nella selezione di quelli appropriati: la scelta delle tabelle da includere deve quindi precedere qualsiasi elaborazione tecnica. L'autore distingue inoltre due momenti nel processo di delimitazione. Lo scoping in senso proprio avviene in fase di estrazione e ha natura più grossolana, includendo nell'event log soltanto gli eventi rilevanti per il processo da analizzare. Il filtraggio interviene invece successivamente, sulla base dei primi risultati ottenuti, e opera una delimitazione più fine, per esempio concentrando l'analisi sulle dieci attività più frequenti al fine di mantenere

il modello gestibile. Il filtraggio, precisa l'autore, è per sua natura iterativo (van der Aalst, 2016).

L'esempio ospedaliero proposto nel testo chiarisce come la delimitazione dipenda dalla domanda. A partire dai medesimi dati si può essere interessati alla scoperta dei flussi dei pazienti, ovvero ai percorsi tipici di diagnosi e trattamento, oppure all'ottimizzazione del workflow interno al reparto di radiologia. Le due domande richiedono event log differenti, sebbene alcuni eventi possano risultare comuni a entrambi. Nessuna delle due delimitazioni è più corretta dell'altra in astratto: ciascuna è appropriata rispetto alla domanda che intende affrontare, e inappropriata rispetto all'altra.

È precisamente su questo punto che la decisione di perimetro assume rilevanza rispetto a quanto discusso nel paragrafo 1.2. Se il perimetro dell'analisi coincide con quello di una singola funzione organizzativa, l'event log restituirà una rappresentazione locale del processo e le inefficienze che emergono nei passaggi tra funzioni resteranno invisibili. Un reparto potrà così documentare tempi di attraversamento soddisfacenti e attribuire i ritardi complessivi a cause esterne al proprio ambito di osservazione, riproducendo sul piano informativo la stessa dinamica di ottimizzazione locale che la governance end-to-end mira a superare sul piano organizzativo. La frammentazione dei dati tra sistemi, già richiamata nel paragrafo 1.3.3 come riflesso della frammentazione organizzativa, si traduce quindi in una scelta operativa: delimitare il perimetro secondo i confini dei sistemi disponibili significa accettare che l'analisi erediti quei confini. La coerenza tra perimetro dell'analisi e perimetro del processo governato costituisce dunque una condizione affinché l'evidenza prodotta sia utilizzabile per decisioni end-to-end e presuppone che qualcuno disponga dell'autorità necessaria per accedere a dati appartenenti a funzioni diverse.

Alle difficoltà di delimitazione si affiancano quelle relative alla costruzione vera e propria dell'event log.

Van der Aalst (2016) enumera cinque sfide ricorrenti nell'estrazione degli event log:

1. **Correlazione.** Gli eventi devono essere raggruppati per caso, ma quando i dati sono dispersi tra tabelle o sistemi multipli, identificare a quale caso ciascun evento appartenga risulta tutt'altro che immediato. La difficoltà si accentua quando

occorre relazionare messaggi scambiati con altre organizzazioni alle richieste che li hanno originati.

2. **Timestamp.** Integrando dati provenienti da fonti diverse occorre dipendere dai timestamp per ordinare gli eventi, ma la presenza di orologi multipli e di registrazioni differite può produrre scostamenti significativi tra il momento in cui un evento si verifica e quello in cui viene registrato, al punto che causa ed effetto possono apparire invertiti. In molti sistemi, inoltre, i timestamp risultano troppo grossolani: numerosi sistemi ospedalieri, ad esempio, registrano soltanto la data, rendendo impossibile ricostruire l'ordine degli eventi occorsi nella stessa giornata.
3. **Snapshot.** I casi possono avere una durata che eccede il periodo di registrazione, essendo iniziati prima dell'avvio della rilevazione o essendo ancora in corso al suo termine: un event log fornisce dunque tipicamente una fotografia parziale di un processo più esteso. Quando la durata media dei casi è breve rispetto al periodo osservato, il problema si risolve rimuovendo i casi incompleti, tipicamente filtrando quelli privi di attività iniziale o finale; quando le due grandezze sono comparabili, ricostruire processi end-to-end diventa difficile.
4. **Scoping.** La delimitazione del perimetro già discussa, che richiede conoscenza di dominio per individuare quali dati includere tra le migliaia di tabelle disponibili.
5. **Granularità.** Gli eventi registrati si collocano frequentemente a un livello di dettaglio diverso da quello delle attività rilevanti per gli utenti finali, e alcuni sistemi producono eventi troppo minuti per essere presentati a chi deve gestire o migliorare il processo.

Dumas et al. (2018) formulano un elenco sostanzialmente coincidente, con alcune differenze di accento significative. La sfida della correlazione viene ricondotta al fatto che molti sistemi aziendali non dispongono di una nozione esplicita di processo, il che impone di individuare quale attributo delle entità coinvolte possa fungere da identificativo di caso: gli autori suggeriscono, ad esempio, il numero d'ordine, di fattura o di spedizione. Rispetto ai timestamp, osservano che molti sistemi non considerano la registrazione come attività primaria e la differiscono ai momenti di minor carico, cosicché nel log possono comparire eventi sequenziali con timestamp identico. La sfida della longevità corrisponde invece a quella degli snapshot, ma gli autori ne sottolineano un aspetto specificamente

gestionale: le misure di performance relative a casi incompleti non devono essere mescolate con quelle dei casi conclusi, poiché hanno significato diverso. Raccomandano inoltre che il periodo coperto dall'event log sia significativamente più esteso del tempo di ciclo medio del processo, così da includere casi sia di breve sia di lunga durata.

La sfida della granularità merita un approfondimento, poiché il divario tra registrazione e concetto è strutturale. Tipicamente, l'analisi interessa un livello concettuale per il quale esistono modelli di processo definiti, mentre la registrazione avviene a un livello molto più fine, tanto che a una singola attività del modello può corrispondere un insieme di eventi. Dumas et al. illustrano il punto con un esempio: l'attività "prelevare il prodotto dal magazzino", che nel modello di processo costituisce un passo unitario, si traduce nel log in una serie di eventi, quali l'assegnazione dell'elemento di lavoro, il suo avvio, l'apertura del modulo d'ordine, il prelievo del prodotto e il completamento dell'elemento di lavoro. Van der Aalst segnala che esistono approcci di pre-elaborazione in grado di aggregare pattern ricorrenti di eventi di basso livello in eventi rappresentativi di attività concettuali.

La conseguenza gestionale è che il livello di granularità dell'analisi non è determinato dai dati, ma deve essere scelto, e questa decisione comporta un compromesso. Una granularità eccessivamente fine produce modelli illeggibili, nei quali il comportamento rilevante resta sommerso dal dettaglio tecnico; una granularità eccessivamente grossolana nasconde invece proprio le variazioni che l'analisi dovrebbe far emergere. Il livello appropriato è quello che corrisponde alle unità di lavoro su cui l'organizzazione può effettivamente intervenire, riconducendo ancora una volta la scelta al dominio di chi conosce il processo e ne governa la performance, non a quello di chi amministra i sistemi che lo registrano.

2.2.3 La qualità del dato come rischio manageriale

Le decisioni esaminate nei sottoparagrafi precedenti presuppongono che i dati, una volta selezionati e delimitati, siano affidabili. Tale condizione, tuttavia, è raramente soddisfatta in modo pieno. Nel paragrafo 1.3.3 la data readiness è stata definita attraverso tre dimensioni ovvero completezza, coerenza e accessibilità, e si è osservato come la carenza anche di una sola di esse possa condurre a una rappresentazione distorta del processo. Resta quindi da chiarire attraverso quali meccanismi concreti tale distorsione si produca

e perché la sua gestione non possa essere ridotta a una semplice attività tecnica preliminare.

Suriadi et al. (2017) inquadrano la questione richiamando il principio garbage-in garbage-out, già menzionato nel capitolo precedente, e precisandone la portata: nel Process Mining l'input è l'event log, che deve quindi essere preparato in modo coerente con lo scopo dell'analisi. La preparazione comporta la pulizia delle fonti grezze dal rumore, cercando di minimizzare la perdita di informazione e di ottenere un log di qualità elevata, cioè valido sia rispetto al dominio da cui i dati provengono sia rispetto alla finalità dell'analisi. Gli autori osservano tuttavia che questa attività viene spesso condotta in modo non sistematico e ad hoc, con il rischio di introdurre errori o di non intercettare problematiche capaci di compromettere la validità dei risultati.

Per rendere sistematica tale attività, gli autori adottano il quadro di riferimento proposto da Bose et al., che classifica le problematiche di qualità in quattro categorie. I dati mancanti corrispondono a informazioni assenti dal log pur essendo esistite nella realtà; i dati errati sono presenti ma registrati in modo scorretto rispetto al contesto operativo; i dati imprecisi sono registrati a un livello di dettaglio troppo grossolano; i dati irrilevanti sono presenti ma inutilizzabili senza previa filtratura o astrazione. Ciascuna categoria può manifestarsi su entità differenti dell'event log, tra cui i casi, gli eventi, le relazioni tra eventi e casi, gli attributi di caso, la posizione nella traccia, il nome dell'attività, il timestamp e la risorsa (Suriadi et al., 2017).

Van der Aalst (2016) propone una classificazione analoga ma più articolata, costruita incrociando tre dimensioni:

1. Le entità principali, ovvero il caso, l'istanza di attività e l'evento. Rispetto a ciascuna di esse un elemento può risultare mancante nel log pur essendo esistito nella realtà, presente nel log pur non essendo mai esistito, oppure occultato all'interno di un insieme di dati più ampio e meno strutturato.
2. Gli attributi degli eventi, tra cui il caso di appartenenza, il processo, l'attività, il timestamp, la posizione nella traccia, il tipo di transazione e la risorsa. Rispetto a ciascuno il problema può consistere nell'assenza dell'attributo, nella scorrettezza del valore registrato o nella sua eccessiva imprecisione.

3. La ricorrenza del problema, che può presentarsi in modo continuativo, manifestarsi in maniera intermittente e imprevedibile, oppure variare secondo schemi identificabili, come nel caso di timestamp mancanti soltanto in un determinato periodo a seguito di malfunzionamenti software.

Combinando le tre dimensioni l'autore giunge a identificare 108 possibili problematiche di qualità (van der Aalst, 2016). L'osservazione rilevante non riguarda tanto il numero quanto il fatto che la ricorrenza intermittente risulti essere più insidiosa di quella continuativa: un problema noto e costante può essere compensato, mentre un problema che si manifesta soltanto in una parte dei casi induce a trarre conclusioni errate assumendo che i dati siano completi.

Il contributo più immediatamente utilizzabile in chiave gestionale è tuttavia la tassonomia proposta da Suriadi et al., che identifica undici pattern di imperfezione ricorrenti, ricavati dall'esperienza diretta degli autori nella preparazione di event log in contesti industriali reali. Il valore dell'approccio consiste nel fatto che ciascun pattern è descritto attraverso la propria manifestazione osservabile, l'effetto che produce sull'analisi, il rimedio applicabile e gli eventuali effetti collaterali di tale rimedio. Anziché constatare genericamente che i dati sono di qualità insufficiente, l'organizzazione dispone così di un repertorio di problematiche note da verificare sistematicamente. Quattro di questi pattern risultano particolarmente istruttivi in chiave gestionale, poiché mostrano come un'imperfezione apparentemente tecnica si traduca in una conclusione errata.

1. Form-based event capture.

Si manifesta quando i dati vengono acquisiti attraverso moduli elettronici. Nel momento in cui l'operatore salva il modulo, il sistema può associare lo stesso timestamp a tutti i dati contenuti, appiattendolo l'ordinamento temporale delle attività che li hanno generati. Gli autori documentano questo pattern in event log provenienti da ospedali australiani, nei quali eventi come la valutazione iniziale e il controllo delle vie aeree risultano registrati con lo stesso timestamp. L'effetto sull'analisi è duplice: da un lato si perde l'ordine reale delle attività; dall'altro, gli eventi con timestamp identico possono essere interpretati come paralleli, generando modelli graficamente complessi e difficili da comprendere. Esiste inoltre un rischio di duplicazione, poiché l'aggiornamento di un singolo campo può indurre alcuni sistemi a riscrivere tutti gli eventi del modulo, introducendo

nel log eventi che non sono realmente avvenuti. Il rimedio consiste nell'aggregare gli eventi che condividono il timestamp in un unico evento rappresentativo, purché ciò sia coerente con il dominio, con il possibile effetto collaterale di perdere traccia delle azioni di aggiornamento quando il valore aggiornato coincide con quello precedente (Suriadi et al., 2017).

2. Elusive case.

Si verifica quando gli eventi non sono esplicitamente collegati a un identificativo di caso. È tipico di sistemi non orientati ai processi, come quelli di tracciamento satellitare, i log di traffico web o i dispositivi industriali. Gli autori documentano il caso di un sistema di localizzazione dei veicoli in cui gli eventi registrano l'ingresso e l'uscita da aree geografiche e l'accensione o lo spegnimento del motore, senza che alcun attributo consenta di raggrupparli in viaggi distinti. La nozione di caso esiste nella realtà operativa e può essere ricostruita, ma non emerge dai dati considerati isolatamente. L'effetto è radicale, perché impedisce qualsiasi analisi finché il problema non viene risolto; il rimedio richiede quindi di correlare il log con fonti esterne, nel caso specifico con la pianificazione giornaliera dei viaggi. Questo pattern mostra concretamente quanto discusso nel primo sottoparagrafo circa la natura non puramente tecnica della definizione del caso.

3. Scattered case.

Descrive la situazione in cui fasi rilevanti di un medesimo caso risultano registrate in sistemi differenti con identificativi distinti. Gli autori lo documentano in un contesto ospedaliero nel quale le attività svolte nel pronto soccorso e quelle svolte nel reparto di degenza figurano con identificativi diversi, apparendo come casi separati pur riferendosi allo stesso paziente; il collegamento è stato possibile soltanto attraverso una terza tabella contenente un identificativo anagrafico comune. L'effetto sull'analisi è che i modelli ricostruiti rappresentano soltanto una frazione del processo effettivo. Questo pattern costituisce la manifestazione tecnica precisa di quanto argomentato nel sottoparagrafo precedente: la frammentazione dei sistemi riproduce la frammentazione organizzativa, e

ricomporre il flusso end-to-end sul piano informativo richiede un intervento deliberato che presuppone accesso a dati appartenenti a unità diverse.

4. Collateral events.

Riguarda la presenza di più eventi riferiti in realtà a un unico passo del processo. Il problema può derivare dall'integrazione di sistemi diversi, ciascuno con proprie convenzioni di registrazione, oppure dalla generazione automatica di eventi ausiliari associati a un evento principale. Gli autori documentano il pattern in una compagnia assicurativa australiana, nella quale la finalizzazione di un pagamento generava eventi distinti provenienti da quattro sistemi differenti, tutti riferiti allo stesso passo operativo. L'effetto è l'introduzione di rumore e la produzione di modelli eccessivamente complessi, nei quali il passo di business effettivo viene mascherato da una molteplicità di eventi di basso livello.

I restanti pattern riguardano prevalentemente la qualità delle etichette e dei timestamp. Vale la pena segnalare almeno il caso delle etichette sinonime, ovvero denominazioni sintatticamente diverse ma semanticamente equivalenti che compaiono quando il log viene costruito integrando fonti prive di uno schema comune, e quello delle etichette omonime, nelle quali la medesima denominazione designa attività dal significato diverso a seconda del contesto in cui ricorre. Entrambe producono distorsioni nei modelli e nell'analisi delle performance, poiché nel primo caso attività identiche vengono trattate come distinte e nel secondo, attività distinta vengono trattate come identiche.

L'evidenza empirica raccolta dagli autori conferma che non si tratta di problematiche marginali. La valutazione condotta con venti tra ricercatori e professionisti attivi nel campo ha rilevato che ciascun rispondente aveva osservato in media sette degli undici pattern nei propri insiemi di dati, e che tutti i pattern erano stati riscontrati da almeno il 45% dei rispondenti. I più frequenti risultano lo scattered case, osservato dal 90%, il form-based event capture, osservato dall'85%, e le etichette distorte, osservate dall'80%. La totalità dei rispondenti ha valutato l'approccio basato sui pattern come utile o molto utile ai fini della caratterizzazione dei problemi di qualità (Suriadi et al., 2017).

Particolarmente indicativo è il caso di studio condotto presso un ospedale australiano sui percorsi dei pazienti con sintomatologia toracica, nel quale sono stati riscontrati la maggior parte dei pattern proposti. L'applicazione dei rimedi alla tabella clinica ha ridotto il numero di eventi da 180194 a 14678, con una riduzione superiore al 90% ottenuta

principalmente collassando gli eventi generati dai moduli elettronici. Il dato merita attenzione perché quantifica lo scarto tra ciò che i sistemi registrano e ciò che è effettivamente rilevante ai fini dell'analisi di processo: senza tale intervento, oltre nove decimi degli eventi disponibili avrebbero contribuito unicamente a produrre complessità priva di significato gestionale.

Un ulteriore elemento emerge dalla valutazione condotta dagli autori sulla maturità dei log analizzati. Ricorrendo alla scala proposta nel Process Mining Manifesto, essi osservano che i log ospedalieri si collocavano a un livello basso, mentre quelli provenienti dal settore assicurativo raggiungevano un livello intermedio: ciononostante, anche questi ultimi presentavano numerosi pattern di imperfezione. Ne consegue che un rating di maturità elevato non garantisca l'assenza di problematiche, e che la verifica sistematica resti necessaria indipendentemente dalla qualità presunta della fonte.

Queste evidenze convergono con quanto rilevato su scala più ampia da Martin et al. (2021). Nello studio Delphi già richiamato, la scarsa qualità dei dati e la complessità della loro preparazione figurano tra le tre sole sfide valutate come estremamente rilevanti sia dagli accademici sia dai professionisti, a fronte di una divergenza molto più marcata sulle altre. Su questi due aspetti emerge quindi un consenso che esclude la possibilità di considerarli semplici preoccupazioni accademiche prive di riscontro nella pratica. Gli autori osservano inoltre che tali difficoltà erano già state documentate quasi un decennio prima e risultano ancora irrisolte, suggerendone una natura strutturale più che transitoria.

Ne deriva la conclusione del sottoparagrafo. La preparazione dei dati non costituisce un'attività tecnica preliminare da delegare integralmente alle funzioni informatiche, poiché comporta decisioni interpretative che condizionano i risultati dell'analisi. Stabilire se eventi con lo stesso timestamp rappresentino un unico passo di business o attività distinte, se due etichette diverse designino la stessa attività o se casi registrati in sistemi differenti appartengano allo stesso percorso sono tutte valutazioni che richiedono conoscenza del processo e che, se formulate in modo errato, possono produrre modelli plausibili ma non veritieri. Il rischio più insidioso non è infatti l'impossibilità di condurre l'analisi, che risulta evidente e induce a intervenire, ma la produzione di risultati apparentemente coerenti fondati su dati mal interpretati, sui quali l'organizzazione potrebbe basare decisioni di miglioramento. La qualità dei dati rientra

quindi pienamente nel perimetro della governance di processo delineato nel paragrafo 1.2 e conferma quanto anticipato nel paragrafo 1.3.3 circa la natura continuativa e manageriale della data readiness.

2.3 Dalle tecniche agli insight: cosa il Process Mining rende visibile.

La trattazione condotta finora ha chiarito due condizioni fondamentali: da un lato, il Process Mining traduce le proprie tecniche in domande gestionali; dall'altro, la qualità dell'analisi dipende dall'affidabilità dell'event log. Resta quindi da capire che cosa queste tecniche rendano concretamente osservabile di un processo e quale tipo di evidenza offrano a chi deve valutarne il miglioramento.

Il paragrafo affronta questa domanda attraverso tre prospettive complementari. La discovery ricostruisce come il processo viene effettivamente eseguito; il conformance checking verifica se tale esecuzione rispetti quanto previsto; il performance mining e la variants analysis misurano le prestazioni e aiutano a spiegare le differenze tra i casi. Il percorso va quindi dal "come?" al "se corretto?" fino al "quanto bene?". Nessuna di queste prospettive, tuttavia, trasforma automaticamente l'evidenza in decisione: questo passaggio richiede una conoscenza del processo che risiede nell'organizzazione, non nello strumento.

2.3.1 Discovery: il processo reale e il governo della complessità

Van der Aalst (2016) definisce la discovery come il problema di ricavare da un event log un modello rappresentativo del comportamento osservato. La difficoltà sta però nel chiarire cosa significhi realmente "rappresentativo". Per questo l'autore individua quattro criteri di qualità, tra loro in equilibrio:

1. **Fitness:** il modello deve consentire il comportamento osservato nell'event log. Un modello dotato di fitness elevata è in grado di riprodurre la maggior parte delle tracce contenute nel log.
2. **Precisione:** il modello non deve consentire comportamenti del tutto estranei a quanto osservato. Un modello poco preciso evidenzia underfitting, ovvero ammette esecuzioni molto diverse da quelle registrate.
3. **Generalizzazione:** il modello deve generalizzare il comportamento di esempio contenuto nel log. Un modello che non generalizza evidenzia overfitting, ovvero risulta eccessivamente specifico e determinato dagli esempi osservati.
4. **Semplicità:** il modello deve essere il più semplice possibile, in applicazione del principio del rasoio di Occam, secondo cui non si deve moltiplicare il numero di entità richieste per spiegare un fenomeno oltre quanto necessario.

Bilanciare tali criteri risulta problematico, poiché essi entrano tra loro in conflitto: un modello eccessivamente semplificato tende a presentare fitness ridotta o mancanza di precisione, e sussiste un evidente compromesso tra underfitting e overfitting (van der Aalst, 2016).

La rilevanza di questi criteri si comprende considerando due modelli estremi che l'autore utilizza come termini di paragone. Il primo è il cosiddetto flower model, una rete che consente qualsiasi sequenza di attività purché inizi e termini con gli eventi appropriati. Tale modello presenta fitness perfetta, poiché qualsiasi event log può essere riprodotto, ed è per costruzione estremamente semplice. Nondimeno esso non contiene alcuna informazione oltre l'elenco delle attività presenti nel log, e può essere costruito conoscendo unicamente quali attività si siano verificate. Il secondo estremo è l'enumerating model, che si limita a elencare come percorsi alternativi tutte le sequenze osservate: anch'esso presenta fitness perfetta ed è per definizione preciso, ma costituisce semplicemente una codifica del log e risulta eccessivamente complesso. Il confronto tra i due dimostra che fitness e semplicità, pur necessarie, non sono sufficienti a qualificare un modello come utile, e che precisione e generalizzazione ne costituiscono il necessario complemento.

A tali criteri si affianca un vincolo di natura diversa, definito representational bias, che riguarda la scelta del linguaggio con cui il modello viene rappresentato. Qualsiasi tecnica di discovery presuppone infatti che il processo possa essere descritto attraverso una determinata classe di modelli, e questa scelta condiziona ciò che l'algoritmo è in grado di individuare. Van der Aalst (2016) illustra il punto con esempi semplici: se il linguaggio non ammette attività silenti, cioè passaggi che non lasciano traccia nel log, non sarà possibile rappresentare un'attività che viene talvolta saltata; se non ammette etichette duplicate, non sarà possibile rappresentare un'attività che ricorre in punti diversi del processo. In entrambi i casi, il limite non dipende dai dati, ma dal fatto che il linguaggio scelto non dispone dei costrutti necessari.

Il representational bias presenta una duplice natura. Da un lato limita ciò che può essere scoperto: van der Aalst (2016) osserva che numerosi processi reali non sono esprimibili nelle classi di modelli assunte dagli algoritmi più diffusi, soprattutto quando concorrenza e scelta si intrecciano. Dall'altro, circoscrive lo spazio di ricerca, rendendo gli algoritmi più efficienti e permettendo di privilegiare determinate tipologie di modelli, ad esempio

quelli privi di anomalie strutturali. Il punto rilevante in chiave gestionale è che si tratta di una scelta preliminare, non di una proprietà dei dati: come osservato nel paragrafo 2.2.1 a proposito del classificatore, una decisione presa prima dell'analisi condiziona ciò che l'analisi potrà restituire.

Due caratteristiche dell'event log incidono ulteriormente sulla qualità del risultato:

1. **Rumore:** Van der Aalst definisce in modo specifico come il comportamento raro e infrequente non rappresentativo dell'esecuzione tipica, e non come errore di registrazione. La distinzione è rilevante: un algoritmo non è in grado di discriminare una registrazione errata da un evento eccezionale, e tale valutazione richiede giudizio umano e trattamento del log a monte o a valle dell'analisi.
2. **Incompletezza:** si verifica quando il log contiene troppo pochi eventi per consentire di individuare alcune strutture del flusso. Van der Aalst (2016) illustra il problema con un esempio: un processo composto da dieci attività eseguibili in parallelo ammette oltre 3,6 milioni di possibili sequenze, per cui nessun event log di dimensioni realistiche potrà contenerle tutte. Gli algoritmi devono quindi adottare nozioni più deboli di completezza, verificando per esempio quali attività possano succedersi direttamente, anziché richiedere l'osservazione di ogni percorso possibile.

Su questa base si comprende ciò che l'autore denomina "modello 80/20", ovvero il modello capace di descrivere l'80% del comportamento osservato nel log. Tale modello risulta tipicamente semplice, poiché il restante 20% rende conto dell'80% della variabilità del processo. La scelta di escludere il comportamento infrequente non costituisce dunque una rinuncia all'accuratezza ma una decisione deliberata: includere le eccezioni produrrebbe diagrammi complessi, e risulterebbe comunque impossibile formulare affermazioni affidabili su comportamenti osservati in un numero esiguo di casi. Resta inteso che tali comportamenti possono essere interessanti in sé e meritare un'analisi separata, ma la loro inclusione nel modello complessivo ne comprometterebbe la leggibilità.

Questa osservazione ha una conseguenza importante anche in chiave gestionale. Quando un modello scoperto risulta molto complesso, si tende facilmente ad attribuirne la causa a un limite dello strumento. Van der Aalst osserva invece che la complessità del modello

può riflettere direttamente l'elevata variabilità del processo osservato. In questo senso, un modello difficile da leggere costituisce esso stesso un'informazione: segnala che il processo viene eseguito secondo molte modalità differenti. Il collegamento con il paragrafo 1.1.2 è diretto, dove la variabilità è stata introdotta come una dimensione della performance e come possibile moltiplicatore di inefficienze; la discovery ne offre una rappresentazione visiva immediata.

Su questa base l'autore distingue due tipologie di processi che si collocano agli estremi di un continuum:

1. I processi *lasagna* presentano una struttura chiara e prevalentemente predeterminata: le eccezioni sono limitate e gli stakeholder possiedono una buona comprensione del flusso. Van der Aalst propone anche un criterio operativo: un processo può essere considerato *lasagna* se, con sforzi contenuti, è possibile costruire un modello condiviso con fitness almeno pari a 0,8, cioè capace di spiegare oltre l'80% del comportamento osservato, e se gli stakeholder ne confermano la validità.
2. I processi *spaghetti* si collocano all'estremo opposto: è difficile definire con chiarezza condizioni di ingresso e uscita delle attività, perché l'esecuzione dipende maggiormente da esperienza, intuizione, tentativi ed errori e informazioni qualitative.

I processi semistrutturati occupano la posizione intermedia: le procedure sono delineabili ma alcune attività richiedono giudizio umano e ammettono deviazioni motivate dalle caratteristiche del caso trattato (van der Aalst, 2016).

Due esempi documentati dall'autore rendono evidente la distanza tra i due estremi:

- **Caso *lasagna*:** il processo di gestione delle richieste di assistenza domiciliare presso un comune olandese, analizzato su un event log contenente 528 richieste e 5498 eventi relativi a un periodo di circa un anno. Il modello ottenuto tramite discovery si è rivelato altamente strutturato e prevalentemente sequenziale, con una fitness pari a 0,995: di 528 casi, 496 risultano riprodotti senza alcuna discrepanza, mentre per i restanti 32 si registrano scostamenti puntuali. Il processo si qualifica dunque senza ambiguità come *lasagna*, e ciò implica che l'intero repertorio di tecniche risulti applicabile.

- **Caso spaghetti:** I percorsi diagnostici e terapeutici di 2.765 pazienti presso un ospedale olandese, analizzati su un event log contenente 114592 eventi riferiti a 619 attività distinte eseguite da 266 operatori. Il modello risultante è di tale complessità che le singole attività risultano riconoscibili soltanto ingrandendo l'immagine, e ciò nonostante fosse stato ottenuto con impostazioni che già filtravano il comportamento meno frequente. L'autore osserva che nel caso specifico l'eterogeneità dei pazienti spiega il risultato, e che selezionando gruppi con problematiche simili il modello si semplifica considerevolmente; anche per gruppi omogenei, tuttavia, i modelli risultanti mantengono frequentemente carattere spaghetti (van der Aalst, 2016).

La distinzione ha implicazioni operative dirette. Nei processi lasagna la discovery è meno centrale, perché il flusso è già noto e documentato; il valore si concentra quindi sul conformance checking, sull'analisi delle performance e sul supporto operativo. Nei processi spaghetti, invece, il valore sta soprattutto nella comprensione: rendere visibile una complessità che nessuno percepiva nel suo insieme costituisce già un risultato utile. Van der Aalst osserva infatti che i processi più strutturati sono più facili da analizzare ma offrono margini di miglioramento più contenuti, mentre quelli spaghetti presentano un potenziale maggiore, pur richiedendo analisi più impegnative. In questo senso, trasformare un processo spaghetti in un processo lasagna può rappresentare un risultato organizzativamente rilevante.

Da queste considerazioni emerge una raccomandazione centrale: non si deve cercare di scoprire il modello del processo, perché ogni modello rappresenta soltanto una vista sulla realtà e la sua adeguatezza dipende dalle domande a cui deve rispondere. Riprendendo quanto discusso nel paragrafo 2.2.1, van der Aalst descrive questa idea attraverso la metafora della vista di processo: il modello osserva la realtà da una certa angolatura, ne delimita il perimetro e la rappresenta a una determinata risoluzione. Queste tre dimensioni corrispondono alle scelte già esaminate: definizione del caso, perimetro e granularità. La discovery non restituisce quindi il processo in sé, ma una sua rappresentazione, la cui utilità dipende dalla coerenza tra le scelte compiute a monte e le domande gestionali dell'analisi.

2.3.2 Conformance checking: deviazioni, regole e priorità

La discovery mostra come il processo viene effettivamente eseguito, ma non dice se tale esecuzione sia conforme a quanto previsto. Il conformance checking affronta proprio questo scarto, confrontando l'event log con un modello di processo o con un insieme di regole di business. L'analisi consente così di individuare le discrepanze, localizzarle nel flusso e valutare il grado complessivo di aderenza.

