POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale

in Ingegneria Gestionale Percorso Innovazione

A.A. 2020/2021

Sessione di Laurea luglio 2021

Progettazione e sviluppo di una soluzione per la visualizzazione e l'analisi dei dati di tracciabilità. Caso studio: azienda torinese produttrice di caffè tostato.

Relatore

Chiar.mo Prof. Maurizio Galetto

Candidata

Dalia Politi

ABSTRACT

Il presente elaborato di tesi ha come obiettivo principale lo studio della tracciabilità, nello specifico dei dati di tracciabilità che consentono di delineare l'intero ciclo di vita di un bene, dalla materia prima al prodotto finito. Attraverso l'analisi di una serie di articoli che hanno coinvolto sia la letteratura scientifica che un numero elevato di ricerche qualitative e quantitative sul tema, vengono esaminati i modelli e gli strumenti che possono essere utilizzati per effettuare la tracciabilità in maniera ottimale. In dettaglio, viene approfondita la blockchain, una delle tecnologie maggiormente utilizzate e diffuse nelle aziende all'avanguardia. Quest'ultima permette di immagazzinare, in maniera decentralizzata, qualsiasi tipo di informazione legata al prodotto e garantisce al contempo la sicurezza e l'immutabilità dei dati. La prospettiva futura è quella di sfruttare a pieno le potenzialità dell'intelligenza artificiale per tracciare i prodotti in maniera ottimale e garantire la continuità del legame tra il prodotto fisico e quello virtuale. Dopo un'attenta analisi di questi aspetti, viene approfondita la tematica sulla tracciabilità del prodotto-lotto tramite il caso studio incentrato su una famosa azienda torinese, produttrice di caffè tostato. L'obiettivo è progettare e sviluppare una soluzione ottimale che consenta di poter gestire, visualizzare e analizzare i dati di tracciabilità in tempo reale. Ciò viene realizzato tramite l'utilizzo di Power BI, individuato come strumento utile per risolvere le difficoltà dell'azienda. In particolare, per ogni blocco che rappresenta una macro-fase dell'intero percorso effettuato da un prodotto, sono implementate delle dashboard e dei report per visualizzare e analizzare i dati di tracciabilità raccolti in ogni singola fase. Infine, vengono suggerite nuove opportunità per rafforzare il sistema di tracciabilità attraverso l'impiego di alcune tecnologie di intelligenza artificiale che, integrate nel sistema aziendale, consentirebbero: una più agevole raccolta dei dati, maggiore trasparenza, garanzia di qualità e controllo sull'intera filiera.
Per concludere, tramite il caso studio, è possibile mettere in evidenza le opportunità derivanti dall'utilizzo della soluzione proposta all'azienda torinese produttrice di caffè tostato.

Sommario

ABSTRACT 1
INTRODUZIONE 4
CAPITOLO 1 7
1. LA TRACCIABILITÀ E LA RINTRACCIABILITÀ 7
1.1 La tracciabilità 7
1.2 La rintracciabilità 11
1.2.1 La rintracciabilità obbligatoria 13
1.2.2 La rintracciabilità volontaria 16
1.2.3 I costi della rintracciabilità 20
1.3 La tracciabilità oggi 22
CAPITOLO 2 24
2. MODELLI E STRUMENTI 24
2.1 Analisi dei modelli e strumenti tecnologici per la tracciabilità 24
2.1.1 Identificazione del prodotto tracciabile e tecnologie di implementazione 27
2.1.2 Quadro di riferimento 33
2.2 La Blockchain 36
2.2.1 Blockchain: logica di funzionamento 38
2.2.2 Tipologie di blockchain 45
2.2.3 Caratteristiche della blockchain 49
2.2.4 La tecnologia blockchain applicata alle funzioni della supply chain 50
2.2.5 Utilità della blockchain alla tracciabilità del prodotto alimentare 53
2.3 L'Intelligenza Artificiale 55
2.3.1 L'evoluzione dell'intelligenza artificiale 55
2.3.2 Mercato globale dell'intelligenza artificiale 59
2.3.3 Intelligenza artificiale: analisi del mercato manufatturiero italiano 61
2.3.4 Come migliorare e rafforzare la tracciabilità tramite l'intelligenza artificiale 63
2.3.5 Ottimizzazione dei costi e riduzione delle emissioni di CO_2 attraverso l'intelligenza artificiale 66
2.4 La Data Visualization 67
CAPITOLO 3 69
3. CASO STUDIO: AZIENDA TORINESE PRODUTTRICE DI CAFFE' TOSTATO 69
3.1 Le origini del caffè e il suo mercato globale 70
3.2 Analisi PEST - Modello di Hamel e Prahalad - Analisi delle cinque forze di Porter 75
3.3 Caso studio: problematica e soluzione 81
3.4 I macro-blocchi di una filiera produttiva 83
3.5 Analisi del caso studio 84

3.5.1 Tracciabilità distributiva: approvvigionamento materie prime 91
3.5.2 Tracciabilità distributiva: produzione, trasporto e vendita 95
3.5.3 Tracciabilità delle rilavorazioni - Conto lavoro 107
3.5.4 Tracciabilità: situazione corrente - monitoring 110
3.5.5 Ricerca avanzata per tracciabilità distributiva 115
3.5.6 Tracciabilità: ricava SSCC 117
3.6 I limiti di Power BI per l'azienda torinese 120
3.7 Intelligenza artificiale: opportunità per il sistema di tracciabilità dell'azienda torinese 121
CAPITOLO 4 126
4. CONCLUSIONI 126
BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA 128
RINGRAZIAMENTI 136

INTRODUZIONE

In un periodo di crescente attenzione verso misure che tutelino la salute pubblica, che migliorino la performance ambientale dei prodotti, che promuovano tecniche produttive sostenibili e pratiche innovative eco-compatibili, si è manifestata sempre di più l'esigenza per le imprese di rendere trasparenti i propri processi produttivi al fine di garantire la sicurezza e la qualità del prodotto offerto. In questo contesto, la **tracciabilità** assume un ruolo di fondamentale importanza. Essa rappresenta un obiettivo strategico in qualunque sistema organizzativo, in quanto consente di:

- consolidare la memoria dello storico, come gli accordi presi con i diversi fornitori, le scadenze di consegna dei prodotti, gli sconti concessi ai clienti e così via;
- condividere le informazioni e l'accesso ai dati in modo efficiente;
- avere una visione d'insieme, monitorando lo stato di avanzamento dei prodotti;
- sviluppare analisi sui diversi processi tramite report e dashboard per valutare se l'organizzazione sta andando nella direzione corretta.

Ne consegue che il successo di un'azienda risieda nella capacità di produrre prodotti sani e concorrere allo stesso tempo alla protezione dei propri dati. Il valore di un'azienda non è più costituito solamente da asset fisici, ma soprattutto dalle informazioni che estrae ed elabora dai dati aziendali. Le nuove tecnologie danno la possibilità di gestire grandi moli di dati provenienti da differenti fonti. È, dunque, fondamentale essere in grado di analizzare e interpretare in maniera corretta tutte le informazioni e i dati aziendali. La gestione dei dati assume un ruolo di rilevante importanza all'interno di un sistema di tracciabilità. La tracciabilità, oggi, non è più una prerogativa del solo settore alimentare ma è divenuta un'esigenza comune che comporta l'impiego di numerose tecnologie; dai più semplici RFID alla più complessa serializzazione. Per fare questo serve digitalizzare l'intera impresa: dai software analitici, all'IoT, alla blockchain e così via, per poter tracciare prodotti e processi aziendali. Questo porta innumerevoli benefici anche per i produttori, i quali possono controllare la provenienza della materia prima trattata e i diversi fornitori, evitando la contraffazione e gestendo i richiami dei prodotti.
Il seguente lavoro di tesi ha avuto origine dall'esperienza di stage svolta presso Cluster Reply e, in particolare, dalla partecipazione a un progetto per una famosa azienda torinese produttrice di caffè tostato. Durante questi mesi di tirocinio, mi sono occupata di esaminare il loro vecchio sistema di tracciabilità dei dati per comprenderne le modalità di gestione delle informazioni e valutare i limiti, al fine di creare una nuova soluzione in grado di offrire un sistema più efficace ed efficiente.
L'obiettivo di questo elaborato di tesi è lo **studio della tracciabilità del prodotto**, partendo dai concetti teorici per avere una panoramica più ampia possibile del contesto da analizzare fino ad arrivare alla progettazione e allo sviluppo di una soluzione ottimale che consenta di poter gestire, visualizzare e analizzare i dati di tracciabilità in tempo reale.
Per comprendere fino in fondo questo studio, la tesi viene suddivisa sostanzialmente in due parti:

- la *prima parte* prettamente teorica, la quale grazie alla revisione di una serie di *paper* che hanno coinvolto sia la letteratura scientifica che un numero elevato di ricerche qualitative e quantitative sul tema, consente di introdurre ed inquadrare l'argomento;
- la *seconda parte* incentrata sul caso studio, la quale grazie alle attività di stage svolte in azienda, ha permesso di concretizzare gli studi teorici nella realizzazione di una soluzione per la visualizzazione e l'analisi dei dati di tracciabilità.