Il conformance checking presuppone l'esistenza di un riferimento rispetto al quale valutare l'esecuzione. Come discusso nel paragrafo 1.2, ruoli, responsabilità e regole devono quindi essere definiti in modo esplicito e verificabile; in caso contrario, non esiste un criterio rispetto al quale misurare lo scostamento. La governance non rappresenta soltanto il contesto dell'analisi, ma una condizione necessaria per poterla svolgere.

Van der Aalst (2016) introduce a questo proposito una distinzione sulla base della quale bisogna interpretare i risultati. Quando emerge una discrepanza tra modello ed event log, essa ammette due letture opposte a seconda della natura attribuita al modello:

1. Se il modello è descrittivo, ovvero destinato rappresentare la realtà, la discrepanza segnala che il modello non riflette adeguatamente il comportamento osservato e deve essere aggiornato.
2. Se il modello è normativo, ovvero destinato a prescrivere o controllare il comportamento, la discrepanza indica invece che l'esecuzione si è discostata da quanto previsto.

La distinzione non è tecnica ma gestionale, poiché l'algoritmo restituisce lo stesso risultato in entrambi i casi. Ciò che cambia è il significato attribuito alla discrepanza, che dipende dallo scopo per cui il modello di riferimento è stato costruito.

L'autore illustra il funzionamento della verifica attraverso un esempio relativo alla gestione delle richieste di rimborso presso una compagnia aerea, nel quale tre casi risultano non conformi al modello normativo per ragioni diverse. Nel primo la decisione è stata presa e il rimborso pagato senza che il biglietto fosse stato controllato, ovvero saltando un passaggio previsto. Nel secondo il processo si interrompe dopo la decisione, senza che sia stata intrapresa alcuna azione conclusiva, né il pagamento né il rifiuto. Nel terzo il rimborso risulta pagato senza che fosse stata presa una decisione finale (van der

Aalst, 2016). I tre casi corrispondono a tipologie distinte di problema: l'omissione di un controllo, l'incompletezza dell'esecuzione e l'inversione della sequenza logica.

Dumas et al. (2018) formalizzano la verifica di conformità del flusso di controllo lungo due direzioni. La prima si fonda su vincoli espliciti, e distingue tre tipologie ricorrenti:

1. **Vincoli di obbligatorietà:** stabiliscono che determinate attività debbano essere sempre eseguite, tipicamente perché svolgono una funzione di controllo. Le violazioni si individuano ricercando le tracce in cui l'attività non compare.
2. **Vincoli di esclusività:** stabiliscono che due o più attività non possano coesistere nello stesso caso, per esempio che il rifiuto di una richiesta non possa essere seguito dalla sua approvazione. Le violazioni si individuano ricercando le tracce in cui entrambe le attività compaiono.
3. **Vincoli di ordinamento:** stabiliscono che due attività debbano sempre verificarsi in una determinata sequenza, per esempio che la disponibilità di un'attrezzatura sia verificata prima che la richiesta venga esaminata. Le violazioni si individuano ricercando le tracce in cui l'ordine risulta invertito.

La seconda direzione si fonda sul confronto con un modello normativo, e conduce a distinguere due tipi di discrepanza. Il primo, che gli autori denominano *unfitting log behavior*, comprende i comportamenti osservati nel log ma non ammessi dal modello. Il secondo, denominato *additional model behavior*, comprende i comportamenti ammessi dal modello ma mai osservati nell'esecuzione (Dumas et al., 2018). Quest'ultimo merita particolare attenzione in chiave gestionale, poiché rivela l'esistenza di percorsi previsti che nessuno percorre: passaggi burocratici che il modello contempla ma che nella pratica risultano superflui, oppure controlli che gli operatori hanno progressivamente smesso di eseguire.

La conformità non si esaurisce peraltro nel flusso di controllo. Gli autori estendono l'analisi a due ulteriori prospettive:

1. La prospettiva dei dati riguarda i valori assunti dai campi informativi. Un vincolo può stabilire che un finanziamento non sia concesso a un richiedente iscritto in una lista di esclusione, e la verifica consiste nel ricercare i casi in cui il campo assume un valore proibito.

2. La prospettiva delle risorse riguarda chi esegue le attività. I permessi sono tipicamente associati a ruoli, e le violazioni si individuano verificando per ciascuna attività se l'esecutore disponesse dell'autorizzazione necessaria. Rientra in questa categoria il vincolo di separazione delle funzioni, noto anche come principio dei quattro occhi, che impone a due soggetti distinti di approvare una medesima transazione. Gli autori osservano che tale vincolo può essere modulato per soglie: un finanziamento di importo contenuto può richiedere la firma di due impiegati, mentre un importo elevato può richiedere quella di un impiegato e di un direttore (Dumas et al., 2018).

Il punto a cui prestare attenzione è il significato da attribuire a una deviazione. Dumas et al. sono espliciti nell'escludere l'equazione automatica tra scostamento ed errore: una discrepanza può segnalare un'eccezione legittima che il modello non aveva previsto, e nel commentare i risultati di una verifica gli autori osservano che l'informazione sulle attività omesse può essere utilizzata per interrogare i partecipanti sulle ragioni dell'omissione, allo scopo di stabilire se essa sia desiderabile. La domanda che si pongono è se gli operatori abbiano individuato un modo più efficiente di svolgere l'attività, oppure se l'omissione debba essere considerata una cattiva pratica e come tale scoraggiata. Nell'esempio riportato, l'omissione di un'attività di conferma può ricadere nel primo caso, mentre quella di un'archiviazione ricade verosimilmente nel secondo (Dumas et al., 2018).

Da questa osservazione discende una conseguenza operativa che gli autori formalizzano come *model repair*. Una volta individuata una discrepanza, l'analista può decidere di ignorarla, per esempio perché ricorre raramente e non vale la pena rappresentare eccezioni tanto infrequenti, oppure di correggerla. La correzione può riguardare tanto l'esecuzione quanto il modello, aggiornando quest'ultimo affinché rifletta la pratica emersa. Il collegamento con la distinzione introdotta da van der Aalst è evidente: la scelta tra riparare il modello e correggere l'esecuzione dipende da quale dei due venga assunto come riferimento, e non può quindi essere delegata allo strumento.

Un ultimo elemento riguarda la prioritizzazione. Su event log di dimensioni reali, il conformance checking può restituire numerosi scostamenti, non tutti ugualmente rilevanti dal punto di vista gestionale. Van der Aalst mostra il caso di un processo di valutazione immobiliare presso un comune olandese: su 745 casi e 9.583 eventi, la fitness

complessiva è pari a 0,988, ma emergono comunque deviazioni puntuali, come l'avvio dell'attività di rivalutazione in 23 casi non previsti dal modello. La fitness segnala quindi un'elevata aderenza complessiva, mentre sono le diagnostiche locali a indicare dove concentrare l'attenzione.

Ne consegue che la priorità degli scostamenti non può essere stabilita dall'analisi stessa. Una deviazione frequente ma priva di conseguenze può essere meno rilevante di un'anomalia isolata che compromette un requisito di compliance o espone l'organizzazione a un rischio significativo. La valutazione deve quindi basarsi sull'impatto, alla luce degli obiettivi e dei KPI definiti nella governance di processo, come discusso nel paragrafo 1.2.3. Il conformance checking individua gli scostamenti, ma non ne determina la gerarchia: questa resta una decisione manageriale.

2.3.3 Performance e varianti: dal dove al perché

Le due famiglie di tecniche esaminate finora restituiscono informazioni di natura strutturale: la discovery mostra come il processo si articola, mentre il conformance checking evidenzia dove esso si discosta dal riferimento normativo. Nessuna delle due, tuttavia, consente di quantificare le prestazioni del processo né di individuare dove si concentrino tempi, attese o impiego di risorse. A questa esigenza risponde il performance mining, che integra nel modello di processo le informazioni prestazionali ricavate dall'event log, producendo quello che Dumas et al. (2018) definiscono un modello arricchito.

Il collegamento con il capitolo precedente emerge in modo diretto. Nel paragrafo 1.4.2, il Devil's Quadrangle è stato introdotto per mostrare come ogni intervento di miglioramento implichi un equilibrio tra dimensioni interdipendenti, più che la massimizzazione di una singola leva. Resta però un presupposto fondamentale: che le quattro dimensioni possano essere effettivamente misurate. È proprio questa possibilità che offre il performance mining, permette di analizzare le prestazioni del processo lungo ciascuna dimensione del Devil's Quadrangle:

1. La dimensione del tempo è quella più facilmente accessibile, poiché gli event log riportano tipicamente i timestamp degli eventi. Consente di calcolare il tempo di ciclo, ovvero la durata complessiva dall'avvio alla conclusione del caso, il tempo di elaborazione effettiva e il tempo di attesa che intercorre tra le attività.

2. La dimensione del costo richiede che il log contenga attributi economici oppure che il costo possa essere ricavato da altri attributi, ad esempio dal consumo di risorse, ed è possibile aggregare la spesa per periodo o per singolo caso.
3. La dimensione della qualità viene misurata attraverso indicatori quali i tassi di errore, la frequenza delle rilavorazioni e i livelli di conformità.
4. La dimensione della flessibilità valuta la capacità del processo di adattarsi alle variazioni, per esempio confrontando la capacità disponibile con la domanda.

Rispetto ai cruscotti direzionali, il performance mining opera a un livello di dettaglio maggiore. I cruscotti restituiscono infatti una visione aggregata dello stato del processo, attraverso indicatori come numero di casi conclusi, tempo di ciclo medio, utilizzo delle risorse e tasso di difettosità. Il performance mining consente invece di scendere al livello delle singole attività, delle risorse e dei passaggi tra attività, individuando dove si concentrano tempi, attese e altri fattori che incidono sulla prestazione complessiva. Questa capacità di localizzazione costituisce il valore principale della tecnica, ma anche il suo limite. Individuare che un'attività assorbe tempi di attesa elevati non equivale a comprendere perché ciò accada, e intervenire sull'attività identificata come collo di bottiglia senza averne ricostruito la causa espone al rischio già discusso nel paragrafo 1.4.3, ovvero di rimuovere un sintomo lasciando intatta la disfunzione che lo produce. Perciò il passaggio dal dove al perché richiede un'operazione analitica ulteriore.

Tale operazione è consentita dalle tecniche di variants analysis, che prendono in input due event log corrispondenti a varianti diverse del medesimo processo e restituiscono l'elenco delle differenze. Tipicamente il primo log raccoglie i casi conclusi con esito positivo secondo un criterio prestabilito e il secondo quelli conclusi con esito negativo: casi rispettosi delle tempistiche contrapposti a casi in ritardo, oppure casi che hanno generato soddisfazione contrapposti a casi sfociati in reclamo. Gli autori denominano questo tipo di analisi deviance mining, poiché l'obiettivo consiste nel comprendere perché alcuni casi risultino devianti, e osservano che la devianza può essere letta anche in senso positivo: separando i casi con prestazioni normali o inferiori alla norma da quelli con prestazioni superiori, si isolano comportamenti dai quali l'organizzazione può apprendere anziché limitarsi a correggere.

Il confronto tra varianti può essere condotto secondo due modalità:

1. L'approccio manuale consiste nel costruire un modello per ciascuna variante e confrontarli visivamente attraverso viste di frequenza e di performance, così da individuare differenze nei percorsi, nelle attività e nei tempi. È adatto quando i log sono contenuti o i modelli sufficientemente leggibili
2. L'approccio automatizzato utilizza tecniche di log delta analysis, che confrontano direttamente i due log e individuano pattern frequenti in una variante ma rari o assenti nell'altra. L'output può essere espresso anche attraverso semplici affermazioni sulle differenze osservate, ad esempio attività saltate o ripetute con frequenza diversa. (Dumas et al., 2018).

Un esempio documentato dagli autori mostra concretamente cosa questa analisi consenta di ricavare. Applicata a un event log relativo a un processo di gestione delle richieste di finanziamento, l'analisi ha rilevato che il 96% dei casi si concludeva entro 45 giorni mentre il restante 4% si estendeva fino a 169 giorni. Separando i due sottoinsiemi e confrontando i modelli, è emerso che l'annullamento dell'offerta ricorreva nell'80% dei casi lenti, con una media di circa 2 occorrenze per caso, contro il 48% dei casi veloci e una media di 1,37 occorrenze. Analogamente, l'attività di richiamo del cliente per pratiche incomplete ricorreva nel 61% dei casi lenti contro il 47% di quelli veloci, e nei casi lenti costituiva un collo di bottiglia con 5,9 giorni di tempo di elaborazione contro le 11,4 ore dei casi veloci, il che suggeriva che in tali situazioni il cliente risultasse più difficile da raggiungere (Dumas et al., 2018). L'analisi non si limita dunque a segnalare che alcuni casi sono lenti, ma individua i comportamenti che li differenziano e ne quantifica la ricorrenza.

Il valore gestionale di questa progressione emerge con particolare chiarezza nel caso Suncorp, riportato dagli stessi autori. La compagnia, il maggiore assicuratore australiano, gestiva 9 marchi distinti e 30 catene del valore: tale variabilità si traduceva in prestazioni divergenti nei processi di gestione dei sinistri. L'analisi è stata condotta suddividendo il log in casi rapidi e casi lenti e confrontando i modelli risultanti, e ha individuato nelle ripetizioni indesiderate di determinate attività il fattore differenziante. Il passaggio decisivo è avvenuto nella fase successiva: gli analisti hanno discusso i risultati con i partecipanti al processo e con altri stakeholder, sottoponendo loro casi concreti nei quali le ripetizioni si erano verificate, e attraverso tali confronti mirati sono riusciti a determinarne le ragioni. Su questa base è stato costruito un business case per il

miglioramento, la cui implementazione ha condotto a una riduzione del tempo di ciclo da un intervallo compreso tra 30 e 60 giorni a 5 giorni, e a una riduzione del 30% nell'utilizzo delle risorse (Dumas et al., 2018).

Un secondo caso, riportato da van der Aalst (2016), mostra una dinamica analoga in un contesto differente. Un dipartimento provinciale dei lavori pubblici olandesi era tenuto a saldare le fatture entro 31 giorni dal ricevimento, oltre i quali il creditore matura il diritto agli interessi, e si era posto l'obiettivo di rispettare tale termine per almeno il 90% dei pagamenti; l'analisi dell'event log, condotto su 14.279 fatture e 147.579 eventi, mostrava tuttavia che soltanto il 70% rientrava nei termini. La ricostruzione del flusso ha evidenziato che diverse attività dovevano essere ripetute, con lavorazioni rinviate avanti e indietro tra persone e passaggi differenti. L'analisi della rete di collaborazione ha poi consentito di individuare la causa: alcuni responsabili di progetto attribuivano all'approvazione delle fatture una priorità bassa, senza rendersi conto che i loro tempi di risposta determinavano il superamento della soglia. Presa consapevolezza dell'impatto del proprio comportamento, essi hanno accettato di elevare la priorità dell'attività, accelerando così il processo (van der Aalst, 2016).

Entrambi i casi mostrano la stessa dinamica: la tecnica analitica consente di localizzare l'anomalia, quantificare il divario e circoscrivere l'ambito di indagine, ma non di individuarne autonomamente la causa. Questa emerge invece dal confronto con chi il processo lo conosce e lo esegue. Dumas et al. (2018) formalizzano tale logica nell'approccio guidato dalle domande, articolato in cinque fasi: inquadramento del problema, raccolta dei dati, analisi, interpretazione dei risultati e formulazione di una proposta di miglioramento. In particolare, la fase di interpretazione prevede la validazione degli insight con esperti di dominio e stakeholder. Gli autori distinguono questo approccio da quello esplorativo, orientato a comprendere il processo in assenza di una domanda specifica, sottolineando però come le due modalità siano complementari: l'esplorazione iniziale può infatti far emergere le domande che verranno successivamente approfondite in modo mirato.

La medesima logica ricorre nella metodologia proposta da van Eck et al. (2015), applicata al processo di acquisto di parti di ricambio presso IBM. Il progetto muoveva da una domanda deliberatamente generica su quale aspetto avesse il processo e coinvolgeva un gruppo di lavoro composto da un responsabile, due business expert, due process analyst

e un system expert, dei quali soltanto gli analisti possedevano esperienza pregressa di Process Mining. La composizione del team è significativa: la presenza di competenze di dominio accanto a quelle analitiche non costituisce un elemento accessorio, ma una condizione essenziale per interpretare correttamente i risultati.

Da quanto emerge, le tre famiglie di tecniche esaminate producono evidenze differenti, ma nessuna fornisce da sola una risposta completa: la discovery restituisce una rappresentazione da interpretare, il conformance checking individua scostamenti da valutare e il performance mining misura prestazioni che devono essere spiegate. In tutti i casi, il passaggio dall'evidenza alla decisione richiede conoscenza del processo, che risiede nell'organizzazione e non nello strumento. Questo richiama quanto discusso nel paragrafo 1.4.4: il ciclo che collega insight, decisione, intervento, misurazione e apprendimento dipende non solo dalla disponibilità di evidenze, ma anche dalla capacità organizzativa di tradurle in azione. È su queste condizioni che si concentra il paragrafo successivo.

2.4 Implementare il Process Mining: percorso e condizioni organizzative

Le tecniche analizzate nei paragrafi precedenti rendono visibile il processo, ma non trasformano automaticamente l'evidenza in decisione. Questo passaggio dipende da conoscenze, competenze e condizioni che risiedono nell'organizzazione.

Il paragrafo affronta quindi il problema su tre livelli. PM² descrive come strutturare un progetto di Process Mining; lo studio Delphi di Martin et al. amplia la prospettiva alle condizioni organizzative che ne influenzano l'efficacia; Grisold et al. mostrano infine cosa serve perché tali condizioni possano consolidarsi nel tempo. Il percorso va quindi dal singolo progetto al contesto organizzativo, fino alla costruzione di una capability duratura.

2.4.1 Il percorso operativo: la metodologia PM²

Nel paragrafo precedente si è evidenziato che nessuna delle famiglie di tecniche esaminate restituisce una risposta completa, in quanto il passaggio dall'evidenza alla decisione richiede una conoscenza del processo che appartiene all'organizzazione stessa. Tale constatazione solleva una domanda di natura operativa: se le tecniche da sole non bastano, quale metodologia consente di condurre un'iniziativa di Process Mining a partire dalla formulazione dell'obiettivo fino all'intervento sul processo. PM², la metodologia proposta da van Eck et al. (2015) risponde a questa esigenza.

Gli autori si basano sulla constatazione che le metodologie disponibili risultino inadeguate allo scopo, muovendo una critica che si articola su due livelli: le metodologie generaliste già sviluppate all'epoca in ambito data mining, ovvero CRISP-DM e SEMMA, operano ad un livello di astrazione troppo elevato e non sono in grado di fornire una guida adeguata rispetto alle attività specifiche del Process Mining. Le metodologie dedicate presentano invece limiti di natura diversa: il Process Diagnostics Method è limitato ad un ambito circoscritto, ricoprendo un numero ridotto di tecniche e privilegia un'analisi che evita il ricorso alla conoscenza di dominio, il che lo rende poco applicabile a progetti estesi e complessi; il modello L* invece, in grado di ricoprire un insieme più ampio di tecniche, è stato concepito principalmente per l'analisi di processi strutturati e mira alla scoperta di un unico modello integrato; nessuna delle due metodologie, infine, incoraggia esplicitamente un approccio iterativo, che gli autori qualificano, sulla base

tanto della propria esperienza e dei casi documentati in letteratura, come vitale van Eck et al. (2015).

Ne consegue l'impostazione di PM² van Eck et al. (2015), articolata in sei fasi raggruppate in due blocchi funzionalmente distinti. Le prime due costituiscono l'inizializzazione e vengono eseguite una sola volta; le tre successive formano le iterazioni di analisi, ripetute eventualmente in parallelo e ciascuna orientata a una specifica domanda di ricerca, con una durata che può variare da pochi minuti a diversi giorni. La sesta fase viene invece attivata quando i risultati ottenuti sono ritenuti soddisfacenti. La metodologia mette inoltre in relazione tre categorie di oggetti: gli obiettivi dell'analisi, rappresentati dalle domande di ricerca, dai findings e dalle idee di miglioramento; i dati, che evolvono dai sistemi informativi agli event data e infine agli event log; e i modelli, distinti tra modelli di processo e modelli analitici. Chiarita la struttura complessiva di PM², si possono ora analizzare le sei fasi che ne articolano il percorso operativo, dalla definizione iniziale del progetto fino al miglioramento e al supporto del processo.

1. Planning.

La prima fase definisce l'impostazione del progetto e le gli interrogativi di ricerca, riconducendo gli obiettivi del Process Mining a due finalità principali: miglioramento delle performance e verifica della conformità. A partire dai processi aziendali, vengono selezionati quelli da analizzare considerando caratteristiche del processo, qualità degli event data e changeability, cioè la possibilità per l'organizzazione di intervenire concretamente sull'esecuzione del processo sulla base dei risultati ottenuti. Gli obiettivi vengono quindi tradotti in domande di ricerca riferite ad aspetti quali qualità, tempo, risorse e costi. La fase comprende infine la composizione del team, articolato in business owner, business expert, system expert e process analyst; tra questi, gli autori attribuiscono particolare importanza alla collaborazione tra business expert e process analyst, ritenuta essenziale per produrre risultati rilevanti e utilizzabili.

2. Extraction.

La seconda fase riguarda l'estrazione degli event data e, opzionalmente, dei modelli di processo esistenti. A partire dalle domande di ricerca e dai sistemi informativi individuati, viene definito lo scope dell'estrazione specificando granularità, intervallo temporale, attributi rilevanti e correlazioni tra i dati. I dati selezionati vengono quindi raccolti dai diversi sistemi e integrati in un'unica collezione di eventi. Parallelamente, business expert e process analyst condividono la conoscenza tacita relativa al processo e ai dati, attraverso interviste o sessioni di confronto, così da supportare le successive attività di elaborazione e analisi. PM² separa esplicitamente questa fase dalla creazione dell'event log, poiché l'estrazione è più onerosa e meno frequentemente ripetuta, mentre dagli stessi event data possono essere costruite più viste e quindi event log differenti.

3. Data processing.

Questa fase trasforma gli event data in event log adatti all'analisi successiva. Comprende quattro attività principali: A) Creazione delle viste, attraverso la definizione della case notion e delle classi di evento, scelte in funzione dell'obiettivo dell'analisi. B) Aggregazione degli eventi, per ridurre la complessità e ottenere rappresentazioni più strutturate. C) Arricchimento dei log, mediante attributi derivati o dati esterni. D) Filtraggio, utilizzato per focalizzare l'analisi su specifiche porzioni del dataset attraverso tecniche slice and dice, basate sulla varianza o sulla conformità. La scelta della case notion assume particolare rilievo, poiché determina come gli eventi vengono ricondotti a una stessa istanza di processo e quindi quale prospettiva analitica viene adottata.

4. Mining and analysis.

In questa fase vengono applicate agli event log le tecniche di Process Mining necessarie a rispondere alle domande di ricerca relative a performance e conformità. Le attività principali sono quattro: Process discovery, conformance checking, enhancement e process analytics, che comprende anche tecniche complementari come data mining e visual analytics. Conformance checking ed enhancement possono essere applicati rispetto a quattro dimensioni principali: qualità, tempo, risorse e costo. Quando le domande di ricerca sono ancora astratte, gli autori suggeriscono un approccio esplorativo combinato con il process

discovery, così da ottenere una visione complessiva del processo e formulare successivamente domande più specifiche.

5. Evaluation.

Questa fase collega i risultati dell'analisi alle possibili idee di miglioramento o alla formulazione di nuove domande di ricerca. La diagnosi serve a interpretare i risultati, distinguendo quelli attesi da quelli inattesi o rilevanti e individuando eventuali approfondimenti per le iterazioni successive. Verifica e validazione ne accertano invece la correttezza: la prima confronta i findings con i dati originali e con l'implementazione dei sistemi, mentre la seconda li confronta con quanto riportato dagli stakeholder del processo. Il coinvolgimento degli esperti di dominio è quindi essenziale per interpretare correttamente i risultati e individuarne le cause, idealmente già durante la fase di analisi.

6. Process improvement and support.

Questa fase utilizza i risultati dell'analisi per intervenire sull'esecuzione del processo. Gli autori distinguono due attività: l'implementazione dei miglioramenti e il supporto operativo. La prima viene generalmente considerata un progetto separato, rispetto al quale il Process Mining fornisce un input fattuale per approcci come Business Process Reengineering e Six Sigma. Il supporto operativo riguarda invece l'individuazione di casi problematici in corso, la previsione della loro evoluzione e il suggerimento di azioni, ma richiede risultati affidabili e un'infrastruttura capace di collegarli ai dati di evento in tempo reale, risultando quindi più adatto a processi fortemente strutturati.

L'applicazione concreta di PM² viene illustrata dagli autori attraverso il caso IBM, relativo al processo di acquisto di parti di ricambio per i servizi hardware dell'azienda. L'obiettivo era ottenere una comprensione dettagliata delle performance del processo, a partire da una domanda volutamente generale: "What does the process look like?". Il processo fu selezionato soprattutto per la disponibilità di event data di buona qualità; il team comprendeva un responsabile, due business expert, due process analyst e un system expert, ma soltanto gli analisti possedevano esperienza pregressa di Process Mining.

Lo scope dell'estrazione fu limitato agli ordini creati in un singolo mese, includendo tuttavia tutti gli eventi relativi a ciascun ordine e alla corrispondente requisizione anche se avvenuti al di fuori del periodo considerato, ed escludendo gli eventi riferiti alle singole righe d'ordine. Il dataset risultante comprendeva centinaia di migliaia di eventi relativi a migliaia di ordini e fu analizzato principalmente attraverso il framework open source ProM.

Ai fini metodologici, assumono particolare rilievo le lezioni ricavate dall'applicazione di PM². Nella prima iterazione esplorativa, svolta senza il coinvolgimento diretto dei business expert e con un limitato trasferimento di conoscenza, la mancanza di conoscenza di dominio portò a errori nelle operazioni di filtraggio e aggregazione, producendo risultati non rappresentativi del processo. Il successivo coinvolgimento dei business expert consentì invece di condurre le analisi in tandem con i process analyst, una modalità definita dagli stakeholder IBM una "golden combination", poiché rese le iterazioni più rapide e favorì la formulazione di concrete idee di miglioramento.

Il caso evidenzia inoltre l'importanza di una comprensione condivisa del Process Mining: l'assenza di esperienza specifica da parte dei business expert rese inizialmente più difficile l'interpretazione dei risultati, rendendo necessario un workshop di un'intera giornata volto ad accrescere, da un lato, la conoscenza del Process Mining e, dall'altro, la comprensione del business da parte degli analisti. L'intervento rese la fase di valutazione più rapida ed efficace.

Un'ulteriore indicazione riguarda la formulazione dei quesiti di ricerca: anche quesiti inizialmente astratti possono essere progressivamente raffinati attraverso un'analisi esplorativa guidata dai dati, fino a generare domande più concrete e utili per il miglioramento. Allo stesso tempo, il caso mostra la necessità di verificare preventivamente la qualità dei dati: timestamp registrati in modo errato condussero infatti a risultati non corretti e imposero di ripetere parte dell'estrazione e dell'analisi, problema che avrebbe potuto essere individuato con controlli statistici e ispezioni preliminari.

Gli autori segnalano infine due limiti ancora aperti sul piano strumentale: la difficoltà di confrontare automaticamente modelli di processo differenti e la scarsa rapidità nel passaggio tra viste e filtri diversi sui medesimi dati. Nel complesso, il caso IBM mostra come PM² non si limiti a ordinare una sequenza di tecniche, ma strutturi il progetto come un percorso iterativo nel quale domande di ricerca, dati, analisi e conoscenza di dominio

vengono progressivamente allineati. Da qui emerge anche il passaggio al tema successivo: la disponibilità di una metodologia strutturata non elimina infatti le difficoltà organizzative che possono ostacolare l'adozione del Process Mining.

2.4.2 Opportunità e sfide dell'adozione: lo studio Delphi di Martin et al.

La metodologia PM² struttura il percorso operativo di un progetto di Process Mining, ma il suo successo dipende anche da condizioni organizzative che vanno oltre la metodologia stessa, come il supporto del management, l'accessibilità dei dati e la disponibilità di competenze adeguate. Su questo piano complementare si colloca lo studio Delphi di Martin et al. (2021), volto a fornire una visione sistematica delle opportunità e delle sfide legate all'utilizzo del Process Mining nelle organizzazioni.

Lo studio ha coinvolto un panel internazionale di 40 esperti provenienti da 16 paesi, bilanciato tra 17 accademici e 23 practitioner. I criteri di selezione erano espliciti e differenziati: agli accademici si richiedeva il possesso di un dottorato, almeno 5 anni di esperienza nella ricerca sul Process Mining e il coinvolgimento in almeno 2 applicazioni reali nei 5 anni precedenti; ai practitioner almeno 3 anni di esperienza lavorativa e almeno 1 anno di esperienza specifica nell'uso del Process Mining. Lo studio si è articolato in 6 round nell'arco di 2 mesi e mezzo, con un tasso di risposta iniziale del 72% e un tasso di abbandono finale del 20%; al sesto round il panel risultava perfettamente bilanciato, con 16 accademici e 16 practitioner.

Il risultato principale è un elenco di 30 opportunità e 32 sfide, organizzate secondo i core elements del BPM: strategic alignment, governance, methods/IT, people e culture. Gli autori accorpano methods e IT in un'unica categoria e, per le opportunità che vi rientrano, introducono un'ulteriore classificazione secondo le fasi del ciclo di vita del BPM: process discovery, process analysis, process redesign and implementation e process monitoring and controlling. La struttura non è stata imposta a priori, ma definita a partire dagli input emersi nel primo round e successivamente validata dal panel, Martin et al. (2021).

Il dato più rilevante riguarda la distribuzione tra le categorie: 13 opportunità su 30 (43%) e 23 sfide su 32 (72%) ricadono fuori da methods/IT. Questo mostra che, nonostante il Process Mining sia ancora percepito soprattutto come una pratica tecnica, gran parte delle opportunità e soprattutto delle criticità riguarda dimensioni organizzative e manageriali.

La maggiore concentrazione delle sfide fuori da methods/IT suggerisce inoltre che le tecniche stiano maturando più rapidamente delle condizioni organizzative necessarie al loro utilizzo efficace.

Tra le 30 opportunità, 10 sono valutate come *extremely relevant* da entrambi i sottopanel. Tra queste rientrano il miglioramento della trasparenza dei processi, l'analisi delle risorse, delle varianti e delle eccezioni, la comprensione della conformità, il benchmarking, l'identificazione degli sprechi, il miglioramento dei processi e la valutazione delle prestazioni. A queste si aggiungono la generazione di visualizzazioni intuitive e il supporto a una comunicazione e a un processo decisionale basati sull'evidenza. Molte di queste opportunità richiamano direttamente le tecniche discusse nel paragrafo precedente, confermando un consenso ampio sul potenziale analitico del Process Mining. Allo stesso tempo, voci come la trasparenza, la visualizzazione intuitiva e il decision-making basato sull'evidenza mostrano che il valore percepito non si limita all'analisi, ma riguarda anche la capacità di rendere il processo più comprensibile e utilizzabile nelle decisioni organizzative Martin et al. (2021).

Sul versante della strategic alignment, i practitioner attribuiscono alle opportunità del Process Mining una rilevanza maggiore rispetto agli accademici, riflettendo la loro esperienza diretta nell'avvio e nello sviluppo delle iniziative. In particolare, emerge il valore attribuito alla creazione di valore inter-organizzativo, al supporto delle decisioni strategiche e alla trasformazione digitale. Le opportunità legate alla governance riguardano invece il mantenimento di repository di processo aggiornati e il supporto alla gestione dei dati.

Il consenso si riduce quando si passa alle sfide: soltanto tre sono valutate come *extremely relevant* da entrambi i sottopanel:

- C.2, mancanza di supporto da parte del management
- C.7, scarsa qualità dei dati
- C.12, complessità della preparazione dei dati

Queste criticità richiamano direttamente temi già emersi nei capitoli precedenti. La qualità del dato rimanda alla data readiness, il supporto del management al ruolo della sponsorship, mentre la complessità della preparazione dei dati conferma l'onere associato

alla costruzione dell'event log e alle scelte relative a perimetro, granularità e definizione del caso Martin et al. (2021).

Le restanti sfide mostrano livelli diversi di divergenza tra i due sottopanel, con una tendenza degli accademici ad attribuire loro maggiore rilevanza. Le differenze più marcate riguardano tre aspetti legati a people e culture: l'insufficienza delle competenze tecniche (C.22), dell'orientamento ai dati (C.24) e dell'orientamento ai processi (C.25). Gli autori spiegano questo scarto osservando che gli accademici percepiscono ancora una diffusione insufficiente di competenze e mentalità orientate al Process Mining, mentre i practitioner potrebbero aver già sviluppato meccanismi di adattamento o operare in organizzazioni che hanno in parte superato tali barriere. Il disallineamento evidenzia quindi la necessità di un maggiore trasferimento di conoscenza tra accademia e industria.

Un ulteriore risultato riguarda la persistenza delle criticità nel tempo. Le principali limitazioni già rilevate da Claes e Poels (2012): accesso limitato ai dati, elevati costi di preparazione, scarsa qualità dei dati, mancanza di guida e difficoltà nella comprensione degli output, risultano ancora presenti nello studio del 2021, rispettivamente nelle sfide C.4, C.12, C.7, C.6 e C.16. La loro persistenza a quasi un decennio di distanza mostra come le difficoltà legate alla preparazione dei dati, alla comprensibilità dei risultati e alla guida all'implementazione restino ancora irrisolte.

Da queste evidenze derivano alcune raccomandazioni per i practitioner. Gli autori sottolineano anzitutto la necessità di rafforzare il business case del Process Mining, allineando i progetti alle priorità organizzative e rendendone espliciti i ritorni. Occorre inoltre ridurre le barriere di accesso ai dati e migliorarne la qualità, integrando il Process Mining nelle strategie di data governance. Infine, la formazione dovrebbe andare oltre l'uso degli strumenti e promuovere una maggiore consapevolezza dei processi e dei dati, anche attraverso workshop interdipartimentali Martin et al. (2021).

Da quanto emerge, l'adozione efficace del Process Mining dipende da condizioni che coinvolgono l'intera organizzazione, non soltanto il team di progetto. La dimensione tecnica, pur necessaria, non è sufficiente: supporto del management, accesso ai dati e competenze diffuse sono condizioni essenziali affinché gli insight prodotti possano tradursi in decisioni e interventi. Resta però aperta una questione ulteriore: perché tali condizioni siano così difficili da costruire e, soprattutto, da mantenere nel tempo oltre il singolo progetto. È su questo tema che si concentra il paragrafo successivo.

2.4.3 Dall'iniziativa isolata alla capability organizzativa

Il paragrafo precedente ha mostrato come molte delle sfide legate all'adozione del Process Mining abbiano natura organizzativa e come alcune persistano nel tempo. Ciò sposta l'attenzione oltre la corretta conduzione del singolo progetto, verso il modo in cui il Process Mining viene inserito e utilizzato nell'organizzazione. In questa prospettiva si colloca lo studio di Grisold et al. (2021), che esplora come i process manager percepiscano l'adozione, l'uso e la gestione del Process Mining nella pratica.

Lo studio si basa su un focus group con 22 process manager provenienti da settori differenti, tra cui sanità, consulenza e servizi finanziari. Tutti i partecipanti avevano responsabilità legate all'adozione, all'uso o alla gestione del Process Mining, soprattutto negli ambiti del BPM, della qualità e dell'eccellenza, della direzione aziendale e dell'ingegneria di processo. Il campione era prevalentemente svizzero: 20 partecipanti operavano in Svizzera, uno in Germania e uno in Liechtenstein. Gli stessi autori riconoscono i limiti dello studio, legati alla dimensione ridotta del focus group, alla concentrazione geografica sul mercato svizzero-tedesco e alla durata limitata a un solo pomeriggio, che non ha permesso di approfondire i singoli casi organizzativi

Le criticità emerse dal focus group accompagnano quattro fasi principali del percorso di adozione del Process Mining:

- 1. Planning e business case.**

I process manager riconoscono il potenziale del Process Mining nel migliorare l'efficienza e supportare decisioni basate su evidenze, ma faticano a prevederne e quantificarne i risultati economici. Rimane quindi aperta la questione di come costruire un business case convincente e tradurre i benefici dell'analisi in maggiori ricavi o minori costi. Il problema richiama direttamente la difficoltà di determinare il business value già emersa nello studio Delphi.

- 2. Selezione del processo.**

L'idoneità al Process Mining dipende meno dal tipo di processo che da caratteristiche quali il numero di ripetizioni, la presenza di varianti e la quantità di dati disponibili. Anche il livello di astrazione scelto incide sull'interpretazione

dei risultati, mentre manca ancora una guida consolidata per individuare i processi più adatti all'analisi.

3. **Implementazione.**

Le principali difficoltà riguardano la disponibilità e l'integrazione dei dati, spesso distribuiti tra sistemi informativi differenti. I gruppi incaricati dell'integrazione possono inoltre incontrare ostacoli nell'accesso ai dati perché non coinvolti nei processi decisionali che ne regolano l'utilizzo, generando ritardi dovuti più a barriere organizzative che tecniche.

4. **Uso del Process Mining.**

Una volta implementato, emerge il carattere ambivalente della trasparenza: rendere visibile il processo reale può migliorare comunicazione e coordinamento, ma può anche generare diffidenza se i dipendenti percepiscono la registrazione delle proprie attività come una forma di sorveglianza. Per questo gli autori sottolineano l'importanza di una cultura basata su fiducia e apertura e di una politica dei dati trasparente.

Da queste criticità derivano quattro principali implicazioni per la ricerca futura. La prima riguarda la valutazione economica, ossia come tradurre i benefici del Process Mining in risultati finanziari misurabili. La seconda riguarda le implicazioni organizzative, con particolare attenzione a come la tecnologia modifichi pratiche di lavoro e cultura. La terza investe leadership e governance, interrogandosi sulle strutture decisionali e sulle competenze necessarie per sostenere un decision-making basato sui dati. La quarta riguarda infine disponibilità dei dati e privacy, con la necessità di sviluppare strategie di raccolta coerenti con i vincoli normativi, incluso il GDPR.

Il filo conduttore che attraversa le quattro fasi e le relative implicazioni è quindi comune: molte delle criticità emerse non possono essere risolte all'interno del singolo progetto, perché riguardano condizioni organizzative più ampie, come il supporto del management, la governance dei dati, la cultura della trasparenza e la capacità di tradurre gli insight in decisioni. PM² struttura le attività del progetto, lo studio Delphi ne evidenzia le condizioni di contesto, mentre Grisold et al. mostrano come l'adozione continuativa richieda di integrare il Process Mining nella struttura e nelle pratiche dell'organizzazione. In questa prospettiva, il passaggio dall'iniziativa isolata a una

capability organizzativa dipende dalla capacità di consolidare nel tempo competenze, ruoli e regole che rendano gli insight effettivamente utilizzabili. È il passaggio che il paragrafo 2.1 ha indicato con il termine Process Intelligence, e le condizioni emerse dalla letteratura sull'adozione coincidono in larga parte con quelle che Reinkemeyer (2022) individua come fattori di successo. La difficoltà di costruire un business case rilevata da Grisold et al. corrisponde all'esigenza di definire esplicitamente il valore atteso, il supporto del management segnalato come criticità nello studio Delphi corrisponde alla sponsorship del vertice, e l'attenzione alla cultura e alla trasparenza richiama la gestione del cambiamento. Fonti diverse convergono quindi su un punto: ciò che distingue la Process Intelligence dall'applicazione episodica delle tecniche non è di natura tecnologica, ma organizzativa. È questa continuità a consentire di alimentare stabilmente il ciclo insight, decisione, intervento, misurazione e apprendimento discusso nel Capitolo 1.

2.5 Il supporto strumentale: evoluzione del panorama e criteri di scelta

Le condizioni organizzative discusse nel paragrafo precedente presuppongono una dotazione tecnologica adeguata, ma gli strumenti di Process Mining non sono equivalenti rispetto a ciò che consentono di osservare e misurare. Le differenze tra le piattaforme non riguardano soltanto prezzo, interfaccia o numero di funzionalità, ma possono incidere sulla natura e sull'affidabilità delle evidenze prodotte. Diventa quindi necessario chiarire lungo quali dimensioni gli strumenti si differenzino e quali criteri debbano orientarne la scelta.

Il paragrafo si sviluppa in tre passaggi. Il primo ricostruisce l'evoluzione dai prototipi accademici ai prodotti commerciali, individuando gli assi principali lungo cui gli strumenti possono essere caratterizzati. Il secondo traduce questi assi in criteri di valutazione coerenti con quanto emerso nei paragrafi precedenti. Il terzo applica tali criteri al caso applicativo, motivando la scelta dello strumento e delimitandone la portata.

Il movimento è quindi progressivo: dalla descrizione del panorama ai criteri per valutarlo, e da questi alla decisione particolare. La conclusione che ne emerge è che la scelta di uno strumento non consiste nell'individuare il prodotto migliore in assoluto, ma nell'allineare le caratteristiche della piattaforma al profilo delle domande che l'organizzazione intende porre.

2.5.1 Dall'ecosistema accademico al mercato: l'evoluzione degli strumenti

La capability descritta nel paragrafo precedente richiede anche strumenti adeguati, ma le piattaforme di Process Mining non sono equivalenti tra loro. Le differenze non riguardano soltanto prezzo o interfaccia, ma riflettono modi diversi di concepire l'utente, il livello di competenza richiesto e il tipo di analisi da supportare. Ricostruirne l'evoluzione aiuta quindi a comprendere i criteri con cui scegliere uno strumento, andando oltre il semplice confronto delle funzionalità.

Nei primi anni Duemila il Process Mining era supportato da diversi strumenti stand-alone, sviluppati principalmente per sperimentare singole tecniche di discovery. Si trattava però di prototipi pensati per modelli semplici e dataset limitati, poco adatti a un utilizzo reale in termini di scalabilità e usabilità. Da qui emerse l'esigenza di una piattaforma comune, che permettesse di sviluppare nuove tecniche senza dover ricostruire ogni volta l'intera infrastruttura di caricamento, gestione e visualizzazione dei dati. Da questa esigenza nasce ProM, concepito come un ambiente estensibile che offrisse una

base comune per il caricamento e il filtraggio dei log e per la visualizzazione dei risultati. In questo modo, chi sviluppava nuove tecniche poteva concentrarsi sull'algoritmo senza dover ricostruire ogni volta l'intera infrastruttura. La prima versione pienamente funzionante fu rilasciata nel 2004 con 29 plug-in; nel 2006 erano 142, nel 2009 286, fino a superare successivamente i 1500. La crescita della piattaforma, accompagnata da oltre 130000 download, mostra come ProM sia diventato lo standard di riferimento per lo sviluppo di tecniche di Process Mining.

Il successo di ProM rese però evidente un nuovo limite. Con quasi 300 plug-in, la versione del 2009 risultava difficile da utilizzare per gli utenti meno esperti e poco adatta a essere integrata con altri strumenti di data mining. Per rispondere a questi problemi, nel 2010 venne rilasciato ProM 6, basato su un'architettura più modulare e sullo standard XES, che permetteva di caricare soltanto le funzionalità necessarie. Il punto rilevante è che il problema dell'usabilità emerse già in ambito accademico: all'aumentare delle tecniche disponibili, diventava sempre più difficile conciliare ampiezza analitica e semplicità d'uso.

Il mercato commerciale si sviluppa a partire dalla stessa tensione, privilegiando però usabilità e accessibilità. Il primo strumento commerciale dedicato fu Reflect, sviluppato da Futura Process Intelligence, mentre nel 2009 Gartner segnalò Futura e Pallas Athena come vendor emergenti nel Process Mining. La crescita del mercato fu poi rapida: van der Aalst censiva 11 strumenti commerciali nel 2016 e oltre 40 nel 2022.

Anche il lessico del mercato riflette questa evoluzione: il termine Process Intelligence compare fin dall'inizio nella denominazione dei vendor, come nel caso di Futura, ed è stato adottato come nome di prodotto da piattaforme successive, tra cui Signavio Process Intelligence (Drakoulogkonas e Apostolou, 2021). Già van der Aalst (2016) osservava che denominazioni di questo tipo vengono usate dai vendor con significati non sempre coincidenti, un motivo in più per tenere distinta, come fatto in questo lavoro, la famiglia di tecniche dall'uso organizzativo che ne viene fatto.

Il legame con la ricerca rimane però forte: molti strumenti commerciali derivano da idee sviluppate nell'ecosistema di ProM. Disco, per esempio, utilizza un algoritmo di discovery evoluto a partire dal Fuzzy Miner, migliorato in termini di scalabilità e robustezza. Il passaggio dalla ricerca al mercato fu tuttavia graduale. Accorsi e Lebherz (2022) osservano che ancora attorno al 2013 il Process Mining era prevalentemente

accademico, con vendor spesso nati come spin-off universitari, e che mancavano evidenze consolidate sulla sua scalabilità come strumento di miglioramento. Tra gli ostacoli vi erano anche la difficoltà degli stakeholder nel distinguerlo dalla Business Intelligence e la scarsa capacità di comunicarne chiaramente i benefici. Questo richiama il confronto discusso nel paragrafo 2.1.3, mostrando come la distinzione tra Process Mining e Business Intelligence abbia inciso non solo sul piano concettuale, ma anche sulla diffusione della disciplina.

Per orientarsi in un panorama così articolato, van der Aalst (2016) propone alcuni assi di classificazione più stabili dei singoli prodotti:

- **Tipo di caso d'uso.** Distingue tra analisi ad hoc e iterative (Tipo 1), analisi ricorrenti ma ancora parzialmente guidate dall'utente (Tipo 2) e analisi di routine, altamente standardizzate e basate su viste predefinite (Tipo 3).
- **Strumento dedicato o incorporato.** Le funzionalità di Process Mining possono essere offerte da software autonomi oppure integrate in piattaforme più ampie, come nel caso di RapidProM in RapidMiner
- **Apertura del codice.** ProM è open source ed estensibile, mentre gli strumenti commerciali sono generalmente proprietari e accompagnati da supporto dedicato.
- **Classe di modello prodotto.** Gli strumenti possono generare modelli informali oppure modelli formali, come reti di Petri, BPMN o process tree, che consentono di verificare in modo preciso la conformità delle sequenze osservate.
- **Acquisizione dei dati.** I dati possono provenire da file, database, adapter verso applicazioni specifiche come SAP o Salesforce oppure da flussi di eventi acquisiti in tempo reale.
- **Modalità di deployment.** Le soluzioni possono essere installate localmente, su server aziendali o in cloud, con implicazioni non solo tecniche ma anche legate a privacy, sicurezza e gestione dei dati.

L'asse dei casi d'uso è quello che meglio chiarisce il posizionamento dei diversi strumenti. ProM e soluzioni come Disco, Minit e myInvenio si collocano soprattutto nel Tipo 1, orientato ad analisi esplorative e ad hoc; RapidProM, CoBeFra e PMLAB coprono il Tipo 2, basato su flussi di analisi ripetibili ma ancora parzialmente guidati dall'utente;

Celonis e Process Performance Manager si avvicinano invece al Tipo 3, con estrazione automatizzata e viste preconfigurate. La differenza riguarda anche il tipo di investimento richiesto: il Tipo 1 è più flessibile e richiede una configurazione iniziale contenuta, mentre il Tipo 3 richiede un maggiore lavoro iniziale ma rende poi l'analisi più semplice e facilmente replicabile su larga scala.

Il trade-off complessivo è chiaro: gli strumenti commerciali non coprono l'ampiezza delle tecniche disponibili in ProM, ma offrono in genere maggiore usabilità e scalabilità. Van der Aalst (2016) evidenzia però tre limiti ricorrenti rispetto alla piattaforma accademica: la difficoltà nel rappresentare correttamente la concorrenza, il supporto più limitato al conformance checking e una maggiore focalizzazione sull'analisi delle performance rispetto alla precisione dei modelli. Il primo aspetto richiama quanto discusso nel paragrafo 2.3.1: quando il parallelismo non viene rappresentato correttamente, il modello può introdurre comportamenti non osservati e risultare eccessivamente permissivo. Il bias rappresentazionale, quindi, non dipende solo dall'algoritmo, ma anche dallo strumento attraverso cui l'analisi viene condotta.

In questo spazio si collocano le librerie di scripting, che rappresentano una terza via tra framework accademici e piattaforme commerciali. Berti et al. (2019) osservano che molti strumenti esistenti sono pensati soprattutto per l'uso tramite interfaccia grafica, soluzione poco adatta a sperimentazioni su larga scala e all'implementazione di algoritmi personalizzati. PM4Py nasce per colmare questa lacuna: una libreria Python integrabile con l'ecosistema della data science, che consente di trattare il Process Mining come codice riproducibile anziché come una sequenza di operazioni svolte tramite interfaccia.

Van der Aalst (2016) sottolinea che non è utile valutare gli strumenti attraverso schede prodotto o checklist rigide, perché funzionalità, usabilità e scalabilità evolvono rapidamente. Suggerisce invece di testarli su domande e dataset propri, anche attraverso progetti pilota comparativi. Ne deriva che la scelta non dovrebbe cercare il "miglior" strumento in assoluto, ma quello più coerente con il tipo di analisi, gli utenti e il contesto organizzativo.

2.5.2 Criteri di scelta in ottica gestionale

Se gli strumenti di Process Mining si differenziano lungo più dimensioni, la scelta non può ridursi all'individuazione del prodotto "migliore" in assoluto. Drakoulogkonas e Apostolou (2021) affrontano il problema proponendo una griglia di 22 criteri, organizzati

in quattro categorie: caratteristiche generali, tipologie di analisi supportate, attività operative e capacità di gestire specifici problemi di discovery. I criteri includono, tra gli altri, licenza, formati di importazione, notazioni di output e gestione di rumore, concorrenza, attività omonime e cicli. Gli autori applicano poi la griglia al confronto tra Apromore, Celonis, Disco, myInvenio e ProM e propongono tre possibili metodi di selezione: un'ontologia interrogabile, un albero decisionale e l'Analytic Hierarchy Process.

Il contributo del lavoro può essere letto su due piani. Da un lato, la griglia dei criteri offre una base strutturata e riutilizzabile per confrontare gli strumenti; dall'altro, i metodi di selezione proposti richiedono che molte informazioni siano già definite a monte. L'ontologia e l'albero decisionale presuppongono infatti che i valori dei criteri siano già noti, mentre l'AHP richiede di assegnare preventivamente un peso alle diverse dimensioni. Questi metodi risultano quindi particolarmente utili per rendere esplicite e coerenti le priorità dell'organizzazione, più che per individuarle da zero.

A partire da questa considerazione, i criteri di scelta possono essere ricostruiti alla luce di quanto emerso nei capitoli precedenti, anziché essere utilizzati come una semplice checklist. Le sei dimensioni proposte di seguito costituiscono pertanto un'elaborazione propria. Ciascuna trova riscontro nelle fonti esaminate, ma la loro selezione e il loro ordinamento rispondono all'impianto argomentativo di questo lavoro: quattro riprendono categorie già presenti in van der Aalst (2016) o in Drakoulogkonas e Apostolou (2021), riorganizzate in chiave decisionale, mentre lo sforzo di preparazione dei dati e il profilo di utenza sono qui elevati a criterio pur essendo trattati dalle fonti con altra funzione.:

1. Accesso ai dati di evento.

La prima dimensione riguarda il modo in cui lo strumento acquisisce i dati necessari all'analisi. Van der Aalst (2016) distingue quattro modalità principali: file, database, adapter applicativi e flussi di eventi. Molti strumenti commerciali supportano ormai import da database e aggiornamenti incrementali, ma la copertura dei sistemi e la qualità degli adapter possono variare sensibilmente. Questo aspetto incide direttamente sulla sostenibilità dell'analisi nel tempo: un accesso automatizzato riduce l'effort necessario per ripetere le analisi, mentre estrazioni ad hoc richiedono ogni volta nuovo lavoro di preparazione, incidendo sulla capacità di rendere il Process Mining una pratica continuativa, come discusso nel paragrafo 2.4.3.

2. Sforzo di preparazione dei dati.

La seconda dimensione riguarda l'effort necessario per reperire, estrarre e trasformare i dati di evento. Van der Aalst e Carmona (2022) osservano che queste attività possono assorbire fino all'80% del tempo di un'iniziativa di Process Mining. Accorsi e Lebherz (2022) riconducono questa complessità soprattutto alla frammentazione dei dati tra sistemi eterogenei e alla necessità di competenze di data engineering spesso non disponibili internamente, sottolineando inoltre che i connettori standard rappresentano un supporto ma non sostituiscono sempre gli sviluppi su misura. Reinkemeyer (2022) evidenzia invece come la diffusione di connettori standard abbia progressivamente ridotto l'effort di integrazione, soprattutto in contesti con dati strutturati e sistemi omogenei. La valutazione dello strumento dovrebbe quindi considerare il perimetro applicativo effettivo dell'organizzazione, distinguendo ciò che può essere coperto da connettori standard da ciò che richiederà comunque customizzazione.

3. Copertura funzionale.

La terza dimensione riguarda il grado in cui lo strumento supporta le diverse domande gestionali individuate nel paragrafo 2.1.2. La discovery è generalmente ben coperta e, negli strumenti commerciali, l'analisi delle performance rappresenta spesso il focus principale, con funzionalità orientate all'individuazione di colli di bottiglia, rilavorazioni e ritardi. Più limitato è invece il supporto al conformance checking. Van der Aalst (2016) osserva inoltre che gli strumenti commerciali non sono in grado di scoprire modelli data-aware o di svolgere decision mining, mentre la prospettiva organizzativa tende a essere trattata in modo più elementare. Anche sul piano operativo il supporto non è uniforme: caricamenti periodici o incrementali sono comuni, mentre le capacità realmente predittive restano più rare. La valutazione dovrebbe quindi partire dalle domande che l'organizzazione intende effettivamente porre, evitando di fermarsi alla presenza generica di una determinata funzionalità.

4. Natura del modello prodotto.

La quarta dimensione riguarda il tipo di modello generato dallo strumento, un aspetto spesso meno visibile rispetto a usabilità o performance. Van der Aalst (2016) osserva che molti strumenti commerciali gestiscono in modo limitato la concorrenza, anche perché privilegiano algoritmi semplici e modelli con semantica informale. Questo può creare problemi quando il modello viene esportato in notazioni come BPMN: l'assenza di split e join espliciti può portare a rappresentazioni non sound o difficili da interpretare correttamente. La questione non riguarda solo la qualità grafica del modello, ma anche l'affidabilità delle misure di performance: se parallelismo e sincronizzazione non sono rappresentati correttamente, anche tempi di attesa e frequenze possono risultare distorti. La valutazione dovrebbe quindi considerare non solo quale notazione lo strumento produce, ma anche il livello di formalità e precisione con cui rappresenta il comportamento del processo. Questa distinzione ha conseguenze che vanno oltre la qualità del modello. Il bias rappresentazionale discusso nel paragrafo 2.3.1 può infatti influenzare anche le misure di performance: se lo strumento non distingue correttamente parallelismo e sequenza, tempi di attesa e attraversamento possono risultare distorti senza che l'errore sia evidente all'utente. Lo stesso limite si riflette sul conformance checking, poiché modelli informali non consentono una verifica rigorosa della conformità e possono portare a interpretazioni errate delle deviazioni. Ne deriva un criterio operativo preciso: verificare se lo strumento produca modelli formali o informali e se rappresenti esplicitamente la concorrenza. In questa prospettiva, anche i criteri di Drakoulogkonas e Apostolou (2021) relativi a rumore, processi concorrenti, attività omonime e cicli assumono un valore direttamente gestionale.

5. Profilo di utenza e ripetibilità dell'analisi.

La quinta dimensione traduce operativamente i tre tipi di caso d'uso introdotti nel paragrafo 2.5.1. La questione non è soltanto quanto uno strumento sia facile da usare, ma quale equilibrio l'organizzazione voglia stabilire tra investimento iniziale e costo delle analisi successive. Van der Aalst e Carmona (2022) osservano che l'applicazione del Process Mining e la comprensione dei risultati sono oggi più accessibili rispetto a un decennio fa. Reinkemeyer (2022) descrive una tendenza simile, con il passaggio da cruscotti statici a viste più dinamiche e utilizzabili in

autonomia, all'interno di un più ampio processo di democratizzazione dell'accesso ai dati. Come discusso nel paragrafo 2.4.3, tuttavia, una maggiore accessibilità non implica automaticamente una maggiore capacità di interpretazione: ampliare il numero di utenti senza sviluppare competenze adeguate può aumentare il rischio di letture errate dei risultati.

6. **Costo complessivo e modalità di deployment.**

La sesta dimensione riguarda il costo di adozione nel suo insieme, non soltanto la licenza. Drakoulogkonas e Apostolou distinguono tra strumenti open source, che richiedono installazione e competenze interne, e soluzioni commerciali, generalmente più immediate da utilizzare ma soggette a licenza. Van der Aalst (2016) considera inoltre tre modalità di deployment (locale, su server interno o in cloud) sottolineando come la scelta abbia implicazioni anche per privacy, sicurezza ed etica. Reinkemeyer (2022) osserva che l'uso del cloud è nel frattempo diventato sempre più comune, senza però eliminare questi vincoli. Al costo della licenza e dell'infrastruttura va infine aggiunto quello della preparazione dei dati che, come visto, può assorbire fino all'80% del tempo complessivo: il costo reale di adozione dipende quindi in larga misura dalle competenze e dall'effort di data engineering richiesti.

Commentato [AC1]: Si potrebbe fare una tabella con queste info

Resta infine un'avvertenza metodologica. Van der Aalst (2016) sottolinea che non è utile affidarsi a checklist rigide, perché mercato, funzionalità, usabilità e scalabilità degli strumenti evolvono rapidamente. Suggerisce invece di confrontare più prodotti attraverso un progetto pilota, applicandoli a dati e domande specifiche dell'organizzazione e verificandone la scalabilità sul proprio contesto. I sei criteri discussi vanno quindi intesi non come una scala che restituisce una graduatoria, ma come le dimensioni che il pilota dovrebbe mettere alla prova. In questa prospettiva, la scelta dello strumento non precede completamente il progetto di Process Mining, ma emerge anche dall'esperienza maturata durante la sperimentazione.

2.5.3 Le scelte del caso applicativo e collegamento al Capitolo 3

I sei criteri discussi finora presuppongono un'organizzazione che debba scegliere uno strumento per un utilizzo continuativo. Il caso applicativo del capitolo successivo ha

invece finalità dimostrative e utilizza dati sintetici. I criteri restano quindi validi, ma cambia il loro peso relativo.

Tre criteri diventano invece poco rilevanti nel caso applicativo. La disponibilità di connettori verso i sistemi sorgente non è pertinente, perché non vengono utilizzati sistemi reali; allo stesso modo, lo sforzo di preparazione dei dati è ridotto per costruzione, poiché i dati sono già generati in forma di event log, mentre la scalabilità su grandi volumi non viene messa alla prova. Questo rappresenta anche il principale limite del caso: può mostrare cosa il Process Mining renda visibile, ma non il costo reale necessario per arrivare a quei risultati.

Gli altri tre criteri diventano invece centrali. La copertura funzionale deve includere anche il conformance checking, perché il capitolo intende mostrare tutte e quattro le domande gestionali introdotte nel paragrafo 2.1.2. La natura del modello deve inoltre essere formale, così da evitare i limiti rappresentazionali discussi in 2.5.2 e garantire una lettura affidabile anche delle misure di performance. Infine, la riproducibilità dell'analisi assume un peso particolare nel contesto accademico, perché il lettore deve poter ricostruire e verificare il percorso con cui i risultati sono stati ottenuti.

PM4Py risponde bene a questo profilo. Berti et al. (2019) evidenziano come molti strumenti di Process Mining siano pensati soprattutto per l'uso tramite interfaccia grafica e offrano possibilità limitate di personalizzazione algoritmica. PM4Py nasce per colmare questa lacuna, integrandosi direttamente nell'ecosistema Python della data science e separando in modo chiaro dati, algoritmi e visualizzazioni. Nella versione descritta da Berti et al. (2023), la libreria supporta diversi algoritmi di discovery, tecniche di conformance checking, metriche di qualità del modello, decision mining, analisi delle risorse e verifica della soundness, oltre ai principali formati per log e modelli di processo. Rispetto alla natura del modello, PM4Py risponde direttamente al criterio individuato. La libreria produce reti di Petri e process tree, cioè modelli formali con semantica eseguibile, e consente di verificarne la soundness prima di utilizzarli nell'analisi. In questo modo vengono superati due limiti evidenziati da van der Aalst (2016) negli strumenti commerciali: la rappresentazione poco accurata della concorrenza e il supporto più limitato al conformance checking. PM4Py offre inoltre visualizzazioni native dei principali modelli di processo, permettendo di mantenere l'intera pipeline di analisi all'interno dello stesso ambiente.

La scelta di PM4Py comporta però un limite evidente. Trattandosi di una libreria di programmazione, richiede competenze tecniche maggiori rispetto alle piattaforme commerciali e si colloca nel Tipo 1 descritto in 2.5.1: analisi ad hoc condotte da utenti esperti, non cruscotti destinati a un utilizzo diffuso. Il caso applicativo non permetterà quindi di valutare le condizioni di adozione discusse in 2.4, come ruoli, sponsorship e capacità organizzativa. Potrà invece mostrare come le quattro domande gestionali si traducano in un'analisi concreta, quali evidenze emergano e come debbano essere interpretate.