Nello specifico, la parte teorica è composta da due capitoli. Il primo capitolo è incentrato sulla descrizione del vero significato di tracciabilità e di rintracciabilità: due aspetti interconnessi tra di loro ma che, spesso, vengono erroneamente considerati come uguali. Viene esaminata, inoltre, la differenza tra la rintracciabilità volontaria e obbligatoria, soprattutto in tema di sicurezza alimentare. Infine, sono descritte le tipologie di costi necessari per effettuare la rintracciabilità e come oggi le aziende percepiscono la tracciabilità e i vantaggi che possono ottenere implementando tale sistema.
Il secondo capitolo si concentra sulla volontà di valorizzare il complesso di tematiche che ruotano attorno al concetto di tracciabilità e rintracciabilità. Nello specifico, vengono descritti i modelli e gli strumenti che possono essere utilizzati per effettuare la tracciabilità in maniera ottimale. Tra le tecnologie maggiormente utilizzate e diffuse oggi vi è la **blockchain**. In un mondo che sta diventando sempre più digitale, la blockchain rappresenta una tecnologia che potrebbe rivoluzionare il modo in cui vengono gestite le archiviazioni e la distribuzione dei dati e delle informazioni in rete, proteggendola da pericolosi tentativi di attacco. La blockchain non è altro che una catena di blocchi governata da un algoritmo e dove ogni blocco contiene delle informazioni che dipendono dal tipo di catena che si sta utilizzando. Un'altra tecnologia trattata in questo elaborato e sempre più importante per aiutare le aziende nei loro processi di tracciabilità è **l'intelligenza artificiale** (IA). Viene effettuata un'analisi della sua evoluzione nel tempo, del mercato globale, di come è possibile migliorare e rafforzare la tracciabilità tramite l'IA e dei benefici per le aziende in termini di costi e rispetto dell'ambiente.
Dopo un'attenta analisi teorica, il terzo capitolo è incentrato sul caso studio dell'azienda torinese operante nel mercato caffeicolo. La scelta di effettuare questa analisi nasce da un interesse personale sull'argomento, che è stato possibile coltivare grazie all'occasione che si è presentata in Cluster Reply di lavorare per un'azienda operante in questo settore. L'obiettivo di questo lavoro è, dunque, quello di progettare e sviluppare una soluzione che consenta all'azienda torinese in primis, ma ampliabile anche per le aziende di altri settori, di digitalizzare i dati sulla tracciabilità dei prodotti (dalle materie prime al prodotto finito), per poter così ottenere delle visualizzazioni di immediata comprensione e che permettano di effettuare analisi predittive. Prima di entrare nel caso studio vero e proprio, vengono descritte le origini del caffè e il suo mercato globale, in quanto ciò permette di comprendere la complessità e l'importanza di implementare una soluzione di tracciabilità del prodotto-lotto per un'azienda che opera in un mercato internazionale. Successivamente, verrà effettuato uno studio dell'azienda tramite il modello di Hamel e Prahalad, il quale consente di inquadrare le principali competenze aziendali. Inoltre, al fine di approfondire il contesto in cui l'azienda opera, verrà realizzata un'analisi PEST e delle cinque forze di Porter. Tutto ciò è utile per comprendere le esigenze aziendali e capire come poterle soddisfare a pieno in tutte le sue sfaccettature. Una volta completato il quadro generale, verranno esaminate le problematiche con cui l'azienda torinese si è interfacciata per poi arrivare allo studio dello strumento Power BI, individuato come strumento utile per risolvere le difficoltà e per realizzare il fine descritto. Lo scopo di tracciare è avere le informazioni digitalizzate per farle interagire con il livello superiore che è quello gestionale. Con l'interconnessione c'è uno scambio continuo di dati. Infatti, il dato non deve rimanere a sé stante, ma deve essere trasformato e analizzato per generare un'informazione utile a tutti i livelli aziendali e a tutti gli attori coinvolti. In primo luogo, ci deve essere un legame e una comunicazione tra tutte le macchine in modo da scambiarsi i dati tra loro e poter avere queste informazioni anche a livello gestionale. La digitalizzazione dei dati, la loro visualizzazione e analisi è possibile grazie alle caratteristiche, alle funzionalità e alle sfaccettature di Power BI che verranno esaminate per comprendere al meglio le

potenzialità dello strumento. Prima di descrivere le varie implementazioni che hanno consentito la visualizzazione ottimale e l'analisi dei dati di tracciabilità, vengono rappresentati i macro-blocchi di una filiera produttiva, i quali permettono di avviare una tracciabilità completa del prodotto. Per ogni blocco che rappresenta una macro-fase dell'intero percorso effettuato da un prodotto sono implementate delle dashboard e dei report (che verranno spiegati nel dettaglio all'interno dell'elaborato) per consentire l'analisi dei dati di tracciabilità raccolti in ogni singola fase.
Infine, a causa di alcuni dati di tracciabilità che l'azienda torinese non digitalizza, la soluzione proposta potrebbe essere ulteriormente ampliata. Tuttavia, vengono suggerite nuove opportunità per rafforzare il sistema di tracciabilità attraverso l'impiego di alcune tecnologie di intelligenza artificiale che, integrate nel sistema aziendale, consentirebbero: una più agevole raccolta dei dati, maggiore trasparenza, garanzia di qualità e controllo sull'intera filiera.
L'elaborato termina con il quarto capitolo che tenta di riassumere l'importanza dell'intero studio, mettendo in evidenza le opportunità derivanti dall'utilizzo della soluzione proposta all'azienda torinese produttrice di caffè tostato.

In definitiva, grazie a questo lavoro, ho avuto la possibilità di approfondire una tematica fondamentale, non solo per le aziende alimentari ma ormai per tutti i settori, e di comprendere l'importanza di raccogliere e relazionare in maniera efficiente i dati tra di loro. Tutto ciò è stato possibile tramite lo strumento Power BI, il quale mi ha permesso di implementare la soluzione migliore rispetto all'esigenze dell'azienda torinese e di comprendere l'importanza della data visualization per un immediato monitoraggio e analisi dei dati di tracciabilità.

CAPITOLO 1

1. LA TRACCIABILITÀ E LA RINTRACCIABILITÀ

Negli ultimi anni la tracciabilità sta acquisendo continuamente maggiore rilevanza nei settori industriali, poiché è diventata uno strumento sempre più importante per la sicurezza e la qualità dei prodotti. A partire dagli anni '90, alcuni eventi sorprendenti come la crisi BSE (morbo della mucca pazza) e l'influenza aviaria, hanno fortemente focalizzato l'attenzione comune sul tema della tracciabilità. Infatti, in questi anni i consumatori iniziano a porsi delle domande sull'origine e le caratteristiche dei prodotti che acquistano. Per venire incontro alle loro forti richieste di una maggiore trasparenza e tutela della salute pubblica, le imprese prendono coscienza della necessità di trovare soluzioni innovative con lo scopo di ottenere sistemi più efficienti per la gestione dei rischi.
In un mercato caratterizzato da una sempre più accesa concorrenza e dalla presenza di consumatori sempre più attenti agli aspetti che contribuiscono alla loro soddisfazione complessiva, diventa fondamentale per le aziende avere uno strumento che consenta di gestire l'intero ciclo di vita del prodotto, da una prospettiva globale che copra sia l'interno che l'esterno dello stabilimento.
Nel presente capitolo verrà data una definizione di tracciabilità e rintracciabilità, due concetti che spesso vengono usati come sinonimi ma che hanno significati diversi. Verrà effettuata una distinzione tra la tracciabilità interna e di filiera al fine di comprenderne il significato più profondo. Inoltre, verranno descritte le normative in vigore nei casi di rintracciabilità obbligatoria e volontaria, definendo i benefici che le imprese e, di conseguenza, i consumatori possono ottenere nei due diversi casi. Verranno elencati i vantaggi che spingono le imprese ad adottare sistemi per la tracciabilità e le conseguenze che questa ha sul coordinamento verticale, usando l'approccio dei costi di transazione. Infine, verranno introdotte alcune tecnologie utilizzate oggigiorno dalle imprese per effettuare la tracciabilità dei prodotti ed essere pronte ad affrontare nuove sfide in un Paese sempre più globalizzato e all'avanguardia.

1.1 La tracciabilità

La tracciabilità è quel processo che consente di definire l'intero percorso compiuto dal prodotto (o più in generale dal lotto di produzione) da monte a valle lungo la filiera produttiva. Il termine stesso è stato coniato da "Traccia" e "Abilità" ("Trace" and "Ability") e viene utilizzato per descrivere la capacità delle industrie di tracciare i prodotti. Parallelamente al flusso di merci vengono raccolte, registrate e salvate le informazioni a ogni passaggio effettuato dal prodotto/lotto lungo tutta la filiera. Questa tecnica consente di tenere traccia di ogni processo di trasformazione subito da un bene, dando alle imprese la possibilità di ottimizzare l'intero processo di produzione [1].