Questa delimitazione è coerente con la prospettiva proposta da van der Aalst e Carmona (2022), che paragonano discovery e conformance checking a una radiografia: strumenti utili a individuare problemi e cause, ma il cui valore resta limitato se non segue un intervento. Gli autori indicano infatti tra le sfide future la necessità di andare oltre la diagnosi, sviluppando tecniche capaci di suggerire modifiche e favorire il passaggio dall'analisi all'azione. Il caso applicativo del capitolo successivo si colloca deliberatamente nella fase diagnostica; il capitolo conclusivo discuterà invece le condizioni necessarie affinché gli insight prodotti possano tradursi in decisioni e interventi.

CAPITOLO 3: DATI E METODI

Dopo aver definito nel Capitolo 2 i principali presupposti, strumenti e criteri interpretativi del Process Mining, questo capitolo ne traduce l'impostazione teorica in un caso applicativo. L'obiettivo è costruire un contesto controllato in cui osservare concretamente le decisioni che precedono e accompagnano un'analisi di processo, dalla formulazione delle domande gestionali alla costruzione dell'event log, fino alla scelta degli algoritmi e alla verifica dell'affidabilità dei dati.

Il capitolo si sviluppa quindi lungo la sequenza metodologica del caso. Anzitutto vengono chiarite le finalità dell'applicazione e descritto il processo simulato di assistenza tecnica post-vendita, dal quale sono ricavate quattro domande gestionali. Si ricostruiscono poi le principali decisioni che determinano la struttura dell'event log e i comportamenti introdotti nel processo simulato, distinguendo violazioni, variabilità legittima, rilavorazioni e configurazione dei tempi di attesa. Successivamente vengono motivate le tecniche e gli algoritmi impiegati per discovery e conformance checking, insieme ai criteri utilizzati per valutarne i risultati. Infine, vengono documentati l'ambiente tecnico, le principali scelte implementative e i controlli effettuati sul log, per concludere con una sintesi delle decisioni assunte e dei limiti del disegno applicativo.

Il capitolo non presenta ancora i risultati delle analisi, che verranno approfonditi nel Capitolo 4, ma definisce le condizioni metodologiche entro cui tali risultati devono essere letti e interpretati.

3.1 Finalità e impostazione del caso applicativo

Il caso applicativo che si approfondisce nel capitolo 3 e 4 si basa su un processo di assistenza tecnica post-vendita, simulato attraverso dati sintetici generati appositamente. Il processo descrive la gestione delle chiamate di assistenza di un costruttore di macchine per il confezionamento, dalla registrazione della chiamata alla fatturazione dell'intervento. Il contesto, le scelte costruttive e la struttura del processo sono descritti nel dettaglio nei paragrafi che seguono. Questo paragrafo chiarisce la metodologia utilizzata e cosa ci si propone di verificare.

I due capitoli precedenti hanno ricostruito attraverso la letteratura cosa il Process Mining renda visibile e a quali condizioni. Il primo ha stabilito che ogni intervento di miglioramento presuppone visibilità e misurabilità del processo, che i metodi tradizionali di conoscenza faticano a garantirle. Il secondo ha mostrato come la disciplina risponda a questa esigenza, quali domande gestionali consenta di affrontare e quali condizioni tecniche e organizzative ne determinino l'efficacia. In entrambi i casi l'argomentazione si è svolta sul piano della letteratura, senza verifica su un processo concreto.

Il caso applicativo compie questo passaggio. La sua finalità non è dimostrare che gli strumenti funzionano, aspetto già ampiamente documentato in letteratura. L'obiettivo è verificare se le condizioni discusse in astratto si presentino effettivamente quando un'analisi viene condotta dall'inizio alla fine, e in quale forma. Sostenere in astratto che la definizione del caso sia una scelta gestionale è diverso dal trovarsi a compierla concretamente, dichiararne le alternative e osservarne gli effetti sui risultati.

Questa impostazione condiziona anche il modo in cui il caso è stato costruito. Le quattro domande gestionali che orientano l'analisi sono state formulate prima di individuare le tecniche da utilizzare, in accordo con la distinzione che van Eck et al. (2015) pongono tra obiettivi di business e obiettivi di analisi. Esse nascono dal contesto di business del servizio di assistenza e troverebbero la stessa formulazione anche in assenza di Process Mining. La loro corrispondenza con le quattro tipologie di analisi presentate nel paragrafo 2.1 si è verificata solo in un secondo momento, quando si è trattato di individuare gli strumenti con cui rispondervi.

È opportuno anticipare un aspetto che orienta la lettura di quanto segue. Le quattro domande non ammettono una risposta unica determinata dai dati, poiché ciascuna produce esiti diversi in funzione di decisioni assunte a monte dell'analisi: quali

comportamenti considerare rappresentativi, rispetto a quale modello verificare la conformità, entro quale perimetro misurare il tempo, su quale popolazione calcolare un indicatore. Nessuna di queste decisioni è di natura tecnica e tutte hanno conseguenze misurabili. Il Process Mining non le elimina, ma le rende esplicite.

Restano da precisare le condizioni entro cui i risultati vanno letti. Come già dichiarato nel paragrafo 2.5, il caso ha finalità dimostrative e utilizza dati sintetici costruiti appositamente. Questa scelta consente di controllare la struttura del processo e di verificare se le analisi individuino ciò che è stato costruito, ma preclude l'osservazione di alcune condizioni che nella pratica risultano determinanti, a partire dal costo di estrazione e preparazione dei dati.

3.2 Il contesto simulato e le domande gestionali

Il caso applicativo si riferisce a un costruttore di macchine per il confezionamento di circa 200 dipendenti, con un parco installato di circa 800 macchinari presso clienti in Italia e nell'Europa occidentale. L'azienda è fittizia, così come i dati impiegati nell'analisi, ma le caratteristiche del contesto sono state definite in modo da rendere plausibili le assunzioni sui tempi e sulla struttura del servizio.

L'analisi di Process Mining si concentra sulla divisione assistenza, che gestisce tre tipologie di intervento: interventi in garanzia, interventi coperti da contratto di manutenzione e chiamate fuori contratto fatturate a consuntivo.

Il servizio si articola su tre livelli di intervento, secondo un'organizzazione diffusa nel settore dell'assistenza tecnica. Il call center riceve le chiamate dei clienti, registra la segnalazione e assegna un livello di priorità in funzione della criticità del guasto. Il secondo livello, composto da tecnici specializzati sul prodotto, analizza il guasto a distanza attraverso i dati di funzionamento della macchina e il colloquio con il cliente, ipotizza la causa e valuta se il problema sia risolvibile senza uscita. Quando l'intervento in loco risulta necessario, la chiamata passa ai tecnici field, una squadra di 18 persone distribuita su tre aree geografiche.

Per le chiamate fuori contratto, il secondo livello emette un preventivo prima di procedere: i preventivi al di sotto di 3.000 euro possono essere approvati dallo stesso tecnico che li ha emessi, mentre quelli sopra soglia richiedono l'autorizzazione esplicita del responsabile service. Questa separazione di ruoli risponde al principio dei quattro occhi già discusso nel paragrafo 2.3.2, e costituisce uno dei vincoli che il conformance checking verificherà. La chiusura amministrativa della chiamata, con la relativa fatturazione al cliente, è invece gestita dall'amministrazione e segue la chiusura tecnica da parte del tecnico field.

Un processo di servizio come l'assistenza tecnica presenta una caratteristica che lo distingue dai processi puramente interni: il cliente è parte attiva del flusso, e il tempo che intercorre tra la chiamata e la risoluzione non è soltanto un indicatore di efficienza operativa ma una componente diretta dell'esperienza che il cliente riceve. Nel caso specifico questa relazione è particolarmente stringente, poiché una macchina ferma genera un costo di mancata produzione che cresce con la durata dell'intervento. Come discusso nel Capitolo 1, le dimensioni di tempo, affidabilità e variabilità non possono

quindi essere lette come grandezze puramente interne: incidono sulla performance del cliente prima ancora che su quella del fornitore del servizio.

Le domande che il caso proposto affronta nascono dai problemi che una divisione assistenza che presenta le caratteristiche precedentemente evidenziate si trova ordinariamente a gestire. Sono formulate in quattro punti, ciascuno articolato in tre livelli: la domanda nella sua forma generale, la sua declinazione nel contesto specifico del caso, e la ragione per cui la direzione dell'azienda simulata avrebbe interesse a porsela.

1. Conformità tra il processo reale e quello atteso: **Come si svolge effettivamente il processo di assistenza?** Nel caso dell'assistenza tecnica si tratta di verificare quanto l'articolazione effettiva delle chiamate corrisponda alla procedura che la direzione descriverebbe, e quanti percorsi alternativi il processo generi nella pratica. La domanda è rilevante perché ogni intervento di miglioramento agisce sulla rappresentazione che l'organizzazione ha del proprio processo. Se quella rappresentazione è incompleta, come il Capitolo 1 ha discusso a proposito dei limiti dei metodi tradizionali di conoscenza, l'intervento rischia di indirizzarsi su un processo che non esiste.
2. Conformità rispetto alle regole operative: **Le attività di assistenza vengono eseguite nel modo e nell'ordine previsti, e dai soggetti autorizzati a farlo?** Nel caso specifico i vincoli da verificare sono tre: la verifica della copertura contrattuale deve precedere l'intervento, la diagnosi remota è obbligatoria prima della pianificazione, e i preventivi sopra soglia richiedono l'autorizzazione del responsabile service e non di chi li ha emessi. La domanda è rilevante perché ciascuno di questi vincoli protegge da un rischio diverso, e le violazioni non hanno tutte lo stesso peso. Stabilire su quali intervenire richiede un criterio di priorità che la sola frequenza degli scostamenti non fornisce.
3. Distribuzione del tempo lungo il processo: **Dove si concentra il tempo tra apertura e chiusura della chiamata, e quali transizioni generano i principali colli di bottiglia?** Nel caso specifico la domanda richiede di distinguere il tempo di lavorazione effettivo dai tempi di attesa, e di individuare quali transizioni assorbano la quota maggiore del lead time complessivo. È rilevante perché le due componenti rispondono a leve di intervento diverse: il tempo di lavorazione dipende dall'organizzazione del lavoro tecnico, mentre le attese dipendono da

disponibilità di risorse, approvvigionamento e coordinamento tra funzioni. Intervenire senza distinguerle porta ad agire sulla componente sbagliata.

4. Fattori associati alle rilavorazioni: **Cosa distingue le chiamate risolte al primo intervento da quelle che richiedono un ritorno del tecnico?** Nel caso specifico si tratta di misurare il tasso di risoluzione al primo intervento e di individuare quali caratteristiche siano associate ai casi che richiedono una seconda uscita. La domanda è rilevante perché il ritorno del tecnico rappresenta una rilavorazione con impatto economico diretto, sia in termini di costo dell'uscita sia in termini di prolungamento del fermo macchina. Rilevarne la frequenza senza risalire ai fattori associati non produce indicazioni utilizzabili, poiché non indica dove intervenire.

Le quattro domande sono state formulate a partire dai problemi gestionali del caso e non dalle tecniche disponibili. Osservandone la struttura, emerge una corrispondenza con le quattro domande gestionali discusse nel paragrafo 2.1.2, sintetizzata nella Tabella 3.1. Tale corrispondenza mostra come le esigenze che emergono nella gestione del processo possano essere ricondotte alle principali prospettive di analisi offerte dal Process Mining.

Domande gestionali Cap. 2	Declinazione nel processo di assistenza
Il modo in cui il processo viene realmente eseguito	Come si svolge effettivamente il processo di assistenza?
Conformità dell'esecuzione rispetto alle regole prescritte dall'organizzazione	Le attività di assistenza vengono eseguite nel modo e nell'ordine previsti, e dai soggetti autorizzati a farlo?
Punti in cui il processo perde valore	Dove si concentra il tempo tra apertura e chiusura della chiamata, e quali transizioni generano i principali colli di bottiglia?
Razionali degli scostamenti	Cosa distingue le chiamate risolte al primo intervento da quelle che richiedono un ritorno del tecnico?

Tabella 3.1: Corrispondenza tra le domande gestionali del Capitolo 2 e la loro declinazione nel caso applicativo. Elaborazione propria.

3.3 La costruzione dell'event log

Come discusso nel paragrafo 2.2, l'event log non è un dato già disponibile in azienda, ma il risultato di una serie di scelte progettuali: quale entità assumere come caso, entro quali confini osservare il processo, a quale livello di dettaglio rappresentare le attività e quali attributi conservare. Nel caso applicativo queste decisioni sono state definite esplicitamente e hanno influenzato direttamente le analisi successive. Il paragrafo 3.3 le ricostruisce nell'ordine in cui sono state affrontate.

Nel caso applicativo, l'event log è stato generato e non estratto da sistemi sorgente. Questo elimina le attività di reperimento e trasformazione dei dati, che nella pratica rappresentano una parte rilevante dell'effort, come discusso precedentemente. Restano tuttavia invariate le principali scelte di progettazione, poiché anche la generazione del log richiede di stabilire con precisione che cosa debba rappresentare.

1. La definizione del caso

La prima decisione riguarda l'entità rispetto alla quale raggruppare gli eventi. Nel contesto dell'assistenza tecnica erano possibili tre alternative: la singola chiamata di assistenza, la macchina installata presso il cliente oppure il contratto di servizio. Le tre opzioni non rappresentano semplicemente diversi livelli di dettaglio, ma corrispondono a prospettive di processo differenti. Assumendo la chiamata come caso, l'analisi riguarda la gestione della singola richiesta, dalla segnalazione del guasto alla sua risoluzione. Assumendo invece la macchina, l'attenzione si sposta sul ciclo di vita dell'apparecchiatura e su aspetti quali affidabilità e ricorrenza dei guasti. Considerando infine il contratto, l'analisi riguarda la relazione di servizio con il cliente e può essere orientata, ad esempio, alla redditività della copertura erogata.

La scelta è ricaduta sulla chiamata di assistenza, coerentemente con le quattro domande gestionali formulate nel paragrafo precedente, tutte riferite alla gestione della singola richiesta. Le altre due alternative avrebbero risposto a domande differenti e richiesto una diversa definizione del caso. Il passaggio conferma quanto discusso nel paragrafo 2.2.1: la case notion deve essere definita a partire dalla domanda gestionale che si intende affrontare.

2. Il perimetro

Definita la nozione di caso, è stato necessario stabilire dove il processo dovesse iniziare e terminare ai fini dell'analisi. Il perimetro adottato va dalla registrazione della chiamata alla fatturazione al cliente e comprende quindi anche la fase di chiusura amministrativa.

Un'alternativa sarebbe stata interrompere l'osservazione alla chiusura tecnica, cioè nel momento in cui il guasto viene dichiarato risolto. Le due delimitazioni rispondono tuttavia a esigenze differenti: il perimetro esteso consente di osservare il ciclo completo della richiesta fino alla chiusura amministrativa, mentre quello ristretto concentra l'attenzione sul tempo necessario alla risoluzione tecnica del problema e, quindi, sul disservizio subito dal cliente.

Si è scelto di adottare il perimetro esteso, mantenendo comunque la possibilità di calcolare separatamente entrambe le misure. Come mostrato nel paragrafo 4.3, questa scelta incide direttamente sui risultati: le transizioni che assorbono più tempo variano a seconda del perimetro considerato e, di conseguenza, possono cambiare anche le priorità di intervento.

3. La granularità

La terza decisione riguarda il livello di dettaglio con cui rappresentare le attività. Lo stesso processo può infatti essere descritto attraverso poche attività aggregate oppure mediante un numero elevato di operazioni elementari, con effetti sia sulla leggibilità del modello sia sul tipo di analisi che può essere condotta. Nel caso applicativo si è scelto di rappresentare come attività distinte i passaggi caratterizzati da un cambio di responsabilità o dalla presenza di una decisione, aggregando invece le operazioni interne allo stesso passaggio. La diagnosi remota, ad esempio, comprende nella pratica diverse verifiche, ma queste non sono state separate perché rimangono sotto la responsabilità del secondo livello tecnico e non introducono decisioni intermedie rilevanti ai fini dell'analisi. Il modello risultante comprende 11 attività, riportate nella Tabella 3.2.

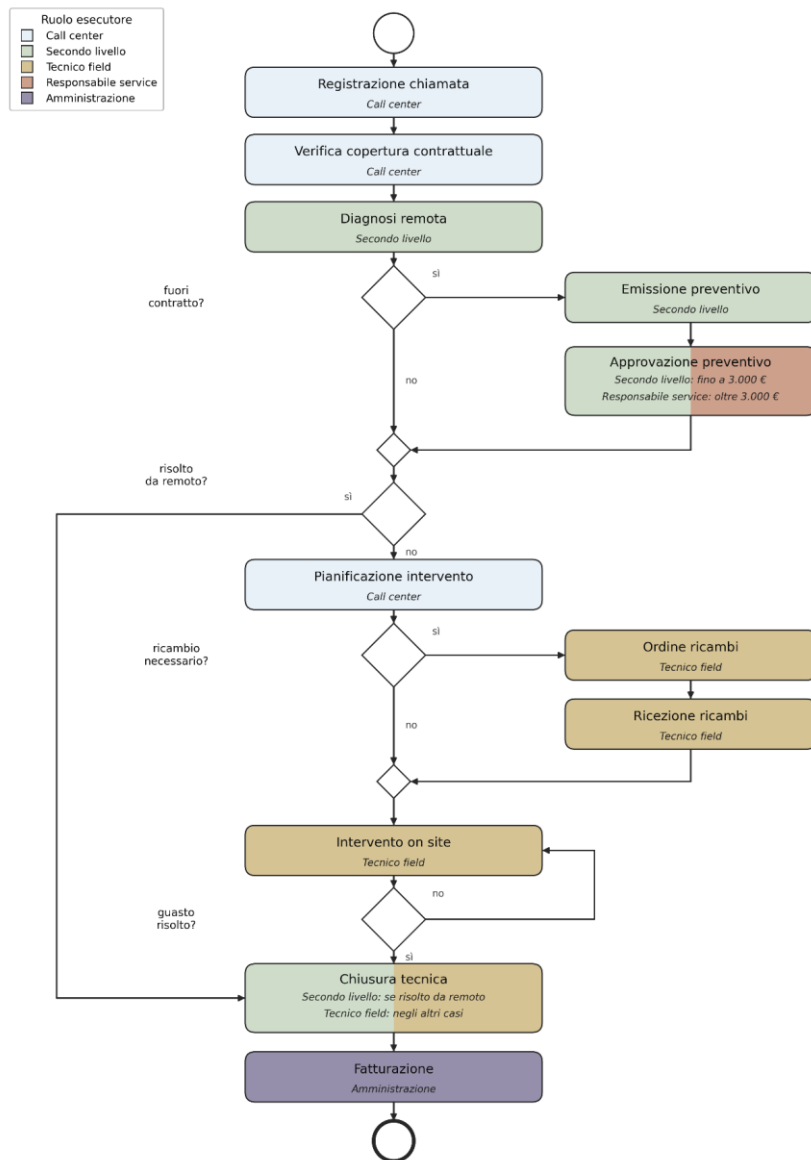


Figura 3.1. Il processo di assistenza tecnica come progettato, con le diramazioni legittime. Elaborazione propria.

La granularità adottata rappresenta quindi un livello intermedio. Una rappresentazione più dettagliata avrebbe aumentato la complessità del modello senza necessariamente aggiungere leve gestionali utili, mentre una rappresentazione più aggregata avrebbe reso indistinguibili passaggi affidati a soggetti diversi, limitando l'analisi organizzativa e la verifica del principio dei quattro occhi

Attività	Contenuto
Registrazione chiamata	Il call center riceve la segnalazione del cliente, registra i dati della macchina e del guasto e assegna un livello di priorità
Verifica copertura contrattuale	Si accerta se l'intervento ricada in garanzia, sia coperto da contratto di manutenzione o vada fatturato a consuntivo
Diagnosi remota	Il secondo livello analizza il guasto a distanza, ipotizza la causa e valuta se sia risolvibile senza intervento in loco
Emissione preventivo	Per le chiamate fuori contratto, il secondo livello quantifica il costo stimato dell'intervento e lo sottopone al cliente
Approvazione preventivo	Il preventivo viene autorizzato internamente prima di procedere; oltre 3.000 euro l'autorizzazione compete al responsabile service
Pianificazione intervento	Il call center assegna la chiamata a un tecnico dell'area competente e concorda la data con il cliente
Ordine ricambi	Il tecnico richiede i componenti necessari, prelevandoli dal magazzino o ordinandoli al fornitore
Ricezione ricambi	I componenti arrivano e vengono resi disponibili per l'intervento
Intervento on site	Il tecnico si reca presso il cliente ed esegue la riparazione
Chiusura tecnica	Si dichiara risolto il guasto e si compila il rapporto di intervento
Fatturazione	L'amministrazione emette la fattura, se dovuta in base al tipo di copertura

Tabella 3.2: *Contenuto delle attività del processo di assistenza tecnica. Elaborazione propria.*

4. La registrazione del tempo

La quarta scelta progettuale riguarda la registrazione dei timestamp. Un event log può associare a ciascuna attività un singolo istante, generalmente quello di completamento, oppure una coppia di timestamp che ne identifica l'inizio e la fine. Nel primo caso non è possibile ricostruire direttamente la durata delle attività e il tempo compreso tra due eventi consecutivi rimane indistinto. La registrazione dell'inizio e della fine consente invece di separare il tempo di esecuzione dal tempo di attesa che lo precede. Questa distinzione è particolarmente rilevante per la terza domanda gestionale, poiché le due componenti riflettono cause differenti e possono richiedere leve di intervento diverse.

Si è quindi scelta la registrazione a intervallo. Il log risultante contiene circa 19.000 timestamp relativi a 9.465 istanze di attività, una dimensione che non introduce criticità computazionali rilevanti. Senza questa scelta, l'analisi temporale sarebbe stata limitata principalmente alla durata complessiva dei casi, senza consentire di distinguere in modo sistematico tra tempo di esecuzione e tempo di attesa.

5. Gli attributi

Oltre agli attributi necessari per identificare caso, attività e tempo, il log conserva la risorsa che esegue ciascuna attività e il relativo ruolo, informazioni necessarie per l'analisi organizzativa e per la verifica dei vincoli di autorizzazione. A livello di caso sono inoltre registrati la priorità della chiamata, il tipo di copertura contrattuale, l'area geografica, la famiglia di macchina, la necessità di ricambi, l'importo del preventivo, quando presente, e la classe di esperienza del tecnico intervenuto. La selezione degli attributi è stata guidata dalle esigenze analitiche. L'importo del preventivo è necessario per verificare il principio dei quattro occhi, applicato oltre una determinata soglia; l'area geografica e la famiglia di macchina consentono confronti tra gruppi nell'analisi delle performance; la classe di esperienza permette invece di analizzare l'eventuale relazione tra rilavorazioni e livello di competenza del tecnico. Come discusso nel paragrafo 2.2.2, gli attributi

non vengono quindi conservati semplicemente perché disponibili, ma perché necessari a rispondere a specifiche domande di analisi.

Il log finale copre 1.200 chiamate distribuite su 12 mesi, per 9.465 istanze di attività, con una media di 7,9 attività per caso.

3.4 La logica delle anomalie iniettate e il problema della circolarità

Un event log generato artificialmente riproduce necessariamente le caratteristiche definite in fase di costruzione. Se il processo simulato contenesse soltanto i comportamenti previsti dalla procedura e non presentasse scostamenti, rilavorazioni o differenze significative nelle performance, le analisi del capitolo successivo sarebbero caratterizzate da un contenuto diagnostico limitato. È stato quindi necessario introdurre nel log comportamenti e condizioni capaci di rendere significative le quattro domande gestionali formulate nel paragrafo 3.2.

I comportamenti introdotti nel log sono cinque. I primi tre riguardano il rispetto delle regole operative e sono quindi rilevanti per la seconda domanda gestionale. Il quarto consiste in una deviazione dall'ordine previsto delle attività che, pur essendo rilevata dal conformance checking, non comporta conseguenze gestionali rilevanti. Il quinto riguarda invece le rilavorazioni e costituisce l'oggetto della quarta domanda. A questi comportamenti si aggiunge una configurazione differenziata dei tempi di attesa, che alimenta la terza domanda pur non rappresentando una deviazione dalla procedura, ma una caratteristica del processo simulato.

La prima domanda, relativa all'articolazione effettiva del processo, non richiede invece comportamenti specificamente costruiti, poiché la variabilità dei percorsi emerge dalla combinazione delle diramazioni legittime e dei comportamenti introdotti.

1. Anomalie sui vincoli operativi

- a. **Omissione della verifica di copertura contrattuale:** nei casi interessati, il processo passa nella maggior parte delle occorrenze direttamente dalla registrazione alla diagnosi, senza verificare preventivamente se l'intervento debba essere fatturato. L'omissione è più frequente nelle chiamate ad alta priorità, coerentemente con una situazione di pressione operativa in cui il servizio viene attivato immediatamente e la verifica amministrativa viene rinviata. Il vincolo è stato introdotto per rappresentare il rischio di erogare prestazioni la cui fatturabilità non sia stata accertata.
- b. **Omissione della diagnosi remota:** nei casi interessati, il processo passa dalla verifica della copertura direttamente alla pianificazione dell'intervento e il tecnico si reca presso il cliente senza che il guasto sia stato analizzato a distanza. L'omissione è più frequente per un sottoinsieme dei tecnici di secondo livello, indipendentemente dall'area geografica di destinazione. La particolarità di questa anomalia è che la causa si colloca nel secondo livello, mentre le conseguenze si manifestano sul lavoro dei tecnici field, che intervengono con minori

informazioni sul guasto e presentano quindi una maggiore probabilità di non risolverlo alla prima uscita. Il caso riproduce così una dinamica rilevante in ottica end-to-end: un indicatore osservato su una funzione può dipendere da decisioni assunte in un'altra, rendendo insufficiente una lettura della performance limitata alla singola unità organizzativa.

- c. **Autorizzazione dei preventivi:** in una quota dei casi con importo superiore a 3.000 euro, l'approvazione viene registrata a nome della stessa risorsa che ha emesso il preventivo, in violazione del vincolo che attribuisce tale autorizzazione al responsabile service. È l'anomalia meno frequente sul totale dei casi, ma è anche l'unica che riguarda direttamente un principio di controllo interno.

2. La variabilità legittima

- a. Questa configurazione si distingue dalle precedenti perché non costituisce una violazione. In una quota dei casi, la fatturazione precede la chiusura tecnica, invertendo l'ordine previsto. Nel generatore, i tempi di attesa sono associati alla posizione nella sequenza e non alla singola attività; di conseguenza, l'inversione non modifica la durata complessiva del caso. La situazione riproduce un comportamento plausibile, in cui l'amministrazione può emettere la fattura prima che il tecnico abbia completato il rapporto di intervento, ad esempio per esigenze di chiusura contabile o di sollecito. La presenza di questa deviazione nel log consente di verificare quanto discusso nel paragrafo 2.3.2: il conformance checking rileva gli scostamenti rispetto al modello di riferimento, ma non ne determina automaticamente la rilevanza gestionale. Una deviazione frequente e priva di conseguenze significative può infatti risultare meno prioritaria di un'anomalia rara che espone l'organizzazione a un rischio maggiore. La distinzione richiede quindi una valutazione manageriale che non può essere ricavata dalla sola frequenza degli scostamenti.
3. **Rilavorazioni:** una quota degli interventi non risolve il guasto alla prima uscita e richiede un secondo intervento, che nel log si manifesta come ripetizione dell'attività di intervento on site. La probabilità di ritorno è sensibilmente più elevata nei casi in cui la diagnosi remota è stata omessa ed è inoltre influenzata dal livello di esperienza del tecnico. Il ritorno può assumere due forme, a seconda che l'esito insoddisfacente emerga prima o dopo la chiusura tecnica: nel primo caso la chiamata rimane aperta, mentre nel secondo viene riaperta. Nella maggior parte dei ritorni il tecnico deve inoltre ordinare un componente non disponibile, generando una nuova sequenza di ordine e ricezione ricambi successiva al primo intervento. Da questo meccanismo derivano i casi, discussi nel

capitolo successivo, in cui i ricambi risultano approvvigionati dopo la prima uscita anziché prima.

4. La configurazione dei tempi di attesa

- a. **approvvigionamento dei ricambi:** il tempo che intercorre tra l'ordine e la ricezione dipende dalla disponibilità del componente. Se il ricambio è disponibile a magazzino, l'attesa si conclude entro un giorno e mezzo; se deve invece essere ordinato al fornitore, si estende a 8–12 giorni lavorativi. La distribuzione risultante è quindi fortemente bimodale e rende poco rappresentativa la sola media, poiché nessun ordine presenta un tempo di attesa vicino al valore medio. Una specifica famiglia di macchine presenta inoltre una probabilità di approvvigionamento esterno sensibilmente superiore alle altre e contribuisce quindi in misura sproporzionata ai ritardi rispetto al numero di ordini generati.
- b. **Coda di pianificazione:** rappresenta il tempo che separa la programmazione dell'intervento dall'arrivo del tecnico presso il cliente. Le tre aree geografiche dispongono dello stesso numero di tecnici, ma ricevono volumi di chiamate differenti; questo squilibrio di carico genera code di durata diversa tra le aree, senza che tali differenze siano riconducibili alle prestazioni individuali dei tecnici.

Anomalia	Meccanismo	Frequenza attesa
Omissione della verifica di copertura	Probabilità di omissione differenziata per priorità della chiamata, più alta sulle chiamate urgenti	4% dei casi
Omissione della diagnosi remota	Probabilità di omissione più alta in un sottoinsieme dei tecnici di secondo livello	7% dei casi
Violazione del principio dei quattro occhi	Preventivi sopra 3.000 euro approvati da chi li ha emessi	15% dei casi eleggibili. 1,3% dei casi totali
Inversione tra fatturazione e chiusura tecnica	Probabilità di omissione più alta in un sottoinsieme dei tecnici di secondo livello	6% dei casi
Rilavorazione	Probabilità di ritorno elevata in assenza di diagnosi remota, corretta per classe di esperienza del tecnico	12% dei casi con intervento

Tabella 3.3: Le anomalie introdotte nel log e le rispettive frequenze attese. Elaborazione propria.

L'uso di dati sintetici solleva un'obiezione metodologica che deve essere affrontata. Se le anomalie sono state introdotte dall'autore e le analisi riescono successivamente a individuarle, il caso rischia di mostrare soltanto la coerenza tra il processo di generazione dei dati e quello di analisi. Tre scelte di costruzione sono state adottate per ridurre questo rischio.

La prima riguarda il modo in cui le anomalie sono state iniettate. Nessuna è stata introdotta come regola deterministica, ma attraverso probabilità condizionate. L'omissione della diagnosi remota, ad esempio, non riguarda tutti i casi gestiti dai tecnici interessati e non produce sempre un ritorno del tecnico: ne aumenta la probabilità senza renderlo certo. Analogamente, l'omissione della verifica di copertura è più frequente nelle chiamate ad alta priorità, ma non è assente nelle altre. L'analisi deve quindi individuare associazioni nei dati e valutarne la solidità, anziché limitarsi a riconoscere regole introdotte in fase di generazione.