***Figura 1.1**: Schema esplicativo della tracciabilità.*

È anche un mezzo di competitività e razionalizzazione dei sistemi produttivi, nonché un efficace strumento di controllo della "**qualità**" nell'ambito della politica aziendale.
Qualità è, innanzitutto, sinonimo di conformità alle specifiche richieste, aspetti legati indissolubilmente al tema della soddisfazione del cliente e della certezza riguardo al prodotto che è stato venduto. Nel momento in cui si acquista un prodotto, il consumatore si aspetta che soddisfi dei requisiti cosiddetti ***impliciti*** (che non costituisca una truffa e che non sia nocivo per la propria salute) e ***sensoriali*** (che soddisfi i gusti personali del consumatore attraverso lo stimolo dei cinque sensi).
L'insieme dei requisiti *impliciti* e *sensoriali* rappresentano i ***requisiti del prodotto***. Questi non sono gli unici requisiti della qualità, ma ve ne sono anche altri che nel tempo stanno diventando sempre più importanti per un consumatore e riguardano il contesto produttivo, l'ambiente in cui il prodotto è stato ottenuto, la tradizione e la biodiversità. Si tratta dei requisiti ***etici***, che vengono anche definiti come requisiti ***psicologici*** perché sono quelli che mobilitano non tanto i gusti e i sapori, quanto ciò che è nella mente del consumatore (emozioni forti e coinvolgenti, ricordo di esperienze piacevoli, valori personali). Il termine "tracciabilità dei requisiti" è comunemente usato nell'industria del software dove l'elemento da tracciare è un requisito astratto piuttosto che un oggetto fisico [2].
Andando ad analizzare nello specifico il termine ***tracciabilità***, si può notare come venga usato in tanti settori diversi. Per fare chiarezza a riguardo, è opportuno fare riferimento ad alcune definizioni contenute nelle principali norme nazionali e internazionali [3].
L'**International Organization for Standardization** (ISO) ha fornito diverse definizioni di tracciabilità:

- **ISO 8402**:

  "La tracciabilità è la capacità di risalire alla storia e all'uso o alla collocazione di un prodotto o di un'attività attraverso identificazioni documentate".

- **UNI EN ISO 9000**:

  "La tracciabilità è la capacità di tracciare la storia, l'applicazione, l'uso e l'ubicazione di un prodotto o delle sue caratteristiche attraverso dati di identificazione registrati".

Dunque, tracciare permette di creare, passo dopo passo, la "carta d'identità" del prodotto contenente tutte le informazioni relative:

- ai materiali utilizzati;
- ai tipi di processo effettuati;
- all'ente e al luogo dove è stato realizzato.

In letteratura, la tracciabilità è anche concettualizzata sulla base di alcune dimensioni che possono aiutare a spiegare le differenze tra i sistemi di tracciamento esistenti [4]. Golan et al. (2004) ne ha individuato tre:

- l'**ampiezza**, la quale si riferisce alla quantità di informazioni tracciate. Infatti, oltre alle informazioni obbligatorie, le aziende possono scegliere di aggiungere informazioni volontarie, ad esempio sui metodi di lavorazione o ulteriori dettagli sui fornitori;
- la **profondità** che può variare dalla tracciabilità interna alla registrazione di tutti i settori della filiera tracciata;
- la **precisione**, associata al grado di certezza con cui la tracciabilità può individuare il movimento o le caratteristiche di un particolare prodotto. Si riferisce alla dimensione dell'unità di tracciabilità utilizzata. Più piccola è l'unità di tracciamento, maggiore è la probabilità di ricostruire la storia completa di un singolo prodotto all'interno della filiera e minori sono i costi in caso di richiami.

McEntire et al. (2010) ha introdotto un'altra dimensione per descrivere la tracciabilità, ovvero la **velocità**. Quest'ultima si riferisce all'efficacia nel trasferire le informazioni tracciate lungo la filiera [5]. In generale maggiore è l'ampiezza, la profondità, la precisione e la velocità della tracciabilità, più complesso è il relativo schema implementato in termini di regole e procedure applicate. D'altra parte, minore è l'ampiezza, la profondità, la precisione e la velocità della tracciabilità, più flessibile è lo schema implementato perché vengono applicate solo poche regole e procedure.
La tracciabilità complessa porta a un'elevata trasparenza dell'offerta, una migliore capacità di garantire la veridicità delle informazioni certificate e la possibilità di prevenire o gestire i fallimenti di qualità e sicurezza.

Sebbene vi siano vari modi di guardare alla tracciabilità, le prospettive in genere sono due: ***tracciabilità interna*** e ***tracciabilità di filiera***.
La ***tracciabilità interna*** interessa la singola società o il singolo stabilimento e significa monitorare il movimento dei prodotti all'interno di un'area specifica limitata in un'intera supply chain. Quindi, ha luogo indipendentemente dai partner commerciali e si concretizza in una serie di procedure interne, specifiche di ciascuna azienda, che permettono di avere dati e informazioni lungo tutto il percorso del prodotto gestito e controllato dall'impresa stessa.
In poche parole, si tratta della capacità di ricostruire tutti i passaggi interni al perimetro aziendale tenendo traccia di ciò che accade a un prodotto, inclusa la provenienza dei materiali, il loro utilizzo e la destinazione dei prodotti.

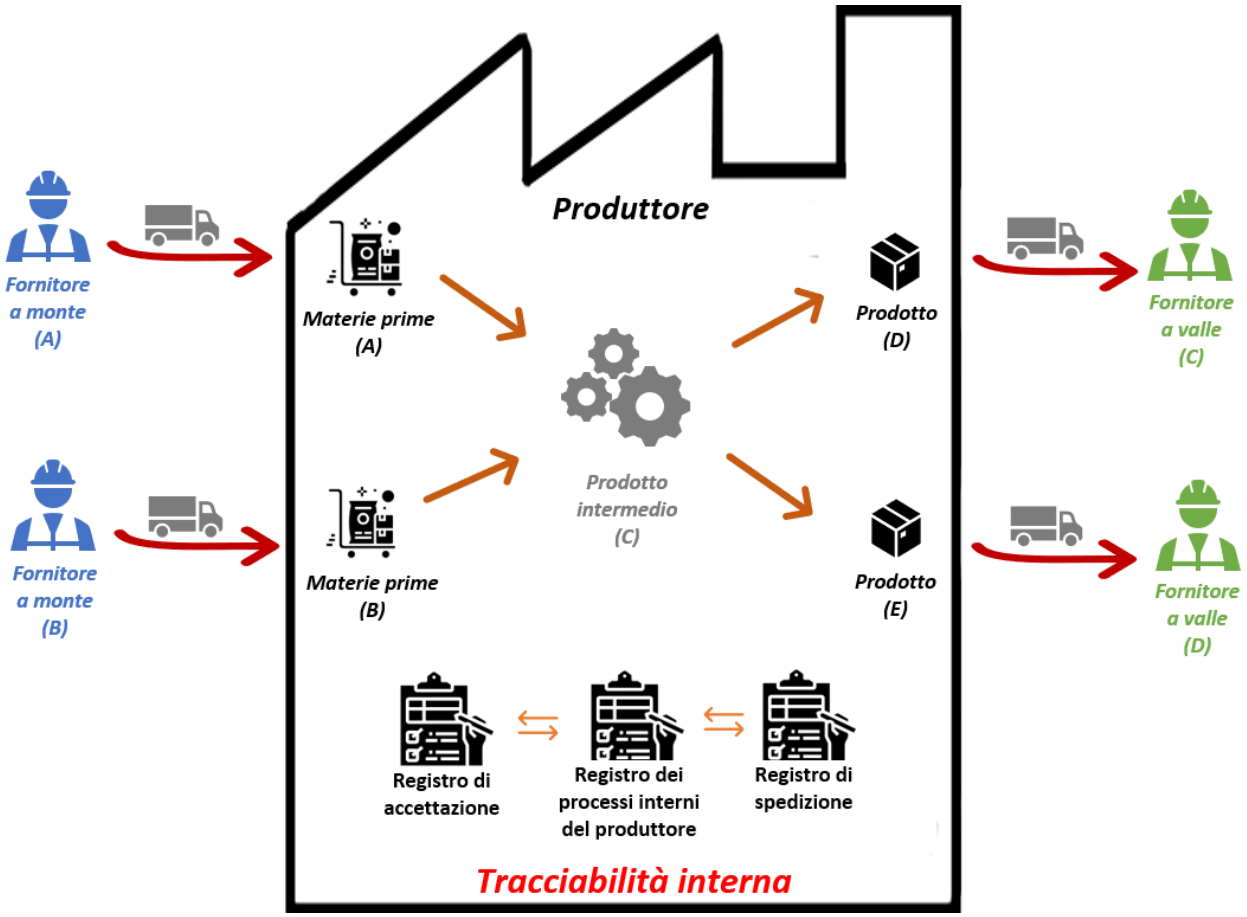


***Figura 1.2**: Schema rappresentativo della tracciabilità interna [1].*

La ***tracciabilità di filiera*** è il processo interaziendale che deriva dalla combinazione dei sistemi interni di tracciabilità delle singole aziende a ciascun operatore della filiera, grazie a efficienti flussi di comunicazione. È un processo non governabile da un singolo soggetto, ma è basato sulle relazioni tra gli operatori e per questo motivo necessita il coinvolgimento di ogni ente che ha contribuito alla formazione del prodotto. Quindi, le informazioni raccolte dalla singola azienda devono essere rese disponibili alle altre aziende coinvolte nel processo di realizzazione del prodotto finale [1].
Il sistema di tracciabilità interna costituisce, dunque, un prerequisito essenziale senza il quale non si può realizzare la tracciabilità di filiera.
Si tratta, comunque, di un sistema complesso e di difficile realizzazione in quanto devono essere registrate tutte le informazioni (come i nomi dei produttori, fornitori e distributori) da parte di tutte le aziende coinvolte. Questo implica che ogni flusso in ingresso e in uscita tra le aziende della filiera, dall'approvvigionamento delle materie prime fino alle fasi di lavorazione, distribuzione e vendita, può essere tracciato in avanti o a ritroso. Da qui si può intravedere la relazione sussistente tra tracciabilità e rintracciabilità che verrà trattata nello specifico nel prossimo paragrafo. In breve, ogni operatore del settore sarà in grado di individuare il soggetto che gli ha fornito la materia prima e il cliente diretto al quale ha venduto i suoi prodotti. I produttori possono effettuare il cosiddetto "*tracciamento in avanti*", ovvero possono monitorare fino al punto di consegna dei propri prodotti. Le società e i consumatori a valle possono realizzare il "*tracciamento a ritroso*" al fine di capire da dove provengono i prodotti acquistati. Questo dà ai produttori il vantaggio di creare un sistema

correttivo efficace e rapido, rendendo più semplice il richiamo dei prodotti e l'individuazione delle cause nel caso in cui siano insorti dei problemi inattesi. Anche i consumatori, oltre ad avere conoscenza sulla provenienza di ciò che acquistano, possono usare le informazioni portate dalla tracciabilità come riferimento per selezionare prodotti altamente affidabili [1].

***Figura 1.3**: Schema rappresentativo della tracciabilità di filiera.*

Il primo obiettivo della tracciabilità, dunque, è quello di dare trasparenza e disporre di documentazioni atte a dimostrare la reale provenienza e lavorazione del prodotto considerato.

1.2 La rintracciabilità

I termini "tracciabilità" e "rintracciabilità" vengono spesso utilizzati come sinonimi. In realtà, identificano due processi speculari come due facce diverse della stessa medaglia. Non a caso, gli anglosassoni utilizzano il termine *tracking* per la tracciabilità e *tracing* per la rintracciabilità.
Come visto precedentemente, la tracciabilità (*tracking*) è un elemento chiave per tutte le imprese in quanto consente di definire la storia di un prodotto.
La rintracciabilità (*tracing*) è il processo inverso, cioè la ricostruzione a ritroso dell'intero percorso di trasformazione di un prodotto attraverso la documentazione precedentemente raccolta dai vari operatori coinvolti lungo la filiera. Sostanzialmente consente all'aziende di risalire all'origine di un prodotto attraverso tutte le fasi di lavorazione, fino ad arrivare ai materiali di partenza.

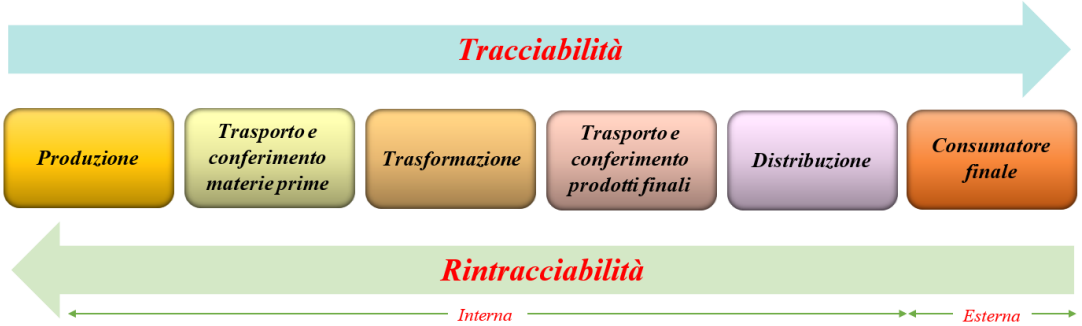


***Figura 1.4**: Rappresentazione concettuale relativa alla tracciabilità e alla rintracciabilità della filiera produttiva.*

Per attuare un sistema di rintracciabilità è fondamentale la gestione dei lotti.
Un lotto si può definire come un insieme di prodotti che hanno subito il medesimo processo di trasformazione e che presentano caratteristiche omogenee e predefinite.
Attraverso la rintracciabilità, per ogni lotto di un certo bene (materia prima, semilavorato o prodotto finito), è possibile conoscere l'impresa o l'insieme di imprese che lo ha realizzato. A questo scopo, è essenziale la gestione dei flussi dei materiali per lotti discontinui, in due momenti del ciclo produttivo aziendale:

- all'**arrivo del lotto nell'impresa**, quindi in genere nelle operazioni di stoccaggio delle materie prime;
- alla **partenza del lotto dall'impresa**, quindi nelle operazioni relative al confezionamento, all'immagazzinamento e alla spedizione dei prodotti finiti.

È in questi due momenti che il lotto deve essere identificato con appositi codici che permettono di collegarlo agli agenti delle fasi precedenti della filiera.
La gestione per lotti discontinui significa che i flussi di materiali devono essere adeguatamente separati in funzione dei fornitori in modo da non perdere l'identificazione del lotto. Tale gestione dei flussi risulta problematica in determinate filiere agro-alimentari, dove frequentemente si usano miscele di materie prime e, di conseguenza, va studiata nei singoli casi. Inoltre, occorre un adattamento della struttura aziendale per permettere la gestione dei flussi in modo discontinuo [6].
Il rintracciamento può essere anche utilizzato per verificare l'accuratezza delle caratteristiche dichiarate.
Il flusso di informazioni che si costruisce passo dopo passo intorno ad un prodotto, permette alle aziende o agli organi di controllo di poter ricostruire la sua "storia". In questo modo è possibile gestire e controllare le situazioni di emergenza per la sicurezza dei consumatori, isolando l'intero lotto produttivo nel più breve tempo possibile ed evitando che un numero sempre maggiore di persone rischi dei danni alla salute.
In generale, dunque, la tracciabilità e la rintracciabilità dei prodotti permettono di "*seguire*" e "*inseguire*" qualsiasi prodotto immesso sul mercato lungo tutta la filiera produttiva, ovvero permettono di ricostruire il percorso di un prodotto e di tutte le singole parti che contiene.
Per quanto riguarda le norme che regolano la rintracciabilità di filiera, esse sono di due tipi: norme di rintracciabilità obbligatoria (cogente) e norme di rintracciabilità volontaria.
La rintracciabilità obbligatoria e quella volontaria comportano differenti benefici per le aziende in termini di:

- aumento delle garanzie;
- riduzione dei costi;
- maggior controllo;
- comunicazione e marketing;
- possibilità di creare valore aggiunto;
- supporto ad altri processi aziendali.

Nei successivi paragrafi verranno analizzate nello specifico queste due differenze.

1.2.1 La rintracciabilità obbligatoria

In passato, il rapporto di fiducia tra gli individui coinvolti nelle transazioni si basava sul contatto diretto tra consumatori e soggetti preposti alla vendita (elargitori di indispensabili indicazioni per consigliare i prodotti da acquistare). Con l'avvento della Grande Distribuzione Organizzata (GDO) questo rapporto diretto è venuto meno.
Oggi, il sistema di rintracciabilità è basato essenzialmente su due ordini di informazioni:

- quelle contenute nell'**etichettatura**, la quale riporta tutte le informazioni identificative di quel singolo prodotto (data di produzione, data di scadenza, tipo di prodotto, ingredienti, lotto di appartenenza) accessibili a chiunque e soprattutto al consumatore;
- quelle riportate nei **documenti** che accompagnano il singolo lotto di prodotti in ogni passaggio (raccolta, produzione, trasformazione e distribuzione) e che restano in mano agli operatori del settore.

A livello normativo, dal 2005 nell'Unione Europea è divenuto obbligatorio il sistema di rintracciabilità previsto dall'articolo 18 del Regolamento Europeo (CE) n. 178/2002:

"*È disposta in tutte le fasi della produzione, della trasformazione e della distribuzione la rintracciabilità degli alimenti, dei mangimi, degli animali destinati alla produzione alimentare e di qualsiasi altra sostanza destinata o atta a entrare a far parte di un alimento o di un mangime.*".