La seconda riguarda la presenza di deviazioni prive di conseguenze gestionali. L'inversione tra fatturazione e chiusura tecnica genera scostamenti che il conformance checking rileva, ma che non costituiscono violazioni rilevanti. Questa distinzione non è contenuta nei dati e non può essere ricavata automaticamente dall'analisi: richiede una valutazione esterna, riconducibile alla responsabilità manageriale.

La terza riguarda il rapporto tra i comportamenti introdotti e le tecniche di analisi. Tali comportamenti sono stati costruiti a partire dal funzionamento del processo, senza associare preventivamente ciascuno a una specifica tecnica destinata a rilevarlo. Alcuni emergono infatti in più analisi, come l'omissione della diagnosi remota, che compare sia nella verifica di conformità sia nel confronto tra varianti.

Resta il fatto che il caso non può dimostrare l'efficacia del Process Mining su dati reali. Ciò che può mostrare è come le analisi si comportino a fronte di comportamenti noti, e quali decisioni l'analista debba assumere per interpretarne gli esiti.

3.5 Gli algoritmi impiegati e i criteri di scelta

Il Capitolo 2 ha trattato le tecniche di Process Mining concentrandosi su ciò che rendono osservabile, senza approfondirne il funzionamento algoritmico. La loro applicazione richiede tuttavia di scegliere tra diverse implementazioni della stessa tecnica, e tali scelte possono incidere sui risultati e sulla loro interpretazione. Il presente paragrafo chiarisce quindi le principali caratteristiche degli algoritmi utilizzati nel caso applicativo, evidenziando ciò che ciascuno consente di rappresentare e i limiti che devono essere considerati nella lettura dei risultati del capitolo successivo.

3.5.1 La scoperta del modello

La discovery introduce una scelta che il Capitolo 2 ha lasciato sullo sfondo. Algoritmi diversi applicati allo stesso event log possono infatti produrre modelli differenti, non soltanto in termini di qualità, ma anche rispetto ai comportamenti che sono in grado di rappresentare e alle analisi successive che consentono di svolgere. Nel caso applicativo la scelta è ricaduta sull'Inductive Miner per tre ragioni:

1. **Correttezza formale del modello:** l'Inductive Miner costruisce il modello scomponendo progressivamente il comportamento osservato e identificando relazioni di sequenza, scelta, parallelismo e ciclo tra le attività. Il modello risultante è sound, cioè strutturalmente corretto e privo di situazioni di blocco che impediscano il completamento del processo. Questa proprietà è particolarmente rilevante per le analisi successive, poiché garantisce una rappresentazione formalmente coerente su cui proiettare e interpretare le informazioni di performance.
2. **Capacità di rappresentare il processo simulato:** il processo di assistenza contiene un ciclo, determinato dalla possibile ripetizione dell'intervento, e diverse attività opzionali, come l'emissione del preventivo e l'ordine dei ricambi. Tali strutture non vengono rappresentate allo stesso modo da tutti gli algoritmi. L'Alpha Miner, applicato allo stesso log come termine di confronto, produce nel caso applicativo una rete che non riesce a riprodurre nessuno dei 1.200 casi osservati. La differenza non dipende quindi dal contenuto del log, ma dai vincoli

della rappresentazione costruita dall'algoritmo, offrendo un esempio concreto del representational bias discusso nel paragrafo 2.3.

3. **Fitness:** sul log completo e senza filtri, l'Inductive Miner produce un modello capace di riprodurre tutto il comportamento osservato. Il valore massimo di fitness ottenuto in questa configurazione non deve quindi essere interpretato come evidenza autonoma della qualità del modello, ma anche come conseguenza delle proprietà dell'algoritmo. Il confronto deve pertanto considerare congiuntamente le altre dimensioni di qualità.

La contropartita di questa capacità di rappresentazione è un modello potenzialmente più permissivo. Per includere anche percorsi osservati raramente, l'algoritmo può introdurre strutture di scelta ampie e transizioni silenziose, cioè passaggi ammessi dal modello a cui non corrisponde alcuna attività registrata nel log. Il risultato può essere un modello che consente comportamenti più ampi di quelli effettivamente osservati, con conseguenti valori di precisione più contenuti.

L'Inductive Miner consente di attenuare questo effetto attraverso una soglia di rumore, che esclude parte del comportamento infrequente durante la costruzione del modello. In questo caso la fitness completa non è più garantita, poiché una parte dei casi viene deliberatamente trascurata. In alternativa, è possibile filtrare le varianti rare prima di applicare l'algoritmo senza soglia, spostando quindi la decisione a monte. Le due strategie perseguono lo stesso obiettivo, ossia ottenere un modello più leggibile, ma differiscono nel modo in cui la semplificazione viene controllata: la soglia di rumore agisce all'interno dell'algoritmo, mentre il filtro sulle varianti consente di modificare esplicitamente il livello di copertura e di misurarne gli effetti sui risultati.

I modelli prodotti nel caso applicativo sono rappresentati mediante reti di Petri. Una rete di Petri è composta da transizioni, che rappresentano attività o passaggi di controllo, da posti, che descrivono gli stati intermedi del processo, e da archi che collegano questi elementi. La complessità strutturale del modello può quindi essere valutata anche attraverso il numero complessivo di posti, transizioni e archi, utilizzato nel caso applicativo come uno dei criteri di confronto tra le reti ottenute.

3.5.2 La verifica di conformità

Anche nel conformance checking esistono tecniche differenti, e la scelta tra esse può influenzare sia il valore delle misure ottenute sia il livello di dettaglio delle diagnostiche.

Il token replay ripercorre ciascuna traccia sul modello, verificando passo dopo passo se l'attività osservata possa essere eseguita nello stato corrente. Quando ciò non avviene, l'algoritmo registra lo scostamento e prosegue la riproduzione della traccia. La misura di conformità deriva quindi dal modo in cui il comportamento osservato può essere riprodotto sul modello. L'approccio è relativamente intuitivo ed efficiente e, nel caso applicativo, è stato utilizzato per confrontare i modelli scoperti, tra cui quello prodotto dall'Alpha Miner, per il quale il ricorso agli allineamenti non avrebbe fornito risultati adeguatamente interpretabili.

Van der Aalst (2016) evidenzia tuttavia alcuni limiti del token replay. In presenza di deviazioni, l'introduzione di token mancanti può consentire la prosecuzione della traccia e influenzare la valutazione degli eventi successivi; inoltre, una deviazione precedente può condizionare la diagnosi di quelle successive. Ne può derivare una stima della conformità meno precisa, soprattutto nei casi maggiormente devianti. Nel caso applicativo, lo scarto tra token replay e allineamenti emerge soltanto per il modello ottenuto con soglia di rumore, cioè quello che non riproduce integralmente il comportamento osservato, e rimane comunque contenuto. Il fenomeno è quindi presente nella direzione attesa, ma assume un peso limitato sui modelli analizzati, caratterizzati da livelli elevati di fitness.

Il metodo degli allineamenti segue invece una logica differente. Per ciascuna traccia ricerca un percorso ammesso dal modello che minimizzi lo scostamento rispetto al comportamento osservato. Quando log e modello concordano, l'attività viene allineata direttamente; quando invece il log contiene un'attività non prevista dal modello, oppure il modello richiede un'attività non osservata nel log, viene registrato uno scostamento. A ciascuno di questi movimenti è associato un costo e l'allineamento restituito è quello che minimizza il costo complessivo.

L'analisi di conformità è stata condotta principalmente attraverso il metodo degli allineamenti, per due ragioni:

1. Distingue le due principali forme di deviazione, cioè un'attività eseguita ma non prevista dal modello e un'attività prevista ma non osservata nel log, restituendo una diagnostica separata per ciascuna;
2. Associa ogni caso a un percorso ammesso dal modello anche quando la traccia non è conforme, consentendo di analizzare gli scostamenti senza escludere i casi devianti.

Il metodo consente inoltre di attribuire costi differenti alle deviazioni attraverso la funzione di costo. Nel caso applicativo si è scelto di utilizzare costi uniformi, evitando di incorporare direttamente nel calcolo un giudizio sulla gravità degli scostamenti. La loro rilevanza è stata quindi valutata a valle, nella lettura dei risultati, coerentemente con l'impostazione secondo cui la priorità gestionale delle deviazioni non può essere determinata dalla sola tecnica di conformance checking.

Un'ulteriore precisazione riguarda la stabilità delle diagnostiche. Quando più percorsi spiegano lo stesso scostamento con lo stesso costo complessivo, l'algoritmo può restituire soluzioni alternative equivalenti. Le misure aggregate possono rimanere stabili, mentre l'attribuzione delle deviazioni alle singole attività può variare. L'analisi dei risultati verifica quindi dove tale fenomeno si manifesta e quali diagnostiche risultino sufficientemente stabili ai fini dell'interpretazione.

Infine, il metodo richiede un modello di riferimento rispetto al quale valutare il comportamento osservato. Nel caso applicativo tale modello non è stato ricavato dallo stesso log utilizzato per l'analisi, poiché deviazioni ricorrenti potrebbero essere assorbite nella struttura del modello scoperto e risultare meno visibili nel conformance checking. Il modello normativo è stato quindi costruito a partire dalla procedura prevista, introducendo una scelta interpretativa che rimane responsabilità dell'analista.

3.5.3 Le metriche di qualità

Il confronto tra i modelli scoperti si basa sui quattro criteri introdotti nel paragrafo 2.3: fitness, precisione, generalizzazione e semplicità. Il loro impiego richiede tre precisazioni, che saranno riprese nel capitolo successivo alla luce dei valori effettivamente ottenuti.

La prima riguarda il modo in cui tali metriche devono essere interpretate. Si tratta di strumenti di confronto tra modelli, non di misure assolute di bontà. Un valore elevato su una singola dimensione non è quindi sufficiente per giudicare la qualità complessiva del modello, poiché le quattro dimensioni presentano trade-off reciproci. Un modello molto permissivo, ad esempio, può ottenere valori elevati di fitness e generalizzazione pur risultando poco utile dal punto di vista interpretativo. Il confronto tra i modelli scoperti nel caso applicativo mostra quindi la necessità di leggere congiuntamente le diverse metriche.

La seconda precisazione riguarda la precisione. Questa misura esprime quanto il comportamento ammesso dal modello sia effettivamente riscontrato nel log e dipende quindi sia dalla struttura del modello sia dal log utilizzato per la valutazione. Uno stesso modello valutato su log differenti può restituire valori di precisione diversi, senza che ciò implichi necessariamente una variazione della qualità intrinseca del modello. Per rendere significativo il confronto, i modelli devono quindi essere valutati rispetto allo stesso log.

La terza riguarda generalizzazione e semplicità, per le quali il valore restituito non coincide in modo immediato con la definizione concettuale. La generalizzazione si basa sulla frequenza con cui le transizioni della rete vengono attraversate durante la riproduzione del log e penalizza quelle osservate raramente. Di conseguenza, un modello con poche transizioni molto frequenti può ottenere un valore elevato anche quando rappresenta il processo in modo poco adeguato. La semplicità dipende invece dalla struttura della rete e, in particolare, dal numero medio di connessioni per nodo, più che dalla sua dimensione complessiva. Ne consegue che una rete con meno nodi ma più densamente connessi può ottenere un punteggio di semplicità inferiore. Le due metriche differiscono anche per la base su cui vengono calcolate: la generalizzazione dipende dal log utilizzato nella valutazione, mentre la semplicità dipende dalla sola struttura del modello. Entrambe devono quindi essere interpretate come indicatori parziali e lette congiuntamente alle altre dimensioni di qualità.

3.5.4 I limiti della prospettiva di flusso

Le tecniche descritte finora operano tutte sul flusso di controllo, cioè sull'ordine in cui le attività vengono eseguite. Non tutti i vincoli che governano un processo sono però esprimibili in questa forma, e il caso applicativo ne contiene un esempio.

Il principio dei quattro occhi introdotto nel paragrafo 3.2 non riguarda l'ordine delle attività. La sequenza di emissione e approvazione del preventivo è identica nel caso lecito e in quello irregolare, e la verifica di conformità riproduce entrambi come esecuzioni corrette. Il vincolo riguarda invece chi esegue le due attività, e solo quando l'importo del preventivo supera la soglia. Una rete di Petri non dispone dei costrutti per rappresentare una condizione che lega la risorsa di due eventi distinti al valore di un attributo di caso.

Il Process Mining Handbook (2022) tratta gli allineamenti data-aware e resource-aware come estensioni necessarie proprio per questa ragione: i processi reali non riguardano soltanto l'ordinamento delle attività, e la verifica di conformità deve poter considerare anche i dati trattati e le identità di chi esegue. Le tecniche esistono, ma richiedono modelli arricchiti con variabili e condizioni.

Nel caso applicativo il vincolo è stato verificato attraverso un'interrogazione diretta sui dati, che confronta le risorse delle due attività sui soli casi in cui l'importo supera la soglia. La soluzione è più semplice di un allineamento arricchito, ma comporta una differenza sostanziale: la verifica non discende dal modello di riferimento e va formulata separatamente, il che presuppone che il vincolo sia già noto a chi conduce l'analisi.

3.6 La configurazione tecnica e i controlli sul log

Il paragrafo descrive l'ambiente tecnico in cui è stata condotta l'analisi, le principali scelte implementative che incidono sui risultati e i controlli eseguiti sull'event log prima di procedere alle analisi. L'obiettivo è rendere trasparente il processo attraverso cui i risultati sono stati ottenuti e fornire gli elementi necessari per valutarne affidabilità e riproducibilità.

3.6.1 Ambiente, strumenti e riproducibilità

La pipeline è stata sviluppata in Python 3.10 utilizzando PM4Py 2.7.23.4, affiancato da Pandas per le aggregazioni, NumPy per la generazione pseudocasuale e Matplotlib per le visualizzazioni non prodotte direttamente dalla libreria.

La generazione del log utilizza numeri pseudocasuali per determinare il percorso seguito dalle chiamate, la durata delle attività e i casi interessati dalle anomalie. Tali sequenze dipendono da un valore iniziale, il seed: fissandolo, la stessa sequenza può essere riprodotta a ogni esecuzione.

Per garantire questa riproducibilità, tutte le estrazioni casuali vengono effettuate attraverso un'unica sorgente inizializzata con il seed e utilizzata in modo coerente nell'intero generatore. In questo modo, chi dispone del codice e del seed può ricostruire lo stesso event log e verificare i risultati riportati nel capitolo successivo. Questa scelta traduce operativamente il criterio di riproducibilità discusso nel paragrafo 2.5.

La riproducibilità resta tuttavia vincolata all'ambiente tecnico descritto. Il progetto specifica la versione di Python e di PM4Py, ma non cristallizza l'intero ambiente né registra le versioni esatte di tutte le dipendenze utilizzate. Inoltre, alcune funzioni della libreria potrebbero modificare il proprio comportamento in versioni future. La riproducibilità deve quindi essere intesa come riferita alla configurazione tecnica adottata e non come una proprietà indipendente dall'ambiente di esecuzione.

La pipeline è organizzata in moduli distinti, ciascuno con una funzione specifica:

1. **Generatore:** produce l'event log a partire dai parametri della simulazione.
2. **Script di controllo:** verifica la corrispondenza tra il log ottenuto e quanto progettato.

3. **Modulo comune:** gestisce le operazioni condivise dalle analisi successive, tra cui caricamento del log, conversione nel formato richiesto da PM4Py, filtri e gestione del calendario
4. **Script di discovery;** ricostruisce i modelli di processo e ne confronta la qualità.
5. **Script di conformance:** che costruisce il modello normativo ed esegue le verifiche di conformità.
6. **Script di performance e variance analysis:** analizzano rispettivamente la distribuzione dei tempi e le differenze tra i percorsi.

La separazione dei moduli riflette il fatto che ciascuna analisi risponde a una domanda gestionale distinta e produce risultati autonomi rispetto alle altre. Consente inoltre di rieseguire una singola analisi senza dover ricalcolare l'intera pipeline.

I parametri impiegati nelle analisi sono i seguenti:

- Discovery con Inductive Miner e soglia di rumore nulla, applicato sia al log completo sia a quello filtrato. La soglia di rumore determina quanto comportamento infrequente l'algoritmo può escludere durante la costruzione del modello. Impostarla a zero consente di rappresentare anche i percorsi osservati raramente e, soprattutto, di isolare l'effetto del filtro sulle varianti: utilizzando contemporaneamente una soglia di rumore diversa da zero e un filtro a monte, i due meccanismi di semplificazione si sovrapporrebbero rendendo più difficile distinguerne gli effetti.
- Una seconda versione del modello è stata ottenuta utilizzando una soglia di rumore pari a 0,2. Questa configurazione costituisce il termine di confronto per valutare la semplificazione operata internamente dall'algoritmo rispetto a quella ottenuta filtrando le varianti prima della discovery.
- Filtro sulle varianti con copertura cumulata all'80%. Le varianti sono ordinate per frequenza decrescente e vengono mantenute fino a coprire complessivamente l'80% dei casi, escludendo le restanti. La soglia è stata scelta confrontando fitness e precisione dei modelli ottenuti con diversi livelli di copertura, come mostrato nel capitolo successivo, e rappresenta nel caso applicativo un compromesso tra capacità di rappresentare il comportamento osservato e leggibilità del modello.

- Allineamenti con funzione di costo uniforme, cioè costo unitario per ogni scostamento indipendentemente dall'attività coinvolta. L'utilizzo di costi differenziati influenzerebbe infatti la soluzione ottima e, di conseguenza, l'attribuzione delle deviazioni alle singole attività. La scelta di costi uniformi evita quindi di incorporare direttamente nel calcolo un giudizio sulla gravità degli scostamenti, demandandone la valutazione alla successiva interpretazione gestionale.
- Calendario lavorativo dal lunedì al venerdì, dalle 8 alle 18, definito esplicitamente e coerente con quello utilizzato nella generazione del log. Questa coerenza è necessaria affinché le durate espresse in ore lavorative risultino confrontabili e interpretabili correttamente.

3.6.2 Le scelte implementative con effetti sull'analisi

Alcune decisioni assunte in fase di implementazione incidono sui risultati ma non sono direttamente ricavabili dagli output. È quindi necessario esplicitarle, affinché possano essere considerate nella successiva interpretazione delle analisi.

1. **Il calendario e l'unità di misura del tempo** i tempi del log sono generati in ore lavorative, mentre alcune elaborazioni della libreria restituiscono durate in tempo solare, includendo quindi anche notti e fine settimana. Le due misure rappresentano fenomeni differenti: la prima descrive il tempo operativo riconducibile all'organizzazione, mentre la seconda riflette il tempo complessivamente sperimentato dal cliente tra due eventi. Per questo motivo i risultati vengono riportati in entrambe le unità, specificando di volta in volta quale sia quella rilevante per l'analisi.
2. **I costi degli allineamenti:** come discusso nel paragrafo precedente, sono stati utilizzati costi uniformi. Poiché l'algoritmo ricerca l'allineamento a costo minimo, l'attribuzione di pesi differenti agli scostamenti potrebbe modificare la soluzione selezionata e, di conseguenza, l'attività a cui viene attribuita una deviazione. La scelta dei costi incide quindi non soltanto sul calcolo, ma anche sulla diagnostica restituita.

3. **Il conteggio delle deviazioni:** nei modelli possono comparire transizioni silenziose, cioè passaggi di controllo che non corrispondono ad attività effettivamente registrate nel log. Tali transizioni sono state escluse dal conteggio delle deviazioni, poiché la loro presenza deriva dalla struttura del modello e non da comportamenti anomali osservati nel processo.
4. **La selezione delle varianti di testa:** il filtro adottato mantiene le varianti più frequenti fino a raggiungere una copertura cumulata dell'80% dei casi. La funzione di libreria inizialmente considerata applicava invece la soglia alle singole varianti e non alla loro copertura cumulata, producendo un risultato non coerente con l'obiettivo dell'analisi. La selezione è stata quindi implementata separatamente. Questo passaggio evidenzia come una scelta apparentemente tecnica possa modificare in modo sostanziale il dataset utilizzato nelle analisi senza necessariamente produrre un errore esplicito.
5. **Le soglie adottate nelle analisi successive:** nell'analisi dei ricambi, il valore di 5 giorni separa i casi di disponibilità a magazzino da quelli di approvvigionamento esterno. La soglia ricade tra due gruppi già distinti nella distribuzione dei tempi e non divide quindi artificialmente una popolazione omogenea. Nel confronto tra varianti, invece, una differenza viene considerata rilevante soltanto quando soddisfa sia un criterio di significatività statistica sia una soglia minima di ampiezza dell'effetto. Quest'ultima condizione evita di attribuire rilevanza gestionale a differenze statisticamente significative ma di entità trascurabile.

3.6.3 I controlli sul log e il loro esito

Prima di procedere alle analisi, il log è stato sottoposto a una serie di controlli finalizzati a verificare la corrispondenza tra quanto progettato nei paragrafi precedenti e quanto effettivamente generato. Le verifiche riguardano le dimensioni del log, la struttura delle varianti, la frequenza dei comportamenti introdotti, la relazione tra omissione della diagnosi remota e ritorno del tecnico, il rapporto tra tempo di attesa e tempo di lavorazione e l'integrità dei timestamp.

Due aspetti dell'impostazione dei controlli meritano di essere evidenziati. In primo luogo, i valori attesi non sono definiti nuovamente nello script di verifica, ma vengono letti

direttamente dalla configurazione del generatore. In questo modo, eventuali modifiche ai parametri della simulazione si riflettono automaticamente anche nei controlli, evitando disallineamenti tra generazione e verifica. In secondo luogo, la tolleranza è definita attraverso un intervallo statistico anziché mediante un margine arbitrario, poiché su 1.200 casi una differenza contenuta tra frequenza impostata e frequenza osservata può derivare dalla normale variabilità campionaria e non da un errore di generazione.

La tabella 3.4 riporta i controlli principali con il valore atteso e quello osservato.

Controllo	Atteso	Osservato
Numero di casi	1.200	1.200
Istanze di attività	circa 9.500	9.465
Copertura delle prime 6 varianti	circa 70%	72,9%
Omissione della verifica di copertura	3,7%	4,3%
Omissione della diagnosi remota	7,3%	7,2%
Violazione del principio dei quattro occhi	15% dei casi eleggibili	15,5%
Inversione tra fatturazione e chiusura	6,0%	5,7%
Ritorno del tecnico	12,2%	12,0%
Ritorno con diagnosi eseguita	9,0%	8,7%
Ritorno con diagnosi omessa	45,4%	47,1%
Rapporto attesa su lavorazione	superiore a 2	16,8
Timestamp non monotoni	0	0

Tabella 3.4: Controlli di qualità sul log generato. Elaborazione propria mediante PM4Py.

L'esito è positivo, con tre precisazioni.

La prima riguarda una verifica che non è stato possibile eseguire direttamente sul log. La distribuzione dell'omissione della diagnosi remota tra i tecnici di secondo livello non è infatti ricostruibile, poiché quando l'attività non viene eseguita non viene registrata neppure la risorsa che avrebbe dovuto svolgerla. L'informazione è quindi disponibile soltanto in fase di generazione. Si tratta di una proprietà del dato, più che di un limite del controllo, e assume rilevanza nella successiva analisi della quarta domanda gestionale.

La seconda precisazione riguarda il numero di varianti osservate, pari a 81 rispetto alle 40–60 previste in fase di progettazione. Prima di modificare i parametri della simulazione

è stato valutato l'effetto di una possibile correzione: azzerando le probabilità di riprogrammazione e riapertura, il numero di varianti sarebbe rimasto intorno a 67, mentre per rientrare nell'intervallo previsto sarebbe stato necessario eliminare la rilavorazione, cioè uno dei meccanismi centrali per la quarta domanda gestionale. Tale modifica avrebbe inoltre aumentato la copertura delle prime sei varianti dal 73% al 77%, allontanandola dal valore atteso.

Si è quindi scelto di mantenere invariati i parametri e di gestire la maggiore varietà dei percorsi in fase di analisi attraverso il filtro sulle varianti più frequenti. L'intervallo di 40–60 varianti rappresentava infatti una stima formulata in fase di progettazione e non un requisito strutturale del caso; una volta osservato lo scostamento, è stato quindi rivisto il criterio di controllo anziché modificare artificialmente il processo simulato per ricondurlo alla previsione iniziale.

La terza precisazione riguarda un aggiustamento effettuato durante la generazione del log. La mediana dell'importo dei preventivi è stata aumentata da 2.500 a 2.800 euro, poiché con il valore iniziale la quota di casi superiori alla soglia di autorizzazione sarebbe risultata pari al 36%, rispetto al 45% previsto. Poiché le due condizioni non risultavano simultaneamente soddisfacenti, si è privilegiata la seconda, in quanto determina la numerosità dei casi disponibili per verificare il principio dei quattro occhi.

3.7 Sintesi delle scelte e limiti del disegno

Il terzo Capitolo ha ricostruito il caso applicativo come una sequenza di decisioni metodologiche. Ripercorrerle consente di chiarire come la loro combinazione determini ciò che le analisi del capitolo successivo potranno effettivamente mostrare.

È stato scelto un processo di servizio, l'assistenza tecnica post-vendita, e sono state formulate quattro domande gestionali a partire dalle principali criticità che una divisione assistenza di questo tipo può trovarsi ad affrontare. Le domande sono state definite prima delle tecniche e solo successivamente ricondotte alle quattro prospettive di analisi discusse nel secondo Capitolo.

La costruzione dell'event log ha richiesto cinque decisioni principali. Il caso è stato definito come singola chiamata di assistenza, escludendo le alternative della macchina e del contratto, che avrebbero prodotto prospettive di processo differenti. Il perimetro è stato esteso dalla registrazione della chiamata alla fatturazione, mantenendo comunque la possibilità di misurare separatamente la componente relativa alla risoluzione tecnica. La granularità è stata fissata a 11 attività, corrispondenti ai principali passaggi caratterizzati da cambi di responsabilità o decisioni. La registrazione del tempo utilizza due timestamp per ciascuna attività, così da distinguere tempo di esecuzione e tempo di attesa. Infine, gli attributi sono stati selezionati in funzione delle esigenze analitiche, includendo le informazioni necessarie per l'analisi organizzativa, il confronto tra gruppi e la verifica dei vincoli di autorizzazione.

Nel log sono stati inoltre introdotti comportamenti di natura diversa: tre violazioni di vincoli operativi, una deviazione dall'ordine previsto priva di conseguenze gestionali rilevanti e un meccanismo di rilavorazione. A questi si aggiunge una configurazione differenziata dei tempi di attesa che, pur non costituendo una deviazione dalla procedura, consente di analizzare la distribuzione temporale del processo. Tutti questi comportamenti sono stati costruiti in forma probabilistica e non come regole deterministiche.

Sul piano tecnico, la discovery è stata condotta principalmente con l'Inductive Miner, scelto per la capacità di rappresentare cicli e attività opzionali e per la correttezza formale dei modelli prodotti. La verifica di conformità è stata invece effettuata attraverso gli allineamenti, utilizzando un modello normativo costruito a partire dalla procedura prevista e distinto dal modello scoperto sui dati. Il principio dei quattro occhi, non

rappresentabile attraverso il solo flusso di controllo, è stato verificato separatamente mediante un'interrogazione sugli attributi del log.

Il disegno così costruito presenta alcuni limiti, che devono essere distinti da quelli che emergeranno nell'interpretazione dei risultati.

1. **Il costo di preparazione dei dati non è osservabile:** il log è stato generato e non estratto da sistemi sorgente, per cui il caso non riproduce il lavoro di reperimento, trasformazione e riconciliazione delle fonti che caratterizza un progetto reale. Le scelte di progettazione dell'event log restano analoghe, ma non è possibile osservarne l'effort operativo.
2. **I difetti tipici dei log reali sono assenti:** il caso offre un esempio particolarmente rilevante. Nell'assistenza tecnica, la compilazione del rapporto di intervento a fine giornata può produrre il pattern che Suriadi et al. (2017) definiscono form-based event capture, in cui più informazioni ricevono lo stesso timestamp al momento del salvataggio. Questo può alterare la ricostruzione dell'ordine effettivo delle attività e influenzare il modello di discovery. Nel log sintetico i timestamp sono invece generati in modo esatto e distinto, per cui tali effetti non sono osservabili.
3. **La validazione con l'organizzazione è sostituita dalla conoscenza del dominio:** il modello normativo utilizzato per il conformance checking è stato costruito a partire dalla procedura descritta nel paragrafo 3.2, senza il confronto con process owner o responsabili operativi che caratterizzerebbe un progetto reale. Il Capitolo 4 mostra che la ricostruzione ha richiesto alcune correzioni, individuate attraverso l'analisi anziché mediante validazione organizzativa.
4. **Il calendario lavorativo è un'assunzione dichiarata e non un dato verificato:** in un contesto reale dovrebbe essere validato con l'organizzazione, poiché eventuali differenze tra calendario dichiarato ed effettivamente applicato inciderebbero sulle misure temporali.
5. **Alcune informazioni non sono ricostruibili dal log per la natura stessa del dato:** quando la diagnosi remota viene omessa, non viene registrata la risorsa che avrebbe dovuto eseguirla. L'assenza di un'attività non lascia infatti una traccia diretta dell'attore responsabile, con conseguenze sulla possibilità di interpretare alcune associazioni osservate nella quarta domanda gestionale.

6. **Il caso si arresta all'insight:** il ciclo discusso nel paragrafo 1.4 prosegue con decisione, intervento, misurazione degli effetti e apprendimento. Il caso applicativo copre invece la fase di analisi e mostra ciò che il Process Mining rende osservabile, senza poter verificare se e come un'organizzazione trasformerebbe tali evidenze in interventi né quali risultati questi produrrebbero.

Questi limiti circoscrivono ciò che il caso può mostrare senza annullarne la funzione metodologica. Il capitolo successivo applica le quattro prospettive di analisi alle domande formulate, verifica quali risposte possano essere ottenute e discute le decisioni necessarie per interpretarne correttamente gli esiti.

CAPITOLO 4: IL CASO APPLICATIVO: DALLE DOMANDE GESTIONALI AI RISULTATI

Il capitolo presenta i risultati dell'analisi condotta sull'event log costruito nel capitolo precedente. L'esposizione segue le quattro domande gestionali formulate nel paragrafo 3.2, affrontate attraverso le rispettive prospettive di analisi: ricostruzione del processo effettivamente eseguito, verifica della conformità rispetto alle regole, analisi della distribuzione del tempo lungo il flusso e confronto tra i casi risolti alla prima uscita e quelli che richiedono un ritorno del tecnico.

Ciascuna analisi richiama anzitutto quanto discusso nel Capitolo 2 rispetto alla tecnica utilizzata, presenta i risultati ottenuti e ne valuta il significato alla luce delle attese teoriche. L'obiettivo non è soltanto verificare il funzionamento degli strumenti, ma osservare quali condizioni ne influenzino concretamente i risultati e la loro interpretazione.