In realtà, la rintracciabilità esterna obbligatoria (ovvero riferita all'intera filiera) è anche il pilastro di altre numerose normative come lo Standard Internazionale ISO 22000 (2005) che specifica i requisiti per un sistema di gestione della sicurezza dei prodotti che copra l'intera catena di produzione alimentare. Vi sono altre normative internazionali o nazionali più mirate alla tracciabilità interna obbligatoria (ovvero relativa al perimetro aziendale).
Nello specifico, nel settore alimentare, inizialmente tale tutela era prevista solo per i prodotti più a rischio per la salute del consumatore. Con l'entrata in vigore del "Pacchetto Igiene" (1° gennaio 2006), l'obbligo della rintracciabilità è stato esteso a tutti i prodotti agro-alimentari.
L'Accordo del 28 luglio 2005 stipulato tra il Governo, le Regioni e le Province Autonome di Trento e di Bolzano ha specificato nel dettaglio i requisiti minimi per l'applicazione della rintracciabilità. In questo accordo sono contenute le procedure che devono essere messe a completa disposizione delle Autorità competenti nel caso lo richiedano e che consentano di risalire facilmente al "punto debole" della catena di produzione.
In generale, le aziende hanno l'obbligo di adottare sistemi che permettano di documentare il flusso di materiali e gli scambi di beni che si realizzano tra gli operatori della filiera nelle fasi di produzione, trasformazione e distribuzione.
I soggetti obbligati, quindi, devono essere capaci di individuare i fornitori e di identificare gli operatori economici a cui hanno consegnato i propri prodotti. A tal fine, ne devono tenere traccia identificando:

- il nominativo e/o la ragione sociale, il recapito e la natura del bene acquistato per quanto concerne i fornitori;
- il nominativo, il recapito dell'acquirente e la tipologia del bene venduto per quanto concerne gli acquirenti.

A sua volta, chi riceve la merce per venderla al dettaglio dovrà saper indicare tempestivamente:

- il nominativo del fornitore (sede sociale e stato di provenienza);
- la natura del bene (denominazione);
- le indicazioni utili ai fini dell'identificazione del prodotto e della sua provenienza (partita, lotto, data di consegna).

In generale, a livello nazionale, è stato promulgato il **Codice del Consumo** che stabilisce le modalità e il contenuto minimo delle informazioni che devono accompagnare la circolazione di un prodotto o di un servizio quando è immesso sul mercato. Tale normativa mira ad eliminare o quantomeno a mitigare le disuguaglianze tra offerta e domanda, quasi sempre a svantaggio dei consumatori.
Il riconoscimento della possibile presenza, nel processo di acquisto, delle cosiddette "asimmetrie informative contingenti" (carenze informative) e delle "asimmetrie cognitive" (incapacità del consumatore di elaborare le informazioni a causa del loro affastellamento sulle etichette) ha portato il Legislatore nazionale a inserire nel Codice del Consumo precisi obblighi relativi alle modalità con cui le informazioni devono essere fornite al consumatore.
Sicurezza, ***composizione*** e ***qualità*** dei prodotti e/o dei servizi rappresentano il contenuto essenziale degli obblighi informativi.
Con riferimento alla ***sicurezza***, premettendo che sul mercato possono circolare solo prodotti sicuri e che è stata emanata una specifica normativa comunitaria sulla sicurezza generale dei prodotti (Direttiva 2001/95/CE, recepita in Italia dal Decreto Legislativo 21 maggio 2004, n. 172), la norma prevede che sia indispensabile informare il consumatore sul rischio minimo compatibile con l'uso del prodotto e sul suo corretto utilizzo.
Le informazioni sulla ***composizione*** del prodotto sono obbligatorie e devono consentire una corretta identificazione dello stesso, mentre quelle sulla ***qualità*** sono facoltative e rappresentano ulteriori caratteristiche che il prodotto possiede. Una volta però che l'impresa ha optato per l'inserimento di tali indicazioni opzionali sugli aspetti qualitativi, deve rispettare gli "obblighi informativi" ad essi previsti. Dunque, le informazioni devono essere adeguate e non solo sufficienti alla tecnica di comunicazione impiegata e devono essere espresse in modo chiaro e comprensibile al fine di assicurare al consumatore di effettuare scelte consapevoli.
In particolare, sono previste sei informazioni (Art. 6 del Codice del Consumo) che devono sempre essere presenti sui prodotti o sulle confezioni dei prodotti destinati al consumatore:

a. la denominazione legale o merceologica del prodotto;
b. il nome o la ragione sociale o il marchio e la sede legale del produttore o di un importatore stabilito nell'Unione Europea;
c. il Paese di origine se situato fuori dall'Unione Europea;
d. l'eventuale presenza di materiali o di sostanze che possono arrecare danno all'uomo, alle cose o all'ambiente;
e. i materiali impiegati ed i metodi di lavorazione ove questi siano determinanti per la qualità o per le caratteristiche merceologiche del prodotto;
f. le istruzioni, le eventuali precauzioni e la destinazione d'uso, ove utili ai fini di fruizione e di sicurezza del prodotto.

Suddette informazioni devono essere chiaramente visibili, leggibili e devono figurare sulle confezioni o sulle etichette dei prodotti nel momento in cui sono posti in vendita al consumatore (Art. 7). Quelle relative alle istruzioni, alle eventuali precauzioni ed alla destinazione d'uso (lettera f. del precedente elenco) possono essere riportate anziché sulle confezioni o sulle etichette dei prodotti, su altra documentazione illustrativa fornita in accompagnamento dei prodotti stessi.
Le disposizioni riportate dall'Art. 6 hanno un'applicazione generale e, quindi, si riferiscono a tutte le tipologie di prodotti per i quali non esistono specifiche prescrizioni contenute in direttive o in altre norme nazionali di recepimento.
Nei casi in cui sono previste precise disposizioni (comunitarie o nazionali) che contemplano le informazioni specificamente previste dall'Art. 6, sono queste ultime che devono essere applicate poiché l'Art. 6 dispone in via sussidiaria e complementare. Per tale ragione, risultano esclusi da tale previsione, ad esempio, i prodotti alimentari ed i prodotti cosmetici rispettivamente disciplinati dal Decreto Legislativo 109/92 e s.m.i., e dalla Legge 11 ottobre 1986, n. 713 e s.m.i..
L'Art. 9 del Codice del Consumo prevede che tutte le informazioni presenti sui prodotti commercializzati in Italia e destinate ai consumatori e agli utenti, debbano essere indicate almeno in lingua italiana con caratteri di visibilità e di leggibilità non inferiori a quelli utilizzati per le altre lingue. Tali indicazioni possono essere, eventualmente, aggiunte dal distributore o dal venditore nella fase che precede la vendita al cliente finale. È tuttavia consentito utilizzare espressioni non in lingua italiana qualora queste siano divenute di uso comune.
Queste normative sono state emanate per evitare che si verifichi un ostacolo alla libera circolazione delle merci nei Paesi comunitari e, quindi, per impedire di introdurre una vera e propria barriera all'entrata dei prodotti.
La norma che regola le problematiche in caso di prodotto non conforme e/o difettoso è l'Art. 130 del Codice del Consumo (D.Lgs. 206/2005), il quale stabilisce che:

"*Il venditore è responsabile nei confronti del consumatore per qualsiasi difetto di conformità esistente al momento della consegna del bene*".

Tale normativa sancisce che in caso di difetto di conformità il consumatore ha diritto al ripristino, senza spese, del bene e può chiedere al venditore di ripararlo o sostituirlo, a eccezione del caso in cui il bene sia irreparabile o eccessivamente oneroso.
Mentre, per quanto riguarda i prodotti alimentari che vengono immessi sul mercato e che non sono conformi e sicuri per il consumatore finale, l'azienda deve:

- identificare il prodotto;
- l'ambito di commercializzazione di esso;
- provvedere all'immediato "richiamo" o "ritiro"[1];
- informare le autorità competenti: l'azienda sanitaria competente per territorio delle procedure di richiamo/ritiro del prodotto, l'azienda a monte nel caso in cui la non conformità del prodotto sia dovuta a un vizio della materia prima a lui fornita e il consumatore finale nel caso in cui il prodotto sia già stato venduto.

[1] Il "ritiro" è l'azione che l'azienda realizza prima che il prodotto sospetto venga distribuito. Il "richiamo" è, invece, costituito da qualsiasi misura volta a ottenere la restituzione di un prodotto pericoloso che il fabbricante o il distributore ha già fornito o reso disponibile ai consumatori.

L'obiettivo di tutti questi interventi è quello di garantire il livello di sicurezza del prodotto all'interno della Comunità Europea. Il sistema di rintracciabilità obbligatoria, infatti, mira a facilitare l'individuazione delle materie prime e dei prodotti non conformi agli standard di sicurezza e l'attribuzione delle responsabilità dei diversi operatori coinvolti nella supply chain, così da renderli più sensibili al rispetto delle leggi riguardanti la sicurezza dei prodotti.