I due paragrafi conclusivi rileggono trasversalmente le quattro analisi. Il primo mette in evidenza come, in ciascun caso, l'esito dipenda anche da decisioni assunte prima della misurazione e non ricavabili direttamente dai dati. Il secondo distingue i limiti emersi durante l'esecuzione da quelli già impliciti nel disegno del caso e dichiarati nel paragrafo 3.7.

Tutti i risultati riportati derivano dalla pipeline descritta nel paragrafo 3.6. Le tabelle riprendono gli output delle analisi, le figure sono prodotte mediante PM4Py salvo diversa indicazione e la configurazione adottata consente di riprodurre il log e i risultati ottenuti.

4.1 Il processo reale e il governo della complessità

4.1.1 Il comportamento osservato

La prima domanda gestionale chiede come si svolga effettivamente il processo di assistenza e quali percorsi alternativi emergano nella pratica. Il paragrafo 2.3 ha delineato alcuni elementi da attendersi da un'analisi di questo tipo: il modello scoperto può divergere dalla rappresentazione attesa del processo, la sua qualità deve essere valutata attraverso criteri tra loro in tensione e l'aumento della leggibilità può richiedere di escludere parte del comportamento osservato. Le analisi condotte sul log del caso mostrano concretamente queste dinamiche e, soprattutto, evidenziano che la semplificazione non è neutrale rispetto ai comportamenti che l'organizzazione potrebbe avere interesse a individuare.

Il log contiene 1.200 chiamate e 9.465 istanze distribuite su 11 attività. Le sequenze effettivamente osservate sono 81 e presentano una distribuzione fortemente asimmetrica: dieci varianti coprono l'80,0% dei casi e le prime 15 raggiungono l'85,5%, mentre le restanti 66 si distribuiscono sul 14,5% dei casi e 35 compaiono una sola volta. Il processo progettato nel paragrafo 3.3 (Figura 3.1) prevede invece un numero più contenuto di percorsi, determinati principalmente dalle combinazioni di preventivo, ordine ricambi e ripetizione dell'intervento. La distribuzione osservata richiama quindi il comportamento descritto da van der Aalst (2016) attraverso la logica 80/20: un nucleo ristretto di varianti concentra la maggior parte dei casi, mentre una lunga coda raccoglie numerosi percorsi poco frequenti.

#	casi	quota su 1.200 casi	quota cumulata	sequenza di attività
1	329	27,4%	27,4%	REG VER DIA PIA INT CHI FAT
2	221	18,4%	45,8%	REG VER DIA PIA ORD RIC INT CHI FAT
3	165	13,8%	59,6%	REG VER DIA CHI FAT
4	77	6,4%	66,0%	REG VER DIA PRE APP PIA INT CHI FAT
5	59	4,9%	70,9%	REG VER DIA PRE APP PIA ORD RIC INT CHI FAT
6	24	2,0%	72,9%	REG VER DIA PIA INT FAT CHI
7	23	1,9%	74,8%	REG VER DIA PIA PIA INT CHI FAT
8	23	1,9%	76,8%	REG VER DIA PIA PIA ORD RIC INT CHI FAT
9	22	1,8%	78,6%	REG VER DIA PRE APP CHI FAT
10	17	1,4%	80,0%	REG VER PIA INT CHI FAT
11	16	1,3%	81,3%	REG VER PIA ORD RIC INT CHI FAT
12	15	1,2%	82,6%	REG VER DIA PIA ORD RIC INT ORD RIC INT CHI FAT
13	13	1,1%	83,7%	REG VER DIA PIA INT ORD RIC INT CHI FAT
14	11	0,9%	84,6%	REG DIA PIA INT CHI FAT
15	11	0,9%	85,5%	REG VER PIA INT ORD RIC INT CHI FAT

Tabella 4.1: Le 15 varianti più frequenti. Sigle: REG registrazione chiamata, VER verifica copertura contrattuale, DIA diagnosi remota, PRE emissione preventivo, APP approvazione

preventivo, *PIA* pianificazione intervento, *ORD* ordine ricambi, *RIC* ricezione ricambi, *INT* intervento on site, *CHI* chiusura tecnica, *FAT* fatturazione. Elaborazione propria mediante *PM4Py*.

Le prime cinque varianti coprono il 70,9% delle chiamate e corrispondono ai principali percorsi previsti dal disegno. La chiamata viene registrata, la copertura contrattuale verificata e la diagnosi remota eseguita; da questo punto il processo si differenzia tra casi risolti a distanza e casi che richiedono l'intervento del tecnico. In particolare, 165 chiamate, pari al 13,8% del totale, vengono risolte in remoto senza generare alcuna uscita in loco. Le combinazioni che includono preventivo e approvvigionamento dei ricambi completano il nucleo dei percorsi attesi.

A partire dalla sesta variante compaiono invece comportamenti non previsti dal flusso di riferimento. La fatturazione precedente alla chiusura tecnica riguarda 24 chiamate, la doppia pianificazione dell'intervento altre 46 distribuite su due varianti e l'assenza della diagnosi remota 17. Questi percorsi rientrano comunque nelle dieci varianti più frequenti e vengono quindi mantenuti dal filtro insieme a quelli regolari. Al contrario, tra le varianti escluse compaiono la ripetizione dell'intervento on site, presente nelle varianti 12, 13 e 15, e l'omissione della verifica di copertura contrattuale, presente nella variante 14. La selezione basata sulla sola frequenza non distingue quindi tra comportamento regolare, deviazione legittima e scostamento potenzialmente rilevante: ai fini della discovery, tutti appaiono semplicemente come percorsi alternativi osservati nel log.

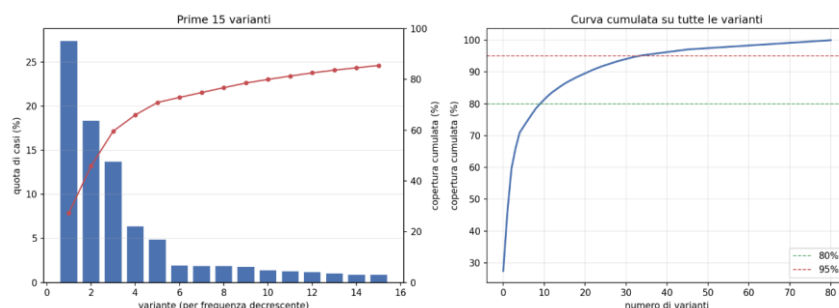


Figura 4.1: Curva di copertura cumulata delle 81 varianti. Elaborazione propria mediante *PM4Py*.

4.1.2 Dal comportamento al modello

Applicando l'Inductive Miner all'intero log si ottiene un modello con fitness pari a 1,000, capace quindi di riprodurre tutte le 1.200 tracce osservate senza token mancanti o residui. La precisione si ferma tuttavia a 0,576, indicando che il modello ammette un insieme di comportamenti più ampio rispetto a quelli effettivamente osservati.

La struttura della rete aiuta a interpretare questo risultato: il modello contiene 19 posti e 26 transizioni, di cui 15 silenziose, collegate da 54 archi, e presenta 6 cicli semplici. Più della metà delle transizioni non corrisponde quindi ad attività registrate nel log, ma a passaggi di controllo introdotti dall'algoritmo per rappresentare alternative, attività opzionali e cicli. Queste strutture aumentano la capacità del modello di riprodurre i percorsi osservati, ma ne ampliano anche il comportamento ammesso rispetto alle sole sequenze presenti nel log.

Come anticipato nel paragrafo 3.5, la fitness massima deve quindi essere interpretata alla luce delle proprietà dell'algoritmo e non come indicatore autonomo della qualità del modello. In questa configurazione, infatti, la fitness non consente di discriminare tra i modelli confrontati e deve essere letta congiuntamente alla precisione e alla complessità strutturale.

modello	log su cui la metrica è calcolata	fitness	precision	generalization	simplicity	tracce conformi
Inductive - log completo	log completo (1.200 casi)	1,000	0,576	0,943	0,714	100,0%
Inductive - log filtrato	log filtrato (960 casi)	1,000	0,768	0,941	0,787	100,0%
Inductive - log filtrato	log completo (1.200 casi)	0,989	0,870	0,953	0,787	85,5%
Inductive infrequent (rumore 0,2)	log completo (1.200 casi)	0,969	0,907	0,868	0,796	63,5%
Alpha - log completo	log completo (1.200 casi)	0,795	0,582	0,961	0,676	0,0%

Tabella 4.2: Confronto dei modelli scoperti su qualità e struttura della rete. Elaborazione propria mediante PM4Py.

modello	posti	transizioni	di cui silenziose	di cui etichettate	archi	cicli	cicli semplici
Inductive - log completo	19	26	15	11	54	si	6
Inductive - log filtrato (80%)	17	20	9	11	42	si	1
Inductive infrequent (rumore 0,2)	17	22	11	11	44	si	4
Alpha - log completo	14	11	0	11	31	no	0
Normativo (versione corretta)	14	18	7	11	36	si	2

Tabella 4.3: Struttura delle reti scoperte. Elaborazione propria mediante PM4Py.

Le due tabelle devono essere lette congiuntamente, poiché la sola struttura della rete o le sole metriche di qualità non sono sufficienti a valutare adeguatamente i modelli.

La rete prodotta dall'Alpha Miner è la più compatta: contiene 14 posti, 11 transizioni tutte etichettate e 31 archi, senza cicli. Considerando soltanto la struttura, potrebbe quindi apparire come il modello più leggibile. Nessuna delle 1.200 tracce risulta tuttavia riproducibile senza token mancanti o residui; la fitness si ferma a 0,795 e la precisione a 0,582. La compattezza deriva quindi anche dai limiti della rappresentazione costruita dall'algoritmo rispetto alle caratteristiche del processo, che comprende sia la ripetizione dell'intervento sia diverse attività opzionali. Il risultato offre un esempio concreto del representational bias discusso nel paragrafo 2.3.

Anche generalizzazione e semplicità mostrano perché le metriche debbano essere interpretate con cautela. La generalizzazione raggiunge 0,961, il valore più elevato tra i modelli confrontati, perché le poche transizioni presenti vengono attraversate frequentemente durante la riproduzione del log. Ciò non implica tuttavia che il modello rappresenti meglio il processo. La semplicità assume invece il valore più basso, pari a 0,676, poiché la misura dipende dalla struttura delle connessioni tra i nodi e non esclusivamente dalla dimensione complessiva della rete. Come anticipato nel paragrafo 3.5, una singola metrica può quindi restituire una valutazione favorevole anche a un modello che, considerato nel suo insieme, rappresenta in modo meno adeguato il comportamento osservato.

Le due strategie di semplificazione discusse nel capitolo precedente producono risultati relativamente vicini sulle metriche, ma differenti nella struttura del modello e nella quota di comportamento rappresentata. Filtrando le varianti fino a coprire l'80% dei casi e applicando l'algoritmo al solo sottoinsieme, la rete si riduce a 42 archi e a un solo ciclo, con 9 transizioni silenziose su 20. Valutata sul log completo, restituisce una fitness pari a 0,989 e una precisione pari a 0,870, con l'85,5% delle tracce riprodotte senza scostamenti.

Utilizzando invece una soglia di rumore pari a 0,2 e lasciando all'algoritmo il compito di escludere parte del comportamento infrequente, la precisione sale a 0,907 mentre la fitness scende a 0,969. La rete mantiene però 44 archi, 11 transizioni silenziose e 4 cicli, e la quota di tracce riprodotte senza scostamenti si riduce al 63,5%. Il modello ottenuto con soglia di rumore raggiunge quindi una precisione più elevata, ma conserva una maggiore complessità strutturale e riproduce senza deviazioni una quota sensibilmente inferiore di casi.

Lo stesso modello filtrato, valutato sul log utilizzato per la discovery, restituisce una fitness pari a 1,000 e una precisione pari a 0,768. Valutato invece sul log completo, mantiene una fitness elevata ma raggiunge una precisione pari a 0,870. Il confronto mostra che la precisione dipende non soltanto dalla struttura del modello, ma anche dal log utilizzato per la valutazione: sul log più ampio una quota maggiore del comportamento ammesso dal modello risulta effettivamente osservata. Per rendere il confronto omogeneo, tutti i modelli sono quindi valutati rispetto al log completo.

Sul modello ottenuto con soglia di rumore emerge inoltre lo scarto più evidente tra le due misure di conformità utilizzate: la fitness calcolata attraverso gli allineamenti è pari a 0,953, contro 0,969 ottenuto con token replay. La differenza resta comunque contenuta, coerentemente con quanto discusso nel paragrafo 3.5 sui modelli caratterizzati da livelli elevati di fitness.

La differenza che orienta la scelta non riguarda quindi soltanto le metriche, relativamente vicine tra i due modelli, ma anche il punto in cui avviene la semplificazione. Il filtro sulle varianti opera prima della discovery attraverso un criterio esplicito, la cui sensibilità può essere verificata modificando la soglia di copertura. La soglia di rumore agisce invece all'interno dell'algoritmo e rende meno immediato ricostruire, a partire dal solo modello risultante, quale comportamento infrequente sia stato escluso.

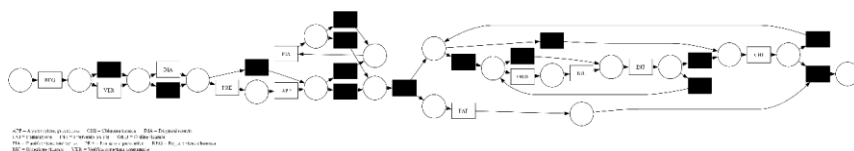


Figura 4.2: Rete di Petri scoperta dall'Inductive Miner sul log completo. Elaborazione propria mediante PM4Py.

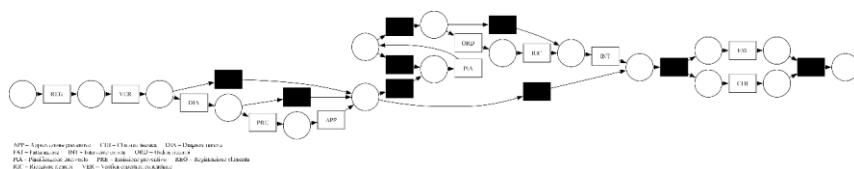


Figura 4.3: Rete di Petri scoperta dall'Inductive Miner sul log filtrato all'80% dei casi. Elaborazione propria mediante PM4Py.

Il livello di copertura scelto per il filtro non è determinato univocamente dai dati. Facendolo variare fra il 70% e il 95%, fitness e precisione si muovono in direzione opposta lungo tutto l'intervallo. Al 70% il modello è costruito su cinque varianti e ottiene precisione 1,000 con fitness 0,966, riproducendo però senza scostamenti solo il 70,9% dei casi; al 95% le varianti diventano 34, la fitness raggiunge 1,000 e la precisione scende a 0,576. Il valore unitario di precisione ottenuto alla soglia più bassa non indica un modello migliore: indica un modello che descrive un sottoinsieme di comportamento più ristretto, all'interno del quale non esiste esecuzione ammessa che non sia stata osservata. La soglia dell'80% è stata adottata perché oltre quel punto l'aggiunta di varianti rare riduce la precisione più di quanto aumenti la fitness, e resta comunque una scelta di chi conduce l'analisi.

soglia richiesta	varianti selezionate	casi nel log filtrato	copertura effettiva	fitness	precision	tracce conformi
70%	5	851	70,9%	0,966	1,000	70,9%
80%	10	960	80,0%	0,989	0,870	85,5%
90%	22	1.082	90,2%	0,997	0,803	96,2%
95%	34	1.140	95,0%	1,000	0,576	100,0%

Tabella 4.4: Effetto della soglia di copertura sulla qualità del modello. Le metriche sono calcolate sul log completo di 1.200 casi. Elaborazione propria mediante PM4Py.

Resta da stabilire cosa contenga la parte di comportamento che il filtro esclude. Dei 240 casi scartati dalla soglia dell'80%, 228 presentano almeno uno dei comportamenti introdotti nel log, pari al 95,0%; fra i 960 casi trattenuti la quota corrispondente è di 51 casi, il 5,3%. La ripartizione per singolo comportamento è ancora più netta. Nessuno dei 52 casi in cui manca la verifica della copertura contrattuale rientra nelle varianti trattenute, e lo stesso vale per i 119 casi con ritorno del tecnico. Dei 87 casi senza diagnosi remota ne sopravvive il 19,5%, mentre dei 68 con fatturazione anticipata il 35,3%. La ragione è strutturale e si legge nella tabella 4.1: tutte le dieci varianti trattenute iniziano con la registrazione seguita dalla verifica della copertura, e nessuna contiene due interventi on site. L'eccezione è la violazione del principio dei quattro occhi, che ricade per 10 casi su 16 nelle varianti trattenute, perché non produce alcuna variazione nell'ordine delle attività.

Il caso mostra quindi tre dinamiche coerenti con quanto discusso in letteratura e ne evidenzia una complicazione. Lo scostamento tra processo progettato ed esecuzione è

osservabile, i criteri di qualità si muovono in tensione tra loro e l'aumento della leggibilità richiede di rinunciare a rappresentare parte del comportamento. La criticità riguarda però la natura di questa rinuncia: il filtro che rende il modello più interpretabile concentra nella parte esclusa gran parte dei comportamenti che potrebbero risultare gestionalmente rilevanti. La discovery, basandosi sulla frequenza dei percorsi osservati, non distingue infatti automaticamente tra comportamento raro e comportamento rilevante. Questo criterio deve quindi provenire dalle regole e dagli obiettivi dell'organizzazione, rispetto ai quali l'esecuzione può essere successivamente confrontata.

4.2 Le regole e il loro termine di paragone

La seconda domanda gestionale chiede se le attività siano eseguite nel modo e nell'ordine previsti e dai soggetti autorizzati. Il paragrafo 2.3 ha evidenziato tre aspetti rilevanti per rispondere a questa domanda: la stessa discrepanza può assumere significati diversi a seconda che il modello di riferimento sia descrittivo o normativo; una deviazione non coincide automaticamente con un errore; la rilevanza degli scostamenti non può essere ricavata dalla sola analisi. Il caso applicativo mostra concretamente queste tre condizioni e ne evidenzia una quarta, relativa all'affidabilità del modello di riferimento utilizzato per il confronto.

4.2.1 Il modello di riferimento e la sua correzione

Verificare la conformità richiede un termine di paragone. Come chiarito nel paragrafo 2.3, questo non può coincidere con il modello scoperto nel 4.1, perché le deviazioni frequenti finirebbero per essere incorporate nella struttura della rete e non emergerebbero più come scostamenti. È quindi necessario costruire un modello normativo a partire dalla procedura descritta nel paragrafo 3.2, indipendente dai dati osservati.

Il modello è stato costruito seguendo i passaggi previsti dalla procedura: registrazione della chiamata, verifica della copertura contrattuale, diagnosi remota e, successivamente, eventuale preventivo, intervento e chiusura con fatturazione. La rete risultante contiene 14 posti e 18 transizioni, di cui 11 corrispondono alle attività del log e 7 sono transizioni silenziose che rappresentano scelte del processo. Gli archi sono 36 e due cicli rappresentano l'ordine dei ricambi e la ripetizione dell'intervento. Una prima verifica riguarda la soundness, cioè la correttezza strutturale della rete e l'assenza di blocchi che impediscano il completamento del processo. Il modello supera questa verifica.

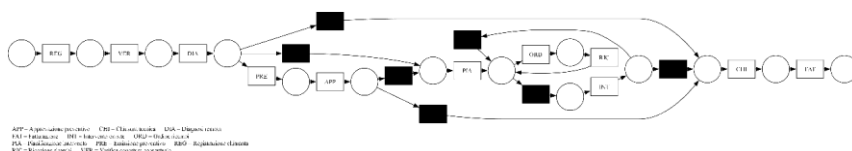


Figura 4.4: Modello normativo del processo di assistenza. Elaborazione propria mediante PM4Py.

Superare la verifica di soundness non garantisce che il modello rappresenti correttamente la procedura. La prima versione della rete, confrontata con il log tramite gli allineamenti, restituiva una fitness pari a 0,966 e 866 chiamate su 1.200 perfettamente conformi. Considerati isolatamente, questi valori non segnalavano criticità evidenti.

L'analisi delle deviazioni per attività mostrava però una concentrazione anomala su tre passaggi: emissione del preventivo, approvazione e intervento on site. Esaminando i casi coinvolti, emergeva che tali scostamenti non corrispondevano a comportamenti scorretti degli operatori, ma a due situazioni legittime non previste dal modello: la chiusura diretta della chiamata dopo il preventivo, in caso di rifiuto da parte del cliente, e l'ordine di ricambi successivo a un primo intervento. Le deviazioni rilevate riflettevano quindi lacune nella costruzione del modello, non errori nell'esecuzione.

La rete è stata quindi corretta per ammettere i due percorsi legittimi esclusi nella prima versione. La fitness sale a 0,975 e le chiamate perfettamente conformi diventano 925. Il numero complessivo di deviazioni scende da 520 a 384, con 136 scostamenti in meno: nella prima versione sarebbero stati attribuiti agli operatori, mentre derivavano da lacune del modello di riferimento.

grandezza	v1 (superata)	v2 (corretta)	variazione	base di calcolo
posti	13	14	+1	-
transizioni	16	18	+2	-
di cui silenziose	5	7	+2	-
archi	32	36	+4	-
soundness	SI	SI	invariata	-
fitness da allineamenti	0,966	0,975	+0,009	1.200 casi
tracce perfettamente conformi	866	925	+59	1.200 casi
quota di tracce conformi	72,2%	77,1%	+4,9 punti	1.200 casi
log moves totali	313	177	-136	-
model moves totali	207	207	invariati	-
mosse totali	520	384	-136	-
log moves su Emissione preventivo	30	0	-30	229 casi con preventivo
log moves su Approvazione preventivo	30	0	-30	229 casi con preventivo
log moves su Intervento on site	78	2	-76	988 casi con intervento

Tabella 4.5: Effetto della correzione del modello normativo sulle misure di conformità. Elaborazione propria mediante PM4Py.

Le due misure che un'analisi potrebbe limitarsi a riportare, fitness e quota di conformità, cambiano poco: nove millesimi la prima e meno di cinque punti percentuali la seconda. Considerando solo questi valori, la correzione sembrerebbe marginale. Non lo è: le 136 mosse eliminate rappresentano il 26% del totale iniziale e, prima della correzione, sarebbero state interpretate come errori degli operatori. Delle 78 mosse originariamente attribuite all'intervento on site ne restano soltanto due, riferite a casi effettivamente riaperti dopo la chiusura tecnica.

Anche la verifica di soundness non distingue le due versioni, perché entrambe la superano: essa garantisce la correttezza strutturale della rete, non la correttezza della procedura rappresentata. L'errore è emerso solo analizzando dove si concentravano le deviazioni e verificandone il significato rispetto al processo.

4.2.2 Gli scostamenti rilevati

Il passo successivo consiste nell'analizzare nel dettaglio le 384 mosse di disallineamento della versione corretta. Una prima lettura potrebbe ordinarle per attività, individuando i passaggi del processo a cui viene attribuito il maggior numero di deviazioni. Questa prospettiva è però meno informativa rispetto a una lettura per fenomeno, che raggruppa le mosse in base a ciò che accade effettivamente nella chiamata, indipendentemente dall'attività della rete a cui lo scostamento viene attribuito.

Fatto questo raggruppamento, compaiono sei fenomeni distinti.

fenomeno	casi coinvolti	log moves	model moves
Diagnosi remota omessa	87	0	87
Verifica copertura omessa	52	0	52
Riprogrammazione (2+ pianificazioni)	78	78	0
Riapertura (2+ chiusure tecniche)	29	29	0
Inversione chiusura/fatturazione	68	68	68
Ricambi ordinati in caso riaperto	2	2	0

Tabella 4.6: Decomposizione delle 384 mosse di disallineamento per fenomeno. Elaborazione propria mediante PM4Py.

Il numero delle deviazioni, da solo, non è sufficiente a interpretarle: occorre distinguere la natura dello scostamento. I sei fenomeni possono essere ricondotti a tre gruppi.

Due rappresentano violazioni di una regola esplicita: l'omissione della diagnosi remota, in 87 casi, e l'omissione della verifica di copertura contrattuale, in 52. In entrambi i casi il modello prevedeva un'attività che non è stata eseguita.

Un terzo fenomeno riguarda invece l'ordine delle attività: in 68 casi la fatturazione precede la chiusura tecnica, invertendo la sequenza prevista.

Gli ultimi tre fenomeni non corrispondono a vere violazioni della procedura. La riapertura dopo la chiusura tecnica, 29 casi, e l'ordine di ricambi in un caso già riaperto, 2 casi, sono forme particolari del ritorno del tecnico che emergono come deviazioni perché il modello non rappresenta quelle specifiche sequenze. La riprogrammazione dell'intervento, presente in 78 casi, è invece una diramazione ammessa dalla procedura ma assente dal modello normativo. In questo caso lo scostamento segnala quindi un limite del modello, non un comportamento scorretto, e richiama la logica del model repair: prima di correggere l'esecuzione, può essere necessario correggere il modello di riferimento.

Successivamente, i sei fenomeni sono stati verificati anche rispetto alla stabilità delle diagnostiche, ripetendo l'analisi cinque volte sugli stessi dati, come discusso nel paragrafo 3.5. Cinque fenomeni restituiscono sempre lo stesso numero di casi, mentre l'inversione tra chiusura tecnica e fatturazione varia nell'attribuzione alle due attività pur rimanendo stabile a 68 casi complessivi. Per questo motivo i risultati sono presentati per fenomeno e non per singola attività: la classificazione per attività può variare tra le esecuzioni, mentre il fenomeno osservato rimane stabile.

4.2.3 Ciò che il modello non intercetta

L'analisi condotta finora considera una sola direzione: ciò che il log contiene e che il modello normativo non prevede. È utile osservare anche la direzione opposta, cioè i comportamenti ammessi dal modello ma mai osservati nel log. Questi possono segnalare passaggi previsti dalla procedura ma non più utilizzati nella pratica.

Il modello normativo contiene due cicli, relativi all'ordine dei ricambi e alla ripetizione dell'intervento, e ammette quindi un insieme potenzialmente infinito di sequenze. Non è possibile confrontare il log con un elenco completo dei percorsi ammessi. Il controllo è stato quindi condotto su tre elementi: la frequenza con cui ciascuna attività viene

effettivamente eseguita, la presenza di rami mai percorsi nei punti di scelta e i collegamenti diretti tra attività ammessi dal modello ma mai osservati nel log.

Il risultato è quasi nullo. Tutte le 11 attività previste risultano eseguite, nessun ramo resta inutilizzato e, sui 17 collegamenti diretti ammessi dal modello, uno solo non compare nel log: un secondo ordine di ricambi non preceduto da un nuovo intervento. La precisione da allineamenti, pari a 0,966, è coerente con questo quadro e indica che il comportamento ammesso dal modello è quasi interamente riscontrato nell'esecuzione osservata. Nel caso applicativo ciò dipende anche dal fatto che il modello normativo è stato costruito a partire dalla stessa procedura utilizzata per simulare il processo, senza la stratificazione storica che può caratterizzare procedure reali.

Un secondo limite riguarda ciò che il metodo è in grado di osservare. Il principio dei quattro occhi impone che, oltre una determinata soglia di importo, il preventivo non sia approvato dalla stessa risorsa che lo ha emesso: si tratta quindi di un vincolo sulla risorsa, non sull'ordine delle attività. La sequenza degli eventi rimane identica sia quando il vincolo è rispettato sia quando viene violato e, di conseguenza, gli allineamenti basati sul flusso di controllo non sono in grado di rilevarlo. Nessuna delle 384 mosse di disallineamento del paragrafo precedente riguarda infatti questa violazione.

La verifica è stata quindi condotta separatamente sui dati. Su 103 chiamate con preventivo superiore alla soglia, 16 risultano approvate dalla stessa risorsa che le ha emesse, pari al 15,5%. Le 126 chiamate sotto soglia risultano invece tutte approvate dall'emittente, comportamento coerente con la procedura prevista.

scostamento	casi	incidenza	denominatore
Verifica copertura assente	52	4,3%	1.200 casi del log
Diagnosi remota assente	87	7,2%	1.200 casi del log
Violazione del principio dei quattro occhi	16	1,3%	1.200 casi del log
Violazione del principio dei quattro occhi	16	15,5%	103 casi eleggibili
Inversione chiusura/fatturazione	68	5,7%	1.200 casi del log

Tabella 4.7: Quadro dei quattro scostamenti rilevati. Elaborazione propria mediante PM4Py.

La graduatoria per frequenza non coincide con quella per rilevanza. La deviazione più frequente è l'omissione della diagnosi remota, con 87 casi, distribuiti in modo relativamente uniforme tra tipi di copertura e aree. L'omissione della verifica di copertura riguarda invece 52 casi, ma si concentra dove il rischio è maggiore: il 15,4% delle 253 chiamate ad alta priorità, contro l'1,6% di quelle a priorità media e lo 0,9% di

quelle a priorità bassa. La violazione del principio dei quattro occhi è la meno frequente, con 16 casi pari all'1,3% del log, ma riguarda un controllo di natura diversa rispetto agli scostamenti operativi. L'inversione tra chiusura tecnica e fatturazione interessa 68 casi e non produce conseguenze operative rilevanti; è inoltre l'unico dei quattro scostamenti rilevato interamente dagli allineamenti, poiché riguarda esclusivamente l'ordine delle attività.

Il rapporto fra ciò che il metodo rileva e ciò che risulta gestionalmente rilevante non è quindi diretto. La deviazione più visibile è quella priva di conseguenze operative significative, mentre quella con il profilo di rischio più netto richiede una verifica separata, formulata a partire da una regola già nota. La prioritizzazione risk-based discussa nel paragrafo 2.3 presuppone quindi un giudizio sull'impatto degli scostamenti, che deve derivare dagli obiettivi di processo definiti nella governance, come discusso nel paragrafo 1.2, e che nessuna delle grandezze prodotte dall'analisi può sostituire.

Il caso mostra quindi le tre condizioni discusse in letteratura e ne evidenzia una quarta. Il conformance checking individua gli scostamenti, la loro gerarchia richiede un giudizio esterno e non tutte le deviazioni corrispondono a errori. La condizione ulteriore riguarda il termine di paragone: i risultati dipendono dal modello normativo utilizzato, che costituisce a sua volta una ricostruzione di chi conduce l'analisi. Nel caso applicativo, la prima versione del modello conteneva lacune che le metriche aggregate non segnalavano e che avrebbero portato ad attribuire agli operatori 136 deviazioni generate invece dal modello di riferimento.

4.3 Dove si concentra il tempo

La terza domanda gestionale chiede dove si accumuli il tempo tra apertura e chiusura della chiamata e quali transizioni generino i ritardi principali. Come discusso nel paragrafo 2.3, il performance mining consente di distinguere il tempo di lavorazione dalle attese, due componenti che rispondono a leve di intervento differenti. Il caso mostra concretamente questa distinzione e mette in evidenza come la risposta dipenda da tre decisioni assunte prima della misurazione.