1.2.2 La rintracciabilità volontaria

Contrariamente alla rintracciabilità obbligatoria che è imposta dalla legge, la rintracciabilità volontaria riguarda le attività che vengono registrate volontariamente dalle imprese.
Questi standard volontari sono stati introdotti per ridurre ulteriormente l'asimmetria informativa tra i partner della filiera produttiva e aumentare la gestione della qualità del prodotto. Il livello di trasparenza che ne deriva differisce in base al grado di complessità dei sistemi di tracciabilità implementati dalle aziende, ovvero dal tipo di regole e procedure adottate.
La rintracciabilità volontaria si basa su alcuni principi generali definiti dalla norma UNI 10939 del 2001 e dalla norma UNI 11020 del 2002, ma riprende concettualmente anche il tipo di approccio del regolamento 1760/2000. Tali normative non delineano un unico sistema di rintracciabilità ma esso può variare in base alle applicazioni operative delle singole imprese o delle filiere [7].
Le **finalità** dell'adozione della rintracciabilità volontaria risultano più ampie rispetto alla rintracciabilità obbligatoria [6].
Una prima finalità è quella della ***sicurezza alimentare***. Questo strumento è comune ai due sistemi di rintracciabilità, ma nel caso della volontaria risulta decisamente più efficiente. Infatti, qualora si verifichi un'emergenza, vi è una maggiore facilità a identificare i lotti non conformi e ritirarli rapidamente dal mercato grazie:

- alla gestione separata dei lotti all'interno delle aziende;
- alla completezza delle informazioni caratterizzanti ogni singola fase;
- all'agevolezza con cui si possono attribuire le relative responsabilità risalendo lungo la filiera fino al punto in cui si è verificato il problema.

Una seconda finalità si riferisce alla ***maggiore garanzia degli standard qualitativi*** di determinati prodotti, dovuti:

- all'adozione dei disciplinari di produzione che regolano i flussi di materiali fra le imprese della filiera;
- ai controlli e alle visite ispettive per verificare la conformità agli standard qualitativi stabiliti.

Una terza finalità consiste nel ***migliorare la complessiva gestione dei flussi di materiali*** all'interno delle imprese, con vantaggi di carattere operativo come la riduzione degli scarti.

Un'ulteriore considerazione che si può fare, riguarda gli effetti dell'applicazione della rintracciabilità volontaria sulle relazioni fra gli agenti della filiera, quindi sui meccanismi di coordinamento verticale [8]. Infatti, i sistemi volontari portano alla riorganizzazione delle relazioni verticali lungo la filiera e forniscono una nuova governance delle transazioni connesse [9]:

- all'attuazione di accordi specifici, denominati **accordi di filiera**;

- alla **centralizzazione** della gestione del sistema di rintracciabilità.

Gli **accordi di filiera** rappresentano un nuovo modo di gestire le transazioni all'interno della supply chain, fornendo:

- regole di produzione specifiche per la sicurezza e la qualità del prodotto;
- condizioni precise per la costituzione dei lotti;
- procedure per la registrazione delle informazioni sui lotti di prodotto;
- responsabilità specifiche assegnate agli agenti della catena di fornitura, i quali devono essere in grado di adattarsi ai livelli tecnologici, qualitativi e quantitativi richiesti.

La **centralizzazione della gestione del sistema di rintracciabilità** vuol dire che un'impresa deve assumersi il ruolo di leader divenendo il centro strategico della filiera per l'organizzazione delle attività di coordinamento verticale.
Secondo Charlier e Valceschini (2006), questo procedimento aiuta ad incentivare le singole organizzazioni private nella realizzazione del sistema. Gli operatori che implementano la propria rintracciabilità non hanno incentivo ad affrontare tali investimenti se gli altri soggetti della filiera non sono in grado di associare le informazioni fornite al proprio processo produttivo. In questo caso, un operatore di rintracciabilità non può usufruire dei benefici correlati all'applicazione di tale sistema. Per affrontare questo problema è necessario stabilire una sorta di leadership all'interno della filiera, in modo da creare fiducia tra gli operatori e stimolarne l'adozione.
L'azienda che promuove l'introduzione della rintracciabilità volontaria funge quindi da capofila della filiera, coordinando le attività degli altri agenti e occupandosi della certificazione del sistema. Pertanto, la progettazione del contratto della catena di fornitura, la gestione delle informazioni e la pianificazione dei controlli sono focalizzati in questa azienda [10].
Il leader della filiera può essere rappresentato da:

- un'impresa cooperativa;
- un'impresa della Grande Distribuzione Organizzata (GDO) che vuole adottare la rintracciabilità per una linea di prodotto con private label[2];
- un'impresa industriale che intende valorizzare la propria immagine e costruire una buona reputazione di mercato [11].

La rintracciabilità volontaria è una scelta fatta sia dall'azienda leader che dagli altri agenti economici della filiera, quindi l'introduzione del sistema dipende dai vantaggi che le aziende otterranno [12]. Tali vantaggi sono collegati:

- al miglioramento della sicurezza e della qualità del prodotto;
- ai prezzi premium;
- all'immagine del marchio di prodotti tracciati di alto valore;
- all'espansione delle vendite;
- all'efficienza nella distribuzione;

[2] Le **private label** (o **marca commerciale**) sono i prodotti a marchio, ovvero i prodotti realizzati da società terze e commercializzati con il marchio del distributore, piuttosto che quello del produttore. Il loro brand è associato all'insegna del punto vendita (store brand o dealer's brand) [114].

- alla riduzione dei costi di richiamo e adattamento agli standard richiesti dai rivenditori a livello internazionale.

Questi vantaggi riguardano sia il rapporto **business to consumer** (B2C, azienda che vende prodotti o servizi direttamente al consumatore finale) che quello **business to business** (B2B, transazioni commerciali che intercorrono tra imprese industriali, commerciali o di servizi).
D'altra parte, i costi del sistema sono collegati al costo di implementazione della gestione di lotti separati, al costo delle procedure informative e così via [9]. Pertanto, il sistema di rintracciabilità volontaria va a modificare i costi di transazione fra gli agenti della filiera, così come verrà approfondito nel prossimo paragrafo.

Attualmente i principali driver che guidano le imprese sulla scelta dei tipi di rintracciabilità volontaria da adottare sono le **certificazioni di sostenibilità ambientale e sociale**.
Sulla base della letteratura esistente, sono state individuate diverse motivazioni per l'implementazione di tali certificazioni, sintetizzabili in:

- ***motivazioni legate alla fiducia***;
- ***motivazioni legate alla redditività***;
- ***motivazioni normative***;
- ***motivazioni della catena di fornitura.***

Le ***motivazioni legate alla fiducia*** riguardano i driver che spingono le aziende ad ottenere maggiore stima dagli stakeholders. Si riferiscono alla gestione del rischio per la sicurezza del prodotto, alla differenziazione della qualità dei prodotti e alla promozione di un'immagine aziendale positiva. In particolare, una gestione efficace della sicurezza del prodotto consente alle aziende di migliorare la propria reputazione nei confronti di fornitori e rivenditori e di ottenere una maggiore fiducia dei consumatori grazie alla minimizzazione dei rischi percepiti. Le certificazioni e l'etichettatura dei prodotti portano ad una maggiore fiducia dei consumatori verso la qualità del prodotto. Diversi studi hanno dimostrato un'associazione positiva tra l'etichettatura degli alimenti e il miglioramento della qualità percepita dai consumatori. Inoltre, è emerso un crescente interesse tra le aziende per le attività legate alla sostenibilità, le quali consentono di ridurre i rischi di reputazione negativa dell'azienda, creando così una maggiore fiducia tra le parti.
Le ***motivazioni legate alla redditività*** si riferiscono principalmente alla volontà delle aziende di migliorare la propria generazione di ricavi, attraverso:

- la riduzione dei costi del ciclo di vita del prodotto;
- la possibilità di applicare prezzi più elevati a prodotti che possiedono migliori caratteristiche legate alla sostenibilità.

Le ***motivazioni normative*** riguardano la volontà dell'azienda di conformarsi agli standard e ai regolamenti internazionali. Herzfeld, Drescher e Grebitus hanno diviso questi requisiti normativi in due diversi gruppi. Il primo si riferisce alle regole imposte dai Governi sulle importazioni di cibo, come le regole dell'OMC (Organizzazione Mondiale del Commercio). Il rispetto di tali regole è necessario per accedere ai mercati internazionali. Il secondo gruppo comprende standard privati imposti dai grandi rivenditori. In particolare, questi standard sono considerati strumenti utili per consentire gli scambi globali dei prodotti alimentari, perché le regole sulle condizioni di produzione

sono standardizzate. Gli standard dei rivenditori hanno due obiettivi principali: garantire la sicurezza dei prodotti alimentari e la differenziazione della qualità del cibo.

Le ***motivazioni della catena di fornitura*** riguardano l'efficienza delle relazioni esistenti tra gli operatori lungo la filiera. Deaton sottolinea che le informazioni relative agli attributi di qualità del cibo sono distribuite in modo asimmetrico all'interno della catena di approvvigionamento. Questa situazione porta ad un aumento della probabilità che le imprese agiscano in modo opportunistico durante gli scambi verticali. L'aumento della trasparenza e la migliore gestione delle responsabilità tra i partner della catena di fornitura hanno dimostrato di essere fattori trainanti nella riduzione dei costi di transazione e nel rafforzamento dei rapporti di filiera [4].

Benefici per le aziende	Rintracciabilità obbligatoria (cogente)	Rintracciabilità volontaria
Garanzie	Ritiro o richiamo dei prodotti in caso di problemi di sicurezza alimentare e/o salute pubblica	- Possibilità di impostare un sistema di **rintracciabilità** in funzione degli obiettivi fissati (es. supporto alla normativa cogente, dimostrazione dell'origine geografica, conoscenza della storia del prodotto in tutte le fasi della filiera e del processo produttivo, riduzione degli scarti, ecc.)
Riduzione costi	Eventuale ritiro o richiamo di prodotti dal commercio più facile	- Organizzazione della filiera più efficiente - Minori informazioni da registrare - Migliore gestione dei fornitori
Controllo	Miglior controllo delle malattie trasmissibili dagli animali e della loro salute	- Disponibilità immediata delle informazioni riguardanti la filiera in caso di controlli
Comunicazione	Reputazione ed immagine aziendale maggiormente garantita dalla capacità di adottare azioni rapide	- Possibilità di accrescere la fiducia del consumatore verso l'azienda garantendo la veridicità delle informazioni
Creazione di valore aggiunto		- Possibilità di differenziare i prodotti sul mercato per zona e modalità di produzione - Possibilità di ottenere un premium price - Acquisizione di nuovi clienti
Supporto		- Applicazione metodo HACCP[3] per la sicurezza alimentare - Supporto in diverse tipologie di certificazioni di sistema, di prodotto, di processo (es. ISO 22000)

Figura 1.5*: Tabella riassuntiva dei benefici per le aziende nell'adozione della rintracciabilità obbligatoria e volontaria* [13].

[3] **HACCP** è l'acronimo di Hazard Analysis Critical Control Point (**Analisi dei Rischi e Controllo dei Punti Critici**). Si tratta di un sistema di controllo basato sulla prevenzione e sull'affidabilità della produzione degli alimenti al fine di garantire, come obiettivo primario, la sicurezza igienica e la commestibilità dei prodotti finiti [115].

1.2.3 I costi della rintracciabilità

I costi necessari per effettuare la rintracciabilità variano in base a differenti aspetti:

- dalla tipologia di tracciabilità che si desidera effettuare;
- dal numero di prodotti che si vogliono tracciare;
- dal dettaglio di tracciamento che si vuole raggiungere;
- dal sistema di sensoristica IoT (Internet of Things) che già si possiede o che si vuole installare;
- dai supporti tecnici o informatici che vengono utilizzati per garantire il corretto trasferimento delle informazioni lungo la filiera;
- dall'assicurare al cliente e al consumatore la reale possibilità di consultare tutte le informazioni necessarie.

Come visto precedentemente, il sistema di rintracciabilità volontaria risulta più complesso rispetto quella obbligatoria così come il quadro di riferimento dei costi ad esso associato.
Nella seguente analisi verrà fatto riferimento ai costi del sistema volontario, per poi adattarli al sistema obbligatorio.
Secondo recenti studi, i costi della rintracciabilità possono essere suddivisi in due principali categorie [6]:

1. i costi iniziali per implementare il sistema (costi di "investimento");
2. i costi gestionali per il funzionamento del sistema.

Alla prima categoria appartengono diverse tipologie di costi fra cui:

- i costi di progettazione del sistema;
- i costi relativi al sistema informativo che possono derivare da un adattamento del sistema informativo esistente o dalla realizzazione di uno nuovo;
- i costi di certificazione;
- i costi di formazione del personale.

Alla seconda categoria, cioè ai costi gestionali, appartengono tipologie di costi come (Peri et al., 2004; Fabbri, 2005):

- i costi del personale per la gestione della documentazione del sistema (inserimento dei dati sui flussi, ecc.);
- i costi del personale relativi al sistema informativo;
- i costi del personale per le verifiche ispettive nella filiera;
- i costi dei controlli specifici di filiera (analisi, test, ecc.);
- i costi per la formazione del personale;
- i costi di stoccaggio;
- i costi relativi alle operazioni di marketing.

Nell'ambito di questa seconda categoria i costi per il personale risultano i più elevati, in particolare per le operazioni relative alla gestione della documentazione e per le verifiche ispettive.

Il sistema di rintracciabilità obbligatoria, essendo meno complesso, richiede costi minori. Tra questi è possibile distinguere:

- per i costi iniziali: i costi per la realizzazione del sistema di gestione della documentazione e i costi di formazione del personale;
- per i costi gestionali: i costi per il personale per la gestione della documentazione del sistema e per altre operazioni.

I costi di transazione sono sempre presenti nei mercati e nelle imprese integrate verticalmente [14], [15]. Tali costi dipendono:

- dal fallimento del mercato causato dalla razionalità limitata;
- dall'imperfetta informazione dei soggetti;
- dalla natura casuale di alcuni eventi.

L'implementazione della rintracciabilità modifica le caratteristiche delle transazioni legate al [9]:

- *livello di specificità degli asset*, il quale include investimenti umani e fisici;
- *livello di incertezza*, il quale dipende dal grado di asimmetria informativa tra gli agenti economici ed è strettamente connesso alla probabilità che i soggetti rispettino gli obblighi contrattuali;
- *livello di frequenza* correlato al lasso di tempo che intercorre tra una transazione e l'altra.

Secondo l'approccio di Williamson [16], l'implementazione di un sistema di rintracciabilità volontaria porta a una riorganizzazione delle transazioni nella catena di fornitura e la necessità di effettuare investimenti specifici. Pertanto, si avrà:

- un aumento della specificità degli asset di transazione tra gli agenti della catena di fornitura che genera un *aumento dei costi di transazione*;
- una diminuzione del grado di incertezza sulle transazioni e un aumento della loro frequenza, grazie alla maggiore trasparenza con cui vengono effettuate, che determina una *riduzione dei costi di transazione*.

Esistono diversi tipi di costi di transazione, a seconda del momento in cui si verificano durante la transazione. I ***costi di informazione o ricerca*** sorgono ex ante e sono legati al livello di trasparenza delle transazioni e alla limitata razionalità degli agenti economici all'interno di un mercato. I ***costi di negoziazione*** avvengono durante le transazioni e sono principalmente legati alla difficoltà nel concludere accordi. I ***costi di monitoraggio e di enforcement*** si verificano dopo che lo scambio è stato negoziato e sono correlati al livello di dipendenza bilaterale tra i soggetti in conseguenza di investimenti specifici necessari per rispettare le condizioni della transazione [17].
La variazione dei costi di transazione può essere influenzata anche da certificazioni di qualità già attuate all'interno delle aziende e delle filiere. Le procedure utilizzate per queste certificazioni possono creare sinergie per l'attuazione della rintracciabilità volontaria, rendendo meno onerosa la sua introduzione e la riorganizzazione degli scambi. In generale, i sistemi di certificazione della qualità sono presenti nelle medie e grandi imprese.

La variazione dei costi di transazione, dopo l'introduzione della rintracciabilità volontaria, porta a cambiamenti nell'organizzazione verticale delle imprese attraverso l'introduzione di nuove strutture di governance supportate da accordi di filiera. La variazione del coordinamento verticale relativo a queste nuove forme di governance dipende dal tipo di governance esistente prima dell'introduzione della rintracciabilità volontaria. Secondo Williamson [18], nella formulazione di questi accordi i soggetti possono decidere se introdurre incentivi economici attraverso un aumento del prezzo delle materie prime, oppure fornire un maggiore supporto contrattuale.

1.3 La tracciabilità oggi

La maggior parte dei prodotti che utilizziamo ogni giorno deriva da catene di approvvigionamento lunghe e complesse che possono influire negativamente sulla qualità del prodotto realizzato.
Oggi, la ricerca di innovazioni tecnologiche con costi inferiori per implementare l'accuratezza e l'affidabilità del sistema di tracciabilità è un'importante sfida per le imprese che vogliono far parte di un modello economico sempre più globalizzato e all'avanguardia. Questa prospettiva risulta ancora più difficile per il settore alimentare. Secondo il rapporto annuale dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), ogni anno circa seicento milioni di persone nel mondo sono affette da malattie per il consumo di prodotti alimentari contaminati e più di quarantamila persone all'anno perdono la vita a causa dello stesso motivo [19].
Sempre più aziende, anche medio-piccole, si stanno attivando per garantire la tracciabilità della propria filiera considerata uno strumento essenziale per garantire sicurezza e qualità degli alimenti.
Tra i **vantaggi** che le imprese possono ottenere implementando tale sistema, vi è la possibilità di [20]:

- controllare tutti i processi aziendali, grazie a un più ampio accesso di dati e informazioni;
- prevedere e diagnosticare i problemi di qualità del prodotto;
- aumentare la velocità di risposta ai richiami;
- migliorare l'efficienza della produzione;
- monitorare l'utilizzo della capacità della macchina e determinare l'efficacia di tutte le attrezzature (OEE) e le prestazioni totali effettive delle attrezzature (TEEP);
- soddisfare le esigenze di conoscenza dei consumatori sui prodotti acquistati fornendo informazioni accessibili al cliente;
- avere una maggiore valorizzazione dei prodotti;
- migliorare la reputazione e il marchio;
- effettuare economie di scala;
- individuare i punti di forza e di debolezza nel funzionamento della filiera, andando a monitorare e intervenire dove maggiormente necessario.

In virtù di tutto ciò, le imprese devono essere in grado di implementare strategie condivise tra gli operatori coinvolti lungo la filiera, prendendo in considerazione tutti i bisogni, i problemi e le opportunità esistenti nelle varie fasi di realizzazione del prodotto. Questo è possibile attraverso la condivisione di dati e informazioni che permettano di migliorare i processi produttivi e sviluppare una strategia di comunicazione ad hoc verso l'esterno. Allo stesso tempo, per valorizzare al meglio tutti i prodotti, bisogna tenere in considerazione anche lo sviluppo del territorio che le circonda da un punto di vista ambientale, sociale, occupazionale, etico ed economico.

Inoltre, la tracciabilità *è anche diventata un mezzo vitale nella lotta alla contraffazione* e viene utilizzata come un potente strumento di marketing, perché consente di valorizzare l'immagine dell'azienda e l'identità legata al territorio su cui essa opera. Utilizzando il "***marchio di garanzia***" (chi ottiene la certificazione di rintracciabilità può indicarlo sull'etichetta dei prodotti), le aziende possono ottenere un vantaggio competitivo sul mercato globale. Elementi da non trascurare, per garantire la qualità dei prodotti e della filiera a cui afferiscono, risultano essere *l'**etichettatura*** e in diretta corrispondenza il ***confezionamento*** e l'***imballaggio***.
Wognum et al. [21] afferma che le aziende spesso cercano di sfruttare il sistema informativo aziendale esistente, integrato come ERP[4], per evitare spese eccessive in applicazioni sviluppate specificamente per la tracciabilità.
Le tecnologie di identificazione automatizzata, in particolare i **codici a barre** (*barcode,* codice di identificazione costituito da un insieme di elementi grafici a forte contrasto che può essere letto tramite un sensore a scansione e decodificato per leggere l'informazione che contiene) e l'**RFID** (*Radio-Frequency Identification*, tecnologia di identificazione automatica che funziona tramite onde a radiofrequenza), sono attualmente i metodi di tracciabilità più implementati utilizzando le applicazioni della tecnologia dell'informazione e della comunicazione (ICT).
Tutti i lotti identificati da uno stesso batch number (numero di lotto) sono considerati sotto ogni punto di vista lo stesso prodotto. Per questo motivo, se il consumatore, il distributore o il produttore stesso identifica un problema in un particolare prodotto, potrà usare il batch code (codice di lotto) per tracciare il manufatto al suo lotto d'origine e richiamare o togliere dalla catena di produzione tutta la merce difettosa. Un'operazione simile avrebbe scoraggiato chiunque una decina di anni fa, ma l'avanzamento tecnologico (sensori, programmazione, sistemi di comunicazione e Internet delle Cose (IoT)) ha reso possibile il tracciamento dei prodotti.
È dimostrato che l'RFID presenta molti vantaggi rispetto ai codici a barre in differenti aspetti, tra cui convenienza, velocità, scalabilità e accuratezza [22], [23].
Il codice QR è considerato un aggiornamento del codice a barre lineare in quanto fornisce maggiori capacità di memorizzazione e crittografia dei dati, inoltre è rispettoso dell'ambiente [24]. Un vantaggio che i codici QR hanno sui codici a barre tradizionali e RFID è la possibilità di essere decodificati da vari dispositivi, inclusi smartphone e computer. Ciò è stato reso possibile grazie a un'ampia gamma di software e applicazioni di decodifica QR disponibili sul mercato. Tuttavia, entrambi i tipi di codici a barre devono essere visibili e scansionati uno per uno per accedere alle informazioni contenute al suo interno, a differenza della modalità di lettura wireless invisibile dell'RFID in cui i dati possono essere decodificati automaticamente senza interazione umana [25].

[4] **Enterprise resource planning** (**ERP**), letteralmente "pianificazione delle risorse d'impresa") è un software che permette di gestire tutti i processi di business rilevanti di un'azienda e tutte le funzioni aziendali, come ad esempio contabilità, procurement, project management, gestione del rischio e compliance e operations per la supply chain [100], [101]. È il software di base delle imprese.

CAPITOLO 2

2. MODELLI E STRUMENTI

Nel seguente capitolo verranno analizzati i più importanti modelli e strumenti tecnologici esistenti per effettuare la tracciabilità del prodotto in maniera efficace ed efficiente.
L'**implementazione della tracciabilità** lungo una catena di approvvigionamento richiede lo sviluppo di sistemi in grado di fornire informazioni sull'intero ciclo di vita di un prodotto. I sistemi tecnologici di tracciabilità facilitano le aziende manifatturiere e i relativi partner commerciali a ricostruire in modo efficiente, preciso e veloce la storia di qualsiasi prodotto. Inoltre, permettono la condivisione tra le imprese di tutte le informazioni che vengono generate nelle varie fasi di realizzazione del prodotto, garantendo così la gestione efficiente dei processi produttivi e fornendo la previsione degli eventi critici. Ciò non sorprende in quanto, oggi, il mondo è dotato delle più recenti tecnologie di Industry 4.0 (intelligenza artificiale, robot, internet delle cose, big data, analytics, ecc.) per ogni campo, compreso quello agroalimentare.
Dopo un'approfondita analisi sulle tecnologie più utilizzate dalle aziende per tracciare un prodotto, ci si soffermerà sulla **Blockchain**. Quest'ultima rappresenta l'avanguardia delle tecnologie dell'Industry 4.0 che consente di semplificare le procedure di registrazione dei dati lungo la supply chain; rendendoli facilmente fruibili da tutti gli attori coinvolti all'interno di essa, evitando sprechi di tempo, monitorando e tutelando le informazioni registrate in tempo reale.
Successivamente, verrà approfondito il concetto di **Intelligenza Artificiale** (IA) che ormai è diventato essenziale per le aziende che vogliono progredire ed emergere sul mercato. Si tratta di un'intelligenza informatica in grado di replicare le capacità dell'essere umano tramite l'utilizzo di sofisticati algoritmi. Questi ultimi permettono l'apprendimento automatico tramite l'elaborazione dei dati, consentendo alle macchine di acquisire conoscenze per risolvere in maniera ottimale le sfide future. L'IA viene identificata come la "nuova rivoluzione" grazie alla sua capacità di trasformare il modo di lavorare all'interno delle aziende, creando nuovi e potenti modelli di business. Nell'automazione industriale, risulta di rilevante importanza integrare l'intelligenza artificiale nei processi aziendali per migliorare il tracciamento dei prodotti attraverso l'impiego di macchine intelligenti. Queste macchine sono capaci di scegliere l'operazione più opportuna da effettuare in base alla tipologia di prodotto esaminato e di interagire con gli altri strumenti aziendali al fine di ottimizzare il flusso produttivo, tenendo traccia di ogni singola fase svolta.
In conclusione, verrà trattato il tema della **Data Visualization**, uno degli aspetti più promettenti per l'analisi di grandi set di dati. Per un'azienda, i dati sono di vitale importanza, dunque la loro corretta analisi è fondamentale per il progresso aziendale. Non è così banale riuscire a interpretare i dati in maniera corretta, proprio per questo la data visualization costituisce un aspetto da non sottovalutare. Infatti, tramite la rappresentazione grafica, è possibile analizzare grandi mole di dati in maniera chiara e concisa, permettendo alle imprese di prevedere le migliori strategie da adottare sul mercato.

2.1 Analisi dei modelli e strumenti tecnologici per la tracciabilità

Insieme ad altre pratiche di Industria 4.0, la moderna tracciabilità del prodotto fornisce un prezioso meccanismo digitale per:

- una comprensione e una gestione approfondita del processo;
- un controllo assoluto della qualità;
- il debugging[5] di reclami, prodotti danneggiati, inefficienze nella produzione e distribuzione delle responsabilità.

La tracciabilità trova maggiore applicazione nel settore alimentare e agricolo, soprattutto per prevenire le epidemie e tutelare la salute pubblica [2]. Per questo motivo, vi sono maggiori obblighi definiti nella legislazione nazionale e internazionale per quanto concerne i requisiti di tracciabilità degli alimenti che le imprese devono rispettare al fine di mitigare i problemi ad esso correlati [26].
La tecnologia che si trova nei