4.3.1 Quale tempo misurare

La prima decisione riguarda dove finisce il processo. Il lead time completo va dalla registrazione alla fatturazione e vale in media 9,8 giorni lavorativi. Il fermo macchina va invece dalla registrazione all'ultima chiusura tecnica e vale 6,4 giorni. Lo scarto è quindi di 3,4 giorni, pari al 53,8% del fermo macchina, mentre la coda amministrativa rappresenta circa il 35% del lead time complessivo. Nessuna delle due misure è errata, ma risponde a una domanda diversa: la prima descrive il ciclo completo della chiamata fino alla chiusura amministrativa, la seconda il tempo necessario alla risoluzione tecnica del guasto.

statistica	completo, gg lav	completo, gg sol	fermo, gg lav	fermo, gg sol	scarto, gg lav	scarto, quota
media	9,8	13,7	6,4	8,9	3,4	35%
mediana	9,0	12,9	5,5	7,3	3,4	38%
deviazione standard	4,8	6,8	4,5	6,3	0,3	6%
percentile 25	6,2	8,2	3,1	4,8	3,1	49%
percentile 50	9,0	12,9	5,5	7,3	3,4	38%
percentile 75	12,7	17,9	8,5	12,2	4,2	33%
percentile 90	16,4	22,9	12,8	17,9	3,7	22%
minimo	1,7	1,9	0,4	0,1	1,3	79%
massimo	31,4	43,2	28,1	38,0	3,4	11%

Tabella 4.8: Lead time completo e fermo macchina a confronto. Elaborazione propria mediante PM4Py.

La seconda scomposizione riguarda ciò che accade all'interno di questo intervallo. Il tempo medio di lavorazione è pari a 0,6 giorni lavorativi, mentre l'attesa tra le attività raggiunge 9,3 giorni: il 94,4% del lead time è quindi costituito da tempo non attribuito all'esecuzione delle attività, con un rapporto di 16,8 volte tra attesa e lavorazione. Intervenire esclusivamente sulla produttività delle attività inciderebbe quindi su una quota molto limitata del tempo complessivo.

La terza decisione riguarda il calendario. Tutte le misure precedenti sono espresse in tempo lavorativo, assumendo una giornata di 10 ore e una settimana dal lunedì al venerdì, come definito nel paragrafo 3.6. In tempo solare il lead time medio passa da 98,3 a 329,0 ore, con un rapporto di 3,35 volte: il 70,1% della durata complessiva ricade fuori dall’orario di servizio. Le due misure descrivono quindi prospettive differenti: il tempo operativo considerato dall’organizzazione e il tempo complessivo trascorso dal punto di vista del cliente.

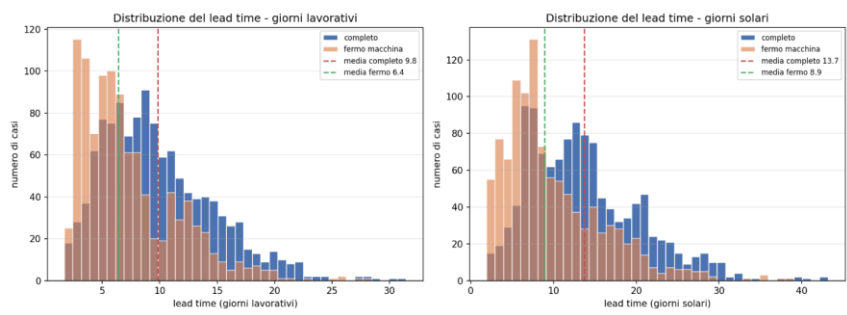


Figura 4.5: Distribuzione del lead time sui 1.200 casi. Elaborazione propria mediante Matplotlib.

4.3.2 Dove si accumula l'attesa

Una volta isolata la componente di attesa, resta da individuare dove essa si concentri lungo il processo. Le tre transizioni principali assorbono complessivamente il 67,3% del lead time: il passaggio dalla chiusura tecnica alla fatturazione incide per il 34,7%, quello dall’ordine alla ricezione dei ricambi per il 17,5% e quello dalla pianificazione all’intervento per il 15%.

transizione	occorrenze	gg lav	gg sol	quota sul lead time completo
Ordine ricambi -> Ricezione ricambi	472	4,4	6,2	17,5%
Chiusura tecnica -> Fatturazione	1.130	3,6	5,0	34,7%
Fatturazione -> Chiusura tecnica	70	3,6	5,0	2,1%
Pianificazione -> Intervento on site	592	3,0	4,2	15,0%
Intervento on site -> Intervento on site	28	2,6	3,6	0,6%
Ricezione ricambi -> Intervento on site	472	1,7	2,3	6,6%
Emissione preventivo -> Approvazione preventivo	229	1,7	2,3	3,2%
Pianificazione -> Pianificazione	78	1,4	2,1	0,9%
Diagnosi remota -> Emissione preventivo	210	0,5	0,7	1,0%
Intervento on site -> Chiusura tecnica	963	0,4	0,6	3,6%
Intervento on site -> Fatturazione	54	0,4	0,6	0,2%
Approvazione preventivo -> Chiusura tecnica	25	0,3	0,5	0,1%

Tabella 4.9: Attese medie fra attività consecutive e quota sul lead time completo. Elaborazione propria mediante PM4Py.

La graduatoria cambia radicalmente se il denominatore è il fermo macchina anziché il lead time completo. La transizione più rilevante scompare, perché si colloca interamente dopo l'ultima chiusura tecnica: le 1.130 occorrenze tra chiusura e fatturazione sono quindi escluse dal calcolo. Al primo posto salgono l'attesa dei ricambi, con il 27,0%, e quella tra pianificazione e intervento, con il 23,1%. Il principale collo di bottiglia dipende quindi dal punto in cui si decide di far terminare il processo. Se l'obiettivo è ridurre il fermo macchina percepito dal cliente, il ritardo amministrativo assume infatti una rilevanza marginale.

transizione	occorrenze	gg lav	gg sol	quota sul fermo macchina
Ordine ricambi -> Ricezione ricambi	472	4,4	6,2	27,0%
Fatturazione -> Chiusura tecnica	70	3,6	5,0	3,3%
Pianificazione -> Intervento on site	592	3,0	4,2	23,1%
Intervento on site -> Intervento on site	28	2,6	3,6	0,9%
Ricezione ricambi -> Intervento on site	472	1,7	2,3	10,2%
Emissione preventivo -> Approvazione preventivo	229	1,7	2,3	4,9%
Pianificazione -> Pianificazione	78	1,4	2,1	1,4%
Diagnosi remota -> Emissione preventivo	210	0,5	0,7	1,5%
Intervento on site -> Chiusura tecnica	963	0,4	0,6	5,6%
Intervento on site -> Fatturazione	54	0,4	0,6	0,3%
Approvazione preventivo -> Chiusura tecnica	25	0,3	0,5	0,1%
Diagnosi remota -> Chiusura tecnica	171	0,3	0,4	0,7%

Tabella 4.10: Le stesse attese calcolate sul fermo macchina. Elaborazione propria mediante PM4Py.

Il grafo directly-follows riportato di seguito rappresenta gli stessi tempi medi sugli archi tra le attività e rende visibile un aspetto che l'elenco non evidenzia: le tre principali attese non sono concentrate in una sola fase del processo, ma si distribuiscono tra pianificazione, approvvigionamento dei ricambi e coda amministrativa successiva alla chiusura tecnica.

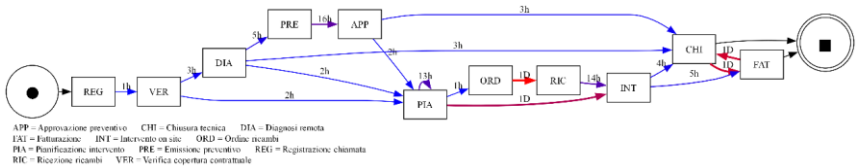


Figura 4.6: Mappa di performance sul grafo directly-follows, con i tempi medi sugli archi.
Elaborazione propria mediante PM4Py.

4.3.3 Cosa nascondono i valori medi

Le due principali attese che incidono sul fermo macchina mostrano comportamenti differenti quando l'analisi scende sotto il livello aggregato.

L'attesa per i ricambi è pari in media a 4,4 giorni lavorativi su 472 ordini, ma il valore aggregato nasconde due situazioni molto diverse. Per la famiglia FM-D l'attesa raggiunge 8,6 giorni, contro 3,4 e 3,9 giorni nelle altre famiglie, e l'86,5% degli ordini supera i 5 giorni, rispetto a circa il 30% nel resto dei casi. Pur rappresentando solo 74 ordini su 472, FM-D genera il 35% delle attese lunghe dell'intero log. La media complessiva nasconde quindi una criticità fortemente concentrata su una specifica famiglia di macchine.

famiglia	ordini	gg lav	gg sol	quota oltre 5 gg lav	quota sul totale delle attese lunghe
FM-A	125	3,9	5,5	32,8%	22,4%
FM-B	149	3,5	5,0	28,9%	23,5%
FM-C	124	3,4	4,8	28,2%	19,1%
FM-D	74	8,6	11,9	86,5%	35,0%
totale	472	4,4	6,2	38,8%	100,0%

Tabella 4.11: Attesa fra ordine e ricezione dei ricambi, per famiglia di macchina. Elaborazione propria mediante PM4Py.

La coda di pianificazione presenta invece un problema di interpretazione. Nell'area Nord l'attesa media è pari a 5,6 giorni, contro 3,0 al Centro e 3,2 al Sud, un risultato che potrebbe essere inizialmente ricondotto a un problema locale di capacità. Escludendo però i casi con ordine ricambi, nei quali l'attesa incorpora anche il tempo di approvvigionamento, i valori scendono a 4,7 giorni al Nord, 1,8 al Centro e 1,4 al Sud, con un'inversione della graduatoria tra Centro e Sud. Parte della differenza osservata tra le aree dipende quindi dalla composizione dei casi e non dalla sola capacità disponibile.

Il divario del Nord rimane comunque evidente anche dopo questa correzione, e il log consente di approfondirne l'origine. Le tre aree dispongono dello stesso organico, pari a 6 tecnici ciascuna, con una composizione per esperienza pressoché identica. Il carico di lavoro è invece molto diverso: 82,7 interventi per tecnico al Nord, 63,8 al Centro e 38,0 al Sud, con un rapporto di 2,18 volte tra il valore più alto e quello più basso. All'interno

di ciascuna area la distribuzione degli interventi tra i tecnici è relativamente omogenea, con rapporti tra minimo e massimo compresi tra 1,26 e 1,53. Lo squilibrio emerge quindi soprattutto tra territori, più che tra singoli tecnici, e riflette un organico distribuito in modo uniforme a fronte di una domanda che uniforme non è.

Il caso mostra in modo coerente con la letteratura il contributo del performance mining. La separazione tra lavorazione e attesa consente di individuare la componente su cui intervenire, la localizzazione sulle transizioni restringe l'analisi ai principali punti di accumulo e la disaggregazione permette di ricondurre le differenze osservate a una specifica famiglia di ricambi o a uno squilibrio di carico tra territori. Le evidenze ottenute assumono quindi una valenza operativa, non soltanto descrittiva.

Ciascuna di queste indicazioni dipende però da decisioni assunte prima della misurazione. Il punto finale del processo determina quale sia il principale collo di bottiglia: il ritardo amministrativo è rilevante nel lead time completo, ma scompare se l'attenzione è posta sul fermo macchina. Il calendario determina se lo stesso intervallo venga letto come 98 o 329 ore, mentre il livello di aggregazione stabilisce se l'attesa dei ricambi appaia come un problema diffuso o come una criticità concentrata su una specifica famiglia di macchine.

Queste decisioni non discendono automaticamente dai dati e precedono l'analisi. Il performance mining consente di misurare il tempo con precisione, ma stabilire quale tempo sia rilevante resta una scelta che richiede conoscenza del processo e dei suoi obiettivi.

4.4 Cosa distingue i casi che si ripetono

La quarta domanda gestionale chiede cosa distingua le chiamate risolte al primo intervento da quelle che richiedono una seconda uscita. Come discusso nel paragrafo 2.3, la variants analysis consente di confrontare gruppi di casi caratterizzati da esiti differenti e di individuare le caratteristiche associate alla loro diversa evoluzione. Il caso applicativo mostra come questo confronto permetta di superare la lettura del comportamento medio e di ricondurre le differenze osservate a fattori che possono collocarsi anche a monte dell'esito misurato.

4.4.1 Il fenomeno e i fattori associati

Il first-time fix rate è pari all'88,0% sui 988 casi in cui un tecnico è effettivamente intervenuto e al 90,1% considerando tutte le 1.200 chiamate del log. La differenza deriva dai 212 casi risolti in remoto, nei quali nessun intervento ha avuto luogo ma che, nel secondo calcolo, entrano comunque nel numeratore. Lo scarto di circa due punti percentuali dipende quindi dalla scelta del denominatore e non da una diversa prestazione del servizio. Il tasso di ritorno complementare, calcolato sui soli casi con intervento, è pari al 12,0%, corrispondente a 119 chiamate.

denominatore	n	numeratore	tasso	intervallo di confidenza 95%
casi con almeno un intervento on site	988	869	88,0%	85,8% - 89,8%
tutti i casi del log	1.200	1.081	90,1%	88,3% - 91,6%

Tabella 4.12: First-time fix rate sui due denominatori. Elaborazione propria mediante PM4Py.

I 119 ritorni comprendono due situazioni differenti. In 90 casi la seconda uscita avviene mentre la chiamata è ancora aperta; nei restanti 29, invece, si verifica dopo la chiusura tecnica ed è quindi riconducibile alla riapertura già osservata nel paragrafo precedente. L'indicatore aggrega entrambe le situazioni, pur avendo esse implicazioni diverse: nel primo caso il processo prosegue, nel secondo una chiamata già dichiarata risolta viene riaperta.

Il confronto tra i due gruppi è stato condotto su sei attributi di caso, confrontando ciascun livello con il resto della popolazione. Il fattore che mostra la differenza più marcata è l'omissione della diagnosi remota: in sua assenza il tasso di ritorno passa dall'8,7% al 47,1%, con uno scarto di 38,5 punti percentuali. La classe di esperienza presenta invece un effetto più contenuto, con i tecnici junior al 15,8% rispetto al 10,0%

dei tecnici di livello medio e al 10,6% dei senior. Priorità della chiamata, tipo di copertura, area geografica, famiglia di macchina e necessità di ricambi non mostrano differenze rilevanti.

attributo / livello	n	ritorni	tasso	IC 95%	scarto (punti %)	z	esito
priorità							
alta	214	24	11,2%	7,7% - 16,1%	-1,1	-0,42	trascurabile
bassa	268	32	11,9%	8,6% - 16,4%	-0,1	-0,06	trascurabile
media	506	63	12,5%	9,9% - 15,6%	+0,8	0,40	trascurabile
tipo_copertura							
contratto	559	77	13,8%	11,2% - 16,9%	+4,0	1,91	trascurabile
fuori contratto	199	22	11,1%	7,4% - 16,2%	-1,2	-0,48	trascurabile
garanzia	230	20	8,7%	5,7% - 13,0%	-4,4	-1,78	trascurabile
area							
Nord	444	52	11,7%	9,0% - 15,0%	-0,6	-0,29	trascurabile
Centro	340	43	12,6%	9,5% - 16,6%	+0,9	0,42	trascurabile
Sud	204	24	11,8%	8,0% - 16,9%	-0,4	-0,14	trascurabile
famiglia_macchina							
FM-A	283	37	13,1%	9,6% - 17,5%	+1,4	0,63	trascurabile
FM-B	292	34	11,6%	8,5% - 15,8%	-0,6	-0,25	trascurabile
FM-C	265	31	11,7%	8,4% - 16,1%	-0,5	-0,20	trascurabile
FM-D	148	17	11,5%	7,3% - 17,6%	-0,7	-0,23	trascurabile
ricambio_necessario							
vero	396	45	11,4%	8,6% - 14,9%	-1,1	-0,54	trascurabile
falso	592	74	12,5%	10,1% - 15,4%	+1,1	0,54	trascurabile
classe_esperienza							
junior	316	50	15,8%	12,2% - 20,3%	+5,6	2,50	SOSTANZIALE
medio	350	35	10,0%	7,3% - 13,6%	-3,2	-1,46	trascurabile
senior	322	34	10,6%	7,7% - 14,4%	-2,2	-1,00	trascurabile
diagnosi_remota							
eseguita	901	78	8,7%	7,0% - 10,7%	-38,5	-10,53	SOSTANZIALE
omessa	87	41	47,1%	37,0% - 57,5%	+38,5	10,53	SOSTANZIALE

Tabella 4.13: Tasso di ritorno per livello di ciascun attributo, sui 988 casi con intervento.

Elaborazione propria mediante PM4Py.

Il fattore che discrimina maggiormente i due gruppi non riguarda quindi le caratteristiche della chiamata né, in prima battuta, la competenza del tecnico field, ma un'attività omessa prima del suo coinvolgimento e in una funzione diversa da quella su cui l'indicatore viene misurato. L'omissione della diagnosi avviene infatti nel secondo livello tecnico, mentre il suo effetto si manifesta sull'esito dell'intervento on site. Una lettura del first-time fix rate limitata all'area o alla squadra field rischierebbe quindi di evidenziare il problema nel punto in cui si manifesta, senza mostrarne l'origine a monte.

4.4.2 La solidità dell'associazione

Una differenza di 38 punti percentuali su un solo fattore richiede un controllo prima di essere interpretata come evidenza rilevante. Il rischio è che l'omissione della diagnosi non rappresenti il fattore effettivamente associato al ritorno, ma rifletta altre

caratteristiche dei casi, ad esempio una maggiore complessità del guasto o una concentrazione in aree con criticità specifiche.

Il controllo è stato condotto in due passaggi. Il primo confronta la composizione dei due gruppi rispetto agli attributi disponibili e non evidenzia squilibri marcati: le chiamate senza diagnosi non risultano più urgenti né concentrate su una specifica famiglia di macchine o area geografica. Il secondo ripete il confronto all'interno di gruppi omogenei per priorità, copertura, area, famiglia di macchina, necessità di ricambi ed esperienza del tecnico. In tutti i 18 strati esaminati la direzione della differenza resta invariata e, nei sette con numerosità sufficiente per una valutazione affidabile, l'effetto si conferma sostanziale.

grandezza	valore	base di calcolo
strati esaminati	18	6 attributi, tutti i loro livelli
strati con scarto nello stesso verso	18 su 18	verso: tasso più alto senza diagnosi
strati con numerosità sufficiente (min ≥ 30 per gruppo)	7	18 strati esaminati
di questi, con differenza sostanziale	7 su 7	7 strati ammessi
strati esclusi per numerosità	11	18 strati esaminati

Tabella 4.14: Sintesi della verifica di non spuriousità dell'associazione. Elaborazione propria mediante PM4Py.

Restano due precisazioni da considerare. La prima riguarda il numero di confronti effettuati, pari a 38: con questa numerosità aumenta la probabilità che almeno un risultato significativo emerga per effetto del caso. L'associazione con l'omissione della diagnosi rimane comunque robusta anche applicando criteri correttivi per confronti multipli, mentre l'effetto della classe di esperienza è più debole e va interpretato come indicazione, non come evidenza conclusiva. La seconda riguarda la natura dell'associazione, che non è deterministica: il 52,9% delle chiamate senza diagnosi si risolve comunque alla prima uscita. L'omissione è quindi associata a una maggiore probabilità di ritorno, ma non lo determina necessariamente.

4.4.3 Il peso del fenomeno

Stabilito il fattore associato, resta da misurarne l'impatto. I casi con ritorno presentano un lead time completo medio di 16,3 giorni lavorativi, contro 10,2 nei casi risolti alla prima uscita, e un fermo macchina di 12,7 giorni contro 6,7. Su quest'ultima misura, più direttamente legata alla durata del disservizio per il cliente, il rapporto è pari a 1,89. La differenza non si esaurisce nella seconda uscita: i casi con ritorno richiedono un ordine

di ricambi nel 78,2% dei casi, contro il 40,4% di quelli risolti al primo intervento, aumentando ulteriormente l'esposizione ai tempi di approvvigionamento già analizzati nel paragrafo precedente.

misura	risolti al primo intervento	con ritorno	differenza	rapporto
numerosità	869	119	-	-
lead time completo (gg lav)	10,2	16,3	6,1	1,60x
fermo macchina (gg lav)	6,7	12,7	6,0	1,89x
numero di attività per caso	8,20	10,33	2,13	1,26x
numero di interventi on site	1,00	2,00	1,00	2,00x
casi con ordine ricambi	40,4%	78,2%	37,8 punti	1,93x

Tabella 4.15: Confronto fra casi risolti al primo intervento e casi con ritorno. Elaborazione propria mediante PM4Py.

Complessivamente, i 119 casi con ritorno generano 728 giorni lavorativi di lead time aggiuntivo rispetto ai casi risolti alla prima uscita. Tra i fenomeni emersi nell'analisi, il ritorno del tecnico combina quindi una numerosità relativamente contenuta con un impatto temporale particolarmente elevato.

La variants analysis ha svolto il ruolo attribuitole dalla letteratura: ha separato i casi per esito, confrontato i due gruppi sulle caratteristiche disponibili e individuato un fattore fortemente associato alla differenza osservata. Ha inoltre consentito di verificare che tale fattore non fosse semplicemente il riflesso di altre caratteristiche dei casi, distinguendo così un'associazione più solida da una possibile coincidenza.

Ciò che l'analisi non dimostra è il meccanismo causale. L'ipotesi che l'omissione della diagnosi aumenti il rischio di ritorno è coerente con i dati e con il funzionamento del processo, ma resta un'ipotesi: l'analisi mostra che i due fenomeni si accompagnano, non che il primo causi necessariamente il secondo. Una verifica causale richiederebbe di intervenire sul processo di diagnosi e misurare gli effetti successivi, chiudendo il ciclo delineato nel paragrafo 1.4.

La questione più rilevante riguarda infine il punto in cui il fenomeno viene misurato rispetto a quello in cui può avere origine. Il first-time fix rate è un indicatore riferito ai tecnici field, mentre il fattore maggiormente associato al peggioramento emerge nel secondo livello tecnico. Un sistema di misurazione organizzato per funzione rischierebbe quindi di registrare il problema dove si manifesta senza rendere evidente il contributo delle decisioni prese a monte. È il limite della lettura per unità organizzativa

discusso nel paragrafo 1.2, che nel caso applicativo emerge come risultato dell'analisi anziché come sola considerazione teorica.

4.5 La visibilità come esito di decisioni

I quattro paragrafi precedenti hanno risposto a domande diverse attraverso tecniche differenti. Rileggendoli insieme emerge però un elemento comune: in ciascun caso il risultato dipende da una decisione assunta prima di eseguire l'analisi, e nessuna di queste decisioni è puramente tecnica.

Nella discovery, la decisione riguarda la soglia di copertura. Il modello costruito sull'80% dei casi risulta più leggibile di quello costruito sull'intero log, e la differenza non dipende dalla qualità dell'algoritmo, ma dalla quota di comportamento che si accetta di non rappresentare. La soglia determina quindi quale parte del processo entra nella rappresentazione utilizzata nelle analisi successive e, nel caso applicativo, il comportamento escluso concentrava il 95% dei comportamenti introdotti nel log.

Nel conformance checking, la decisione riguarda il modello normativo. Il metodo misura la distanza tra esecuzione e riferimento, ma il riferimento è a sua volta una ricostruzione di chi conduce l'analisi. La prima versione del modello conteneva lacune che avrebbero attribuito agli operatori 136 scostamenti generati invece dal modello stesso, senza che le metriche aggregate segnalassero il problema.

Nell'analisi delle performance le decisioni sono tre. Il punto in cui il processo termina determina quale sia il principale collo di bottiglia e, tra lead time completo e fermo macchina, la risposta cambia radicalmente. Il calendario determina se lo stesso intervallo venga letto come 98 o 329 ore. Il livello di aggregazione stabilisce infine se l'attesa per i ricambi appaia come un problema diffuso o come una criticità concentrata su una sola famiglia di macchine.

Nell'analisi delle varianti, la decisione riguarda il denominatore. Il first-time fix rate assume un valore pari all'88,0% o al 90,1% a seconda che si considerino i soli casi con intervento o tutte le chiamate del log. La differenza deriva quindi da una scelta di perimetro e non da una diversa prestazione del servizio.

Queste decisioni presentano tre caratteristiche comuni. Precedono l'analisi e non possono quindi essere corrette semplicemente osservando i risultati a valle. Non sono direttamente visibili nell'output, che mantiene la stessa forma indipendentemente dalle scelte compiute a monte. Infine, possono ammettere più di una soluzione metodologicamente difendibile: misurare il fermo macchina anziché il lead time

completo non è più corretto in assoluto, ma risponde a una domanda gestionale differente.

Ne deriva un criterio operativo: se il risultato dipende da una decisione e questa non è ricostruibile dal risultato stesso, la scelta deve essere dichiarata insieme al dato. È la ragione per cui il paragrafo 3.6 documenta la configurazione della pipeline e i controlli sul log, e per cui ciascuna delle quattro analisi ha esplicitato il proprio perimetro. Un valore riportato senza chiarire le condizioni in cui è stato calcolato rimane difficilmente interpretabile e verificabile, anche quando il calcolo è corretto.

Resta infine la questione di chi debba assumere queste decisioni. Stabilire dove termini il processo, quale procedura utilizzare come riferimento o quali casi includere nel denominatore di un indicatore richiede conoscenza del processo e responsabilità rispetto ai suoi obiettivi. Sono attribuzioni che il paragrafo 1.2 riconduce alla governance e che il paragrafo 2.4 identifica come condizioni organizzative dell'adozione. L'analista può condurre l'analisi, ma non può definire autonomamente quale processo e quale performance debbano essere misurati.

Questa considerazione ha una conseguenza pratica anche nell'uso degli strumenti. Le piattaforme di Process Mining applicano valori predefiniti a soglie, filtri, perimetri e indicatori, producendo risultati che possono non rendere immediatamente visibili le scelte incorporate nella configurazione. Anche un valore predefinito rappresenta quindi una decisione: semplicemente, è stata assunta a monte dello strumento e rischia di rimanere implicita per chi interpreta il risultato.

4.6 Dall'analisi all'intervento

I paragrafi precedenti hanno prodotto insight sulle principali criticità del processo. Tradurli in azione richiede però passaggi ulteriori, che l'analisi non compie autonomamente. Come discusso nel paragrafo 2.5, discovery, conformance checking e performance analysis individuano problemi e possibili cause, ma il loro valore dipende dalla capacità di trasformare tali evidenze in interventi.

Questo passaggio richiede tre valutazioni. La prima riguarda il beneficio atteso, stimato attraverso un controfattuale che esplicita cosa potrebbe accadere se il fenomeno individuato venisse ridotto o eliminato. La seconda riguarda i trade-off, poiché il miglioramento di una dimensione può comportare costi su un'altra. La terza riguarda la prioritizzazione, che deve considerare congiuntamente beneficio, fattibilità e coerenza con gli obiettivi del processo.

Le stime seguenti sono espresse in casi e giorni lavorativi, senza tradurle in valore monetario. Una monetizzazione richiederebbe infatti parametri non presenti nel log, come il costo di un'uscita del tecnico o del fermo macchina. Introdurli arbitrariamente attribuirebbe a un'assunzione la forma di un risultato.

4.6.1 Il ripristino della diagnosi remota

L'analisi delle varianti ha individuato nell'omissione della diagnosi remota il fattore maggiormente associato al ritorno del tecnico: il tasso passa dall'8,7% nei casi con diagnosi al 47,1% in quelli senza. Un possibile intervento consiste quindi nel rendere la diagnosi un passaggio obbligatorio prima della pianificazione dell'uscita, introducendo un vincolo procedurale anziché una semplice raccomandazione.

Il controfattuale applica agli 87 casi senza diagnosi il tasso di ritorno osservato nei casi in cui questa viene eseguita. A fronte di 41 ritorni osservati, ne risultano attesi 7,5, con una differenza di 33,5 ritorni potenzialmente evitabili. Applicando il sovraccarico medio dei casi con ritorno, pari a 6,4 giorni lavorativi, il beneficio stimato è di 214,2 giorni, corrispondenti all'1,81% del lead time complessivo del log.

La stima poggia su due assunzioni. La prima è che ciascun ritorno evitato liberi il sovraccarico medio osservato nel gruppo. La seconda è che il tasso dei casi con diagnosi sia applicabile anche a quelli in cui questa è stata omessa. La verifica di composizione

svolta nel paragrafo 4.4 rende questa seconda ipotesi plausibile, ma non consente di dimostrarla.

L'intervento presenta inoltre un trade-off: rendere obbligatoria la diagnosi aggiunge un passaggio a tutte le chiamate per ridurre un problema che riguarda solo una parte di esse. Il beneficio atteso in termini di qualità e prevedibilità deve quindi essere valutato rispetto alla minore flessibilità operativa.

4.6.2 L'attesa dei ricambi sulla famiglia FM-D

L'analisi delle performance ha mostrato che l'attesa media dei ricambi nasconde una criticità concentrata sulla famiglia FM-D, per la quale il tempo medio raggiunge 8,6 giorni lavorativi contro circa 3,6 nelle altre famiglie. Un possibile intervento consiste quindi nel ridurre il divario attraverso una maggiore disponibilità locale dei componenti ricorrenti o condizioni di fornitura dedicate.

Portando l'attesa media di FM-D al riferimento di 3,6 giorni, il differenziale è di 5,0 giorni per ordine. Sui 74 ordini interessati, il recupero complessivo stimato è di 367,6 giorni lavorativi. I casi coinvolti sono 70 e il loro fermo macchina medio scenderebbe da 13,5 a 8,2 giorni, con una riduzione del 39,0%. Considerando invece l'intero log, la riduzione del fermo complessivo sarebbe pari al 4,79%. Lo stesso intervento appare quindi molto rilevante sul gruppo interessato e più contenuto quando osservato a livello aggregato.

La stima assume che la riduzione dell'attesa si traduca integralmente in una riduzione del fermo macchina e che le altre famiglie mantengano le performance attuali. La prima ipotesi è sostenuta dal fatto che tutti gli ordini ricadono all'interno della finestra di fermo e che nel log non sono presenti sovrapposizioni tra attività dello stesso caso.

Il trade-off è diverso da quello precedente: ridurre l'attesa richiede maggiori scorte o condizioni di fornitura più onerose e comporta quindi uno scambio tra tempo e costo.

Dimensione	Diagnosi remota	Ricambi FM-D
Risultato di riferimento	Analisi delle varianti	Analisi delle performance
Beneficio stimato	214,2 giorni lavorativi	367,6 giorni lavorativi

Casi interessati	87	70
Effetto sul perimetro ristretto	33,5 ritorni evitati su 41	fermo da 13,5 a 8,2 giorni
Effetto sull'aggregato	1,81% del lead time totale	4,79% del fermo totale
Leva	standardizzazione	approvvigionamento
Dimensione migliorata	qualità	tempo
Trade-off principale	flessibilità	costo

Tabella 4.16: Confronto fra i due interventi candidati. Elaborazione propria.

4.6.3 La priorità e ciò che il beneficio non cattura

Considerando il solo beneficio temporale stimato, l'intervento sui ricambi presenta un impatto maggiore. Il confronto non è però sufficiente per stabilire una priorità. Il ripristino della diagnosi agisce su una causa organizzativa interna e richiede principalmente una modifica procedurale; l'intervento sui ricambi riguarda invece un gruppo più circoscritto di casi e richiede risorse economiche, attraverso maggiore stock o una rinegoziazione delle condizioni di fornitura.

I due effetti possono inoltre sovrapporsi. I casi con ritorno ordinano ricambi nel 78,2% delle occorrenze, contro il 40,4% dei casi risolti alla prima uscita. Ridurre i ritorni potrebbe quindi ridurre anche parte degli ordini successivi e, di conseguenza, una quota del beneficio attribuito separatamente all'intervento sui ricambi. Le due stime non devono quindi essere interpretate come benefici pienamente additivi.

Esiste infine un terzo intervento che una valutazione basata esclusivamente sul tempo non selezionerebbe. La verifica della copertura contrattuale è omessa in 52 casi e si concentra sulle chiamate ad alta priorità, dove raggiunge il 15,4%. Il confronto tra casi con e senza verifica non evidenzia differenze significative né nel lead time né nel fermo macchina, e gli intervalli di confidenza rimangono compatibili con un effetto nullo.

L'assenza di un impatto temporale non rende però irrilevante lo scostamento. Eseguire un intervento senza aver verificato la copertura espone l'organizzazione a un rischio di fatturazione o contestazione che il lead time non misura. Un criterio di prioritizzazione fondato esclusivamente sui giorni recuperabili tenderebbe quindi a escludere questo

intervento non perché privo di valore, ma perché la metrica utilizzata non ne rappresenta il beneficio.

La scelta tra gli interventi richiede quindi obiettivi di processo definiti a monte e un confronto tra benefici di natura diversa. I risultati dell'analisi possono quantificare alcune conseguenze e rendere espliciti i trade-off, ma non sostituiscono la decisione manageriale su quali dimensioni della performance debbano essere privilegiate.

4.7 Cosa il caso mostra e cosa non mostra

Il paragrafo 3.7 ha dichiarato i principali limiti derivanti dal disegno del caso prima dell'avvio delle analisi. Nel corso dell'esecuzione ne sono emersi altri, mentre alcuni dei limiti già individuati hanno mostrato conseguenze che non erano osservabili in fase di progettazione. Questo paragrafo distingue quindi ciò che l'analisi ha fatto emergere da ciò che, per costruzione, il caso non è in grado di mostrare.

4.7.1 Limiti emersi dall'analisi

Il primo limite riguarda la stabilità delle diagnostiche prodotte dagli allineamenti. Quando più allineamenti presentano lo stesso costo minimo, possono esistere soluzioni alternative equivalenti e, nel caso applicativo, l'attribuzione delle deviazioni alle singole attività non è risultata sempre stabile tra le esecuzioni. Il fenomeno riguarda i 68 casi di inversione tra chiusura tecnica e fatturazione: il numero complessivo rimane invariato, mentre cambia la ripartizione dello scostamento tra le due attività. Una classifica basata sulle singole attività risulterebbe quindi instabile, mentre la lettura per fenomeno resta coerente. L'anomalia è emersa soltanto ripetendo più volte l'analisi sugli stessi dati e non sarebbe stata evidente osservando una singola esecuzione.

Il secondo limite riguarda il modello normativo. Il paragrafo 3.7 aveva già segnalato l'assenza di una validazione con i responsabili di processo; l'analisi ne mostra le conseguenze concrete. La prima versione del modello attribuiva agli operatori 136 scostamenti che dipendevano invece da lacune nella rappresentazione della procedura. Né la fitness, né la quota di conformità, né la verifica di soundness segnalavano il problema. Il limite metodologico dichiarato in fase di disegno assume quindi un peso maggiore quando se ne osservano gli effetti sui risultati.

Il terzo limite riguarda il comportamento ammesso dal modello ma mai osservato nel log. Il controllo restituisce un esito quasi nullo: tutte le attività risultano eseguite, nessun ramo resta inutilizzato e solo uno dei 17 collegamenti ammessi non compare nei dati. Questo dipende dal fatto che il modello normativo è stato costruito a partire dalla stessa procedura utilizzata per generare il processo, senza la stratificazione storica che nelle organizzazioni reali può creare distanza tra regola scritta e pratica effettiva. Di conseguenza, questa dimensione del conformance checking rimane poco osservabile nel caso applicativo.

Il quarto limite riguarda la natura del risultato ottenuto dalla variants analysis.

L'associazione tra omissione della diagnosi e ritorno del tecnico risulta robusta rispetto alla stratificazione, ma resta correlazionale: l'analisi mostra che i due fenomeni si accompagnano, non che il primo causi il secondo. Inoltre, i 38 confronti effettuati richiedono prudenza nell'interpretazione dell'effetto della classe di esperienza, che non supererebbe una soglia corretta per la molteplicità dei test e va quindi considerato come un'indicazione. Un secondo esito della stessa natura riguarda la verifica di copertura contrattuale, il cui confronto sui tempi non restituisce alcuna differenza. Il risultato è interpretabile perché la numerosità consente di escludere effetti superiori a due giorni lavorativi, ma su gruppi più piccoli lo stesso confronto non avrebbe permesso alcuna conclusione.

4.7.2 Cosa il caso non può mostrare

Restano validi i limiti già dichiarati nel paragrafo 3.7: il costo di preparazione dei dati non è osservabile, i difetti tipici dei log reali sono assenti, il calendario è un'assunzione e alcune informazioni non sono ricostruibili perché un'attività non eseguita non lascia traccia nel log.

A questi si aggiunge un limite già anticipato nel paragrafo 2.5. Il caso non consente di valutare le condizioni organizzative dell'adozione, poiché non coinvolge un'organizzazione reale: ruoli, sponsorship e capacità di trasformare l'analisi in una pratica ricorrente restano fuori dal perimetro. Questo incide anche sulle decisioni discusse nel paragrafo precedente. Soglia di copertura, modello di riferimento, perimetro e denominatore sono stati definiti da un unico soggetto, mentre in un contesto reale sarebbero il risultato del confronto tra chi conduce l'analisi e chi ha responsabilità sul processo. Il caso può quindi mostrare che queste decisioni esistono e incidono sui risultati, ma non come vengano effettivamente assunte in un'organizzazione.

L'analisi resta inoltre a monte della verifica. Gli interventi discussi nel paragrafo precedente poggiano su controfattuali costruiti a partire dai dati osservati, con assunzioni dichiarate che l'analisi non dimostra, e la loro traduzione in valore economico richiede parametri di costo che il log non contiene. Nessuno dei tre interventi è stato attuato né misurato: il ciclo che il paragrafo 1.4 delinea si chiude

soltanto quando l'effetto dell'intervento viene osservato, e quel passaggio resta fuori dal caso.

4.7.3 Cosa il caso mostra

Le quattro domande gestionali formulate nel paragrafo 3.2 hanno ricevuto una risposta documentata. Il processo effettivamente eseguito è stato ricostruito e confrontato con quello progettato; gli scostamenti rispetto alle regole sono stati misurati e valutati anche in funzione della loro rilevanza; il tempo è stato scomposto e localizzato fino a individuare specifiche attese e uno squilibrio di carico tra territori; infine, i casi con ritorno del tecnico sono stati distinti da quelli risolti alla prima uscita e il principale fattore associato è stato verificato rispetto a possibili effetti di composizione.

Il capitolo ha inoltre reso esplicite le decisioni da cui queste risposte dipendono. È un risultato meno immediato, perché non emerge direttamente dagli output e richiede di modificare soglie, perimetri e criteri di valutazione per osservarne gli effetti. Proprio per questo, il caso mostra che la visibilità prodotta dal Process Mining non dipende soltanto dagli strumenti utilizzati, ma anche dalle scelte con cui l'analisi viene costruita.

CAPITOLO 5: CONCLUSIONI: LA VISIBILITÀ COME CONDIZIONE E COME ESITO

Il lavoro è partito da una domanda gestionale: cosa il Process Mining renda effettivamente visibile di un processo e a quali condizioni tale visibilità sia utilizzabile per decidere. I capitoli precedenti hanno costruito la risposta in due tempi: prima delimitando ciò che le tecniche rendono osservabile e i presupposti informativi e organizzativi su cui poggiano, poi verificando queste condizioni attraverso un caso applicativo sviluppato dalle domande gestionali fino ai risultati e ai possibili interventi.

Questo capitolo ricompone il percorso svolto. In primo luogo, richiama la logica che collega performance, governance, dati e Process Mining. Successivamente sintetizza ciò che il lavoro ha mostrato e ne chiarisce il contributo rispetto alla letteratura. Le conclusioni vengono quindi tradotte in alcune implicazioni per chi conduce le analisi e per chi utilizza i risultati, per chiudere con i limiti complessivi del lavoro e i possibili sviluppi futuri.

5.1 Il percorso e la domanda a cui risponde

Il lavoro è partito da una considerazione di fondo: il vantaggio di un'impresa non dipende soltanto da ciò che offre, ma anche da come esegue e coordina le attività che rendono possibile quell'offerta. La catena del valore di Porter, e in particolare il ruolo dei linkages, mostra che le attività sono interdipendenti e che ottimizzarle separatamente non garantisce un miglioramento complessivo. Il processo end-to-end emerge quindi come unità di analisi coerente, mentre la sua performance rappresenta il meccanismo attraverso cui il miglioramento operativo può tradursi in risultati economici.

Riconosciuta l'unità di analisi, il problema diventa governarla. Una struttura organizzata per funzioni può favorire forme di ottimizzazione locale, mentre una gestione end-to-end richiede ruoli dotati di authority e accountability effettive e un sistema di indicatori coerente con gli obiettivi strategici. Definire cosa misurare e chi ne risponde, tuttavia, non equivale ancora a sapere cosa accade realmente nell'esecuzione. Interviste, audit e reporting tradizionale restituiscono rappresentazioni necessariamente parziali o orientate al risultato, mentre i dati-evento generati dai sistemi informativi consentono di

ricostruire il processo effettivo, a condizione che siano sufficientemente completi, coerenti e accessibili.

L'ultimo anello riguarda l'intervento. Lean, BPR e Agile differiscono per ambizione e natura delle criticità affrontate, ma condividono un presupposto: senza visibilità end-to-end il miglioramento rischia di concentrarsi sui sintomi anziché sulle cause, e senza misurabilità i suoi effetti non possono essere verificati in modo sistematico.

Governance, evidenze e capacità di intervento risultano quindi interdipendenti, e il Process Mining si inserisce in questo quadro come strumento capace di collegare l'osservazione del processo alle successive decisioni di miglioramento.

Il secondo capitolo ha esaminato il Process Mining in prospettiva gestionale, traducendo le quattro tipologie di analisi in altrettante domande, chiarendo che l'event log non preesiste all'analisi ma viene costruito attraverso specifiche scelte progettuali e delimitando ciò che ciascuna tecnica rende visibile. Ne è emerso un quadro in cui il Process Mining risponde all'esigenza formulata nel primo capitolo, ma a condizioni che riguardano tanto i dati quanto l'organizzazione.

Il caso applicativo ha verificato concretamente queste condizioni. Il terzo capitolo ha costruito un event log sintetico a partire da quattro domande gestionali formulate prima della generazione dei dati, dichiarando le principali scelte relative a definizione del caso, perimetro, granularità, registrazione dei tempi e attributi. Il quarto ha quindi condotto le analisi, confrontando i risultati ottenuti con quanto discusso nella letteratura e mettendo in evidenza le condizioni necessarie per interpretarli correttamente.

La domanda che attraversa il lavoro non è quindi se il Process Mining funzioni, aspetto già ampiamente documentato, ma cosa renda effettivamente visibile e a quali condizioni tale visibilità possa essere utilizzata. È una domanda gestionale più che tecnica, perché riguarda l'utilizzabilità dell'evidenza prodotta, oltre alla correttezza degli strumenti che la generano. I paragrafi successivi riprendono la risposta costruita nel corso del lavoro, distinguendo ciò che il caso ha confermato da ciò che ha reso più complesso e chiarendo in che cosa consiste il contributo della tesi rispetto a quanto già stabilito in letteratura.

5.2 Cosa il lavoro ha stabilito

Il paragrafo ricava dai risultati del caso tre conclusioni di portata più generale, relative al rapporto tra le tecniche utilizzate, alle decisioni che condizionano l'esito dell'analisi e al ruolo di chi deve assumerle. Successivamente, chiarisce in che cosa consiste il contributo del lavoro rispetto a quanto già stabilito in letteratura.

5.2.1 Dai risultati alle affermazioni generali

Il caso applicativo ha fornito una risposta alle quattro domande gestionali formulate nel paragrafo 3.2. Il processo effettivamente eseguito differisce da quello progettato e genera 81 percorsi distinti. Le violazioni e gli scostamenti rilevati assumono forme diverse e non coincidono necessariamente con la loro rilevanza. Il tempo si concentra soprattutto nelle attese, che rappresentano il 94,4% della durata complessiva, mentre i casi con ritorno del tecnico mostrano un'associazione particolarmente forte con l'omissione della diagnosi remota, che porta il tasso di ritorno dall'8,7% al 47,1%.

Da questi risultati discendono tre affermazioni di portata più generale:

La prima riguarda il rapporto fra le quattro tecniche. Ciascuna produce un'evidenza parziale, che acquista maggiore utilità se letta insieme alle altre. La discovery ricostruisce il processo eseguito ma non distingue automaticamente il comportamento raro da quello rilevante: nel caso applicativo, il filtro che rende il modello più leggibile concentra nella parte esclusa il 95% dei comportamenti introdotti nel log. Il conformance checking individua gli scostamenti ma non ne stabilisce la gravità, e la deviazione più frequente è risultata priva di conseguenze operative rilevanti. L'analisi delle performance localizza dove il tempo si accumula, ma richiede ulteriori disaggregazioni per comprenderne l'origine. La variants analysis individua, infine, i fattori associati a un esito, senza dimostrare il meccanismo causale che li collega. Le quattro domande gestionali non rappresentano quindi prospettive alternative, ma angolature complementari la cui utilità aumenta quando vengono considerate congiuntamente.

La seconda affermazione riguarda ciò che determina il risultato. In ciascuna delle quattro analisi, l'esito dipende da una decisione assunta prima della misurazione e non direttamente visibile nell'output. Il modello scoperto varia con la soglia di copertura, e

tra il 70% e il 95% la precisione passa da 1,000 a 0,576. Gli scostamenti dipendono dal modello normativo, la cui prima versione attribuiva agli operatori 136 deviazioni dovute invece a lacune della ricostruzione. Il principale collo di bottiglia cambia a seconda del punto in cui si considera concluso il processo, mentre il first-time fix rate assume valori pari all'88,0% o al 90,1% in funzione del denominatore adottato. Nessuna di queste decisioni discende automaticamente dai dati: tutte precedono l'analisi e possono ammettere più di una scelta metodologicamente difendibile.

La terza affermazione riguarda chi debba assumere queste decisioni. Stabilire dove termina il processo, quale procedura utilizzare come riferimento e quali casi includere nel denominatore di un indicatore richiede conoscenza del processo e responsabilità sui suoi obiettivi, cioè attribuzioni riconducibili alla governance discussa nel paragrafo 1.2. L'analista può condurre l'analisi, ma non definire autonomamente quale processo misurare senza sostituirsi a un ruolo decisionale diverso dal proprio. Il caso ne offre un esempio concreto: l'omissione della diagnosi remota si manifesta come peggioramento del first-time fix rate dei tecnici field, pur avendo origine in un'altra funzione. Una lettura limitata alla singola unità organizzativa rischierebbe quindi di mostrare il problema nel punto in cui si manifesta, senza evidenziarne l'origine.

5.2.2 Il contributo del lavoro

Rispetto a quanto già stabilito in letteratura, la tesi aggiunge tre elementi.

Il primo riguarda l'impostazione. La letteratura raccomanda un approccio guidato dalle domande, mentre nella pratica l'analisi può essere condizionata dalla struttura dei dati già disponibili e dalle tecniche applicabili. Il caso qui costruito segue invece esplicitamente una logica question-driven: le quattro domande gestionali sono state formulate prima della generazione dei dati e il disegno dell'event log è stato costruito in funzione di esse. La corrispondenza con le quattro tipologie di analisi è stata individuata solo successivamente, evitando che fossero le tecniche disponibili a determinare le domande da affrontare.

Il secondo riguarda il risultato principale. La letteratura riconosce che le scelte di perimetro e configurazione influenzano l'analisi; il lavoro ne documenta concretamente gli effetti attraverso quattro decisioni: diverse soglie di copertura confrontate sulle

stesse metriche, due versioni del modello normativo, due misure di lead time e due denominatori dello stesso indicatore. In ciascun caso, l'impatto della scelta viene quantificato, trasformando un'avvertenza metodologica in un risultato osservabile e verificabile.

Il terzo riguarda la pratica analitica. I risultati sono accompagnati da verifiche di robustezza che rafforzano l'interpretazione degli output: l'analisi di conformità è stata ripetuta cinque volte per verificare la stabilità delle diagnostiche, l'associazione principale è stata controllata attraverso una stratificazione su 18 livelli, ed è stata esplicitamente considerata la molteplicità dei confronti effettuati. È stato inoltre discusso un risultato nullo attraverso gli intervalli di confidenza, anziché limitarne l'interpretazione alla sola significatività statistica. Le tecniche impiegate sono standard e il contributo non è metodologico in senso stretto, ma risiede nel modo in cui sono state combinate e utilizzate per sottoporre i risultati a verifiche successive prima della loro interpretazione.

5.3 Implicazioni per la pratica

Le tre affermazioni del paragrafo precedente hanno conseguenze operative sia per chi conduce un'analisi di Process Mining sia per chi ne utilizza i risultati. Le implicazioni riguardano responsabilità diverse e conviene quindi mantenerle distinte.

1. Per chi conduce l'analisi:

- a. **L'ordine del lavoro:** formulare le domande prima di esaminare i dati disponibili non è soltanto una raccomandazione metodologica, ma una scelta che determina il perimetro dell'analisi. Procedendo nell'ordine inverso, il rischio è che il perimetro finisca per coincidere con quello dei sistemi informativi disponibili e, quindi, con i confini organizzativi già esistenti. Nel caso applicativo, partire dalle domande ha inciso direttamente sulla definizione dell'unità di analisi: scegliere la chiamata anziché l'apparecchiatura o il contratto avrebbe infatti prodotto processi diversi e risposto a domande diverse.
- b. **Documentazione delle scelte:** un risultato è pienamente interpretabile solo se viene dichiarato anche il perimetro entro cui è stato calcolato. Questo vale per la soglia di filtraggio adottata, il log utilizzato per valutare una metrica, il punto in cui il processo viene considerato concluso e i casi inclusi nel denominatore di un indicatore. Nel caso applicativo, la stessa attesa può emergere come principale criticità del processo oppure perdere rilevanza a seconda del punto finale scelto, pur restando corretti entrambi i calcoli.
- c. **Verifica dei risultati prima di presentarli:** ripetere l'analisi sugli stessi dati, controllare che un'associazione non dipenda dalla composizione dei gruppi confrontati e verificare che il modello di riferimento non produca deviazioni prive di significato operativo sono controlli che possono modificare l'interpretazione dei risultati. Il caso più evidente è quello del modello normativo: la prima versione attribuiva agli operatori scostamenti che dipendevano invece da lacune del modello, senza che le metriche aggregate segnalassero il problema.

2. Per chi risponde del processo:

- a. **Attribuzione delle decisioni:** perimetro, modello di riferimento e definizione degli indicatori non sono semplici configurazioni tecniche, perché determinano ciò che l'organizzazione rende visibile del proprio processo. La responsabilità dovrebbe quindi ricadere su un ruolo con autorità sul processo end-to-end, coerentemente con quanto discusso nel paragrafo 1.2. In assenza di tale presidio, queste decisioni vengono comunque assunte, ma rischiano di essere separate dalla responsabilità sugli obiettivi del processo. È questo presidio a segnare il passaggio dal Process Mining alla Process Intelligence: in sua assenza le analisi possono essere condotte correttamente, ma restano episodiche e prive di un soggetto che ne assuma le premesse e ne utilizzi gli esiti.
- b. **lettura degli indicatori:** il caso mostra che un indicatore può peggiorare nel punto in cui il problema si manifesta, senza coincidere con il punto in cui ha origine. Il first-time fix rate dei tecnici field, ad esempio, risente dell'omissione di un'attività nel secondo livello di assistenza. Una lettura limitata alla singola unità organizzativa rischierebbe quindi di localizzare correttamente l'effetto ma non la causa, orientando l'intervento sulla funzione sbagliata.
- c. **Aspettative sull'analisi:** il Process Mining consente di individuare deviazioni, accumuli di tempo e fattori associati a esiti indesiderati, ma non stabilisce automaticamente quale problema debba essere affrontato per primo. La priorità richiede un giudizio sull'impatto coerente con gli obiettivi del processo. Nel caso applicativo, la deviazione più frequente è risultata priva di conseguenze operative rilevanti, mentre uno degli scostamenti con il profilo di rischio più netto era meno visibile nell'analisi standard.

3. Sull'uso degli strumenti:

- a. **Metodologia in cui i risultati vengono prodotti:** le piattaforme di Process Mining incorporano valori predefiniti per soglie, filtri, perimetri e indicatori, e tali configurazioni possono influenzare il risultato senza essere immediatamente visibili nell'output. Anche un valore predefinito rappresenta quindi una decisione metodologica, assunta a monte

dell'analisi. Riconoscere e documentare queste impostazioni è necessario affinché l'evidenza prodotta venga interpretata come risultato di specifiche scelte analitiche, e non come rappresentazione neutrale del processo.

5.4 Limiti del lavoro e sviluppi possibili

Il paragrafo distingue i limiti che condizionano la portata complessiva del lavoro dalle possibili direzioni di sviluppo che ne derivano. I primi riguardano scelte metodologiche compiute a monte del caso applicativo; i secondi indicano come tali limiti potrebbero essere affrontati in studi successivi. La sezione si chiude con una considerazione conclusiva sul percorso svolto e sulla risposta fornita alla domanda di ricerca.

5.4.1 Limiti del lavoro

I limiti del caso applicativo sono stati discussi nel paragrafo 4.7, distinguendo quelli emersi durante l'analisi da quelli già impliciti nel disegno. Restano da considerare i limiti del lavoro nel suo complesso, legati a scelte metodologiche compiute a monte e capaci di condizionarne la portata.

1. **Natura sintetica dei dati:** la scelta è stata motivata nel paragrafo 3.1, perché un log costruito consente di conoscere il processo che ha generato i dati e di verificare cosa l'analisi riesca a ricostruire. Il limite è che il caso non riproduce il lavoro di reperimento, trasformazione e riconciliazione delle fonti, che in un progetto reale rappresenta una parte rilevante dell'impegno complessivo. Il lavoro mostra quindi cosa il Process Mining renda visibile, ma non quanto costi arrivare a quella visibilità.
2. **Rinuncia alla valutazione economica:** gli interventi discussi nel paragrafo 4.6 sono quantificati in giorni lavorativi e casi, non in valore monetario. Una traduzione economica richiederebbe parametri, come il costo di un'uscita del tecnico o del fermo macchina per il cliente, che il log non contiene. Introdurli arbitrariamente avrebbe prodotto stime difficilmente difendibili. Il value case resta quindi incompleto rispetto al modello di Lehnert et al. (2016), che valuta il contributo dei progetti anche in termini economici.
3. **Assenza di un confronto fra strumenti:** il paragrafo 2.5 ha definito sei criteri di scelta e motivato l'adozione di PM4Py, ma un solo strumento è stato effettivamente utilizzato nel caso applicativo. I criteri restano quindi argomentati, ma non verificati attraverso un confronto empirico fra piattaforme.

Un confronto di questo tipo richiederebbe un progetto pilota condotto sugli stessi dati e sulle stesse domande.

4. **Condizioni organizzative dell'adozione:** il paragrafo 2.4 ha discusso il ruolo di governance, sponsorship, capability e gestione del cambiamento. Nessuna di queste condizioni è osservabile in un caso privo di un'organizzazione reale. Il lavoro può quindi descriverne la rilevanza sulla base della letteratura, ma non documentarne gli effetti sull'adozione e sull'utilizzo continuativo del Process Mining.

5.4.2 *Sviluppi possibili*

Tre direzioni discendono direttamente da questi limiti.

1. **Applicazione a dati reali:** un caso costruito su un log estratto da sistemi aziendali consentirebbe di osservare aspetti che il caso sintetico esclude per costruzione, come il lavoro di preparazione dei dati, i pattern di imperfezione documentati da Suriadi et al. (2017) e il comportamento previsto dalle procedure ma mai osservato nell'esecuzione. Quest'ultimo è risultato quasi assente nel caso applicativo, anche perché il modello normativo è stato costruito a partire dalla stessa procedura utilizzata per simulare il processo.
2. **Completamento del value case:** disponendo di parametri di costo aziendali, le stime prodotte nel paragrafo 4.6 potrebbero essere tradotte in valore economico e confrontate secondo il modello di Lehnert et al., includendo anche le interazioni tra interventi. La sovrapposizione tra riduzione dei ritorni e riduzione degli ordini di ricambi rappresenta, ad esempio, un'interdipendenza che una valutazione separata dei singoli interventi non riesce a cogliere pienamente.
3. **Limite strutturale della rappresentazione:** l'event log tradizionale rappresenta il processo attraverso un unico identificativo di caso, mentre molti processi reali coinvolgono più oggetti tra loro collegati. La scelta dell'unità di analisi determina quindi quali relazioni restino visibili. Gli approcci object-centric rappresentano una possibile evoluzione per processi in cui più oggetti coesistono, come nel caso dell'assistenza tecnica tra chiamata, apparecchiatura e contratto.

5.4.3 Considerazione conclusiva

Il lavoro è partito dalla domanda su cosa il Process Mining renda visibile e a quali condizioni. La risposta emersa dal caso è che questa visibilità è reale e documentabile, ma non dipende dallo strumento soltanto. È il risultato anche di decisioni assunte prima della misurazione, relative a ciò che viene incluso nel processo, al modello rispetto al quale viene valutato e ai casi considerati negli indicatori. Sono decisioni gestionali che precedono l'analisi e che non possono essere ricostruite pienamente osservando il solo risultato finale. È su queste decisioni, e sui ruoli chiamati ad assumerle, che si gioca il passaggio dalle tecniche alla Process Intelligence.

Il Process Mining rende quindi visibile il processo entro il perimetro e le regole con cui si è scelto di osservarlo.

Bibliografia

1. Adamczak, Michal, et al. "Digitalization trend and its influence on the development of the operational process in production companies." *Applied Sciences* 13.3 (2023): 1393.
2. Colotla, Ian, et al. "Today's good to great: Next-generation operational excellence." *McKinsey & Company*, January 19 (2024).
3. Kravchenko, O, M Leshchenko... "The digitalization as a global trend and growth factor of the modern economy". *SHS Web of ...*, 2019.
4. Porter, Michael E., and Victor E. Millar. "How information gives you competitive advantage." (1985): 149-174.
5. Porter, Michael E. *Competitive advantage: Creating and sustaining superior performance*. simon and schuster, 2008.
6. Hammer, Michael, and James Champy. *Reengineering the corporation: Manifesto for business revolution*, a. Zondervan, 2009.
7. Kaplan, Robert S., and David P. Norton. The balanced scorecard: measures that drive performance. Vol. 70. Boston, MA, USA: Harvard Business Review, 2005.
8. De Waal, Andre, et al. "Silo-busting: Overcoming the greatest threat to organizational performance." *Sustainability* 11.23 (2019): 6860.
9. Jurczuk, Arkadiusz. "Barriers to implementation of business process governance mechanisms." *Engineering Management in Production and Services*, vol. 13, n. 4, 2021, pp. 22-38. Sciendo, doi:10.2478/emj-2021-0029,.

10. Van Looy, Amy e Aygun Shafagatova. "Business process performance measurement: a structured literature review of indicators, measures and metrics." SpringerPlus, vol. 5, n. 1797, 2016. Springer, doi:10.1186/s40064-016-3498-1.
11. Kerpedzhiev, Georgi Dimov, et al. "An Exploration into Future Business Process Management Capabilities in View of Digitalization: GD Kerpedzhiev et al." *Business & Information Systems Engineering* 63.2 (2021): 83-96.
12. Martin, Niels, et al. "Opportunities and challenges for process mining in organizations: results of a Delphi study." *Business & Information Systems Engineering* 63.5 (2021): 511-527.
13. Suriadi, Suriadi, et al. "Event log imperfection patterns for process mining: Towards a systematic approach to cleaning event logs." *Information systems* 64 (2017): 132-150.
14. Claes, Jan, and Geert Poels. "Process mining and the ProM framework: an exploratory survey." *International conference on business process management*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012.
15. Dumas, Marlon, et al. *Fundamentals of business process management*. Vol. 1. Heidelberg: Springer, 2013.
16. Lehnert, Martin, Alexander Linhart, and Maximilian Röglinger. "Value-based process project portfolio management: integrated planning of BPM capability development and process improvement." *Business Research* 9.2 (2016): 377-419.
17. Grisold, Thomas, et al. "Adoption, use and management of process mining in practice." *Business Process Management Journal* 27.2 (2021): 369-387.
18. Van der Aalst, Wil M. P. *Process Mining: Data Science in Action*. 2nd ed., Springer, 2016
19. Reinkemeyer, Lars. "Status and future of process mining: from process discovery to process execution." *Process Mining Handbook*. Cham: Springer International Publishing, 2022. 405-415.

20. Van Eck, Maikel L., et al. "PM: a process mining project methodology." *International conference on advanced information systems engineering*. Cham: Springer International Publishing, 2015.
21. Van Der Aalst, Wil MP, and Josep Carmona. *Process mining handbook*. Springer Nature, 2022.
22. Berti, Alessandro, Sebastiaan J. Van Zelst, and Wil van der Aalst. "Process mining for python (PM4Py): bridging the gap between process-and data science." *arXiv preprint arXiv:1905.06169* (2019).
23. Drakoulogkonas, Panagiotis, and Dimitris Apostolou. "On the selection of process mining tools." *Electronics* 10.4 (2021): 451.
24. Accorsi, Rafael, and Julian Lebherz. "A practitioner's view on process mining adoption, event log engineering and data challenges." *Process mining handbook*. Cham: Springer International Publishing, 2022. 212-240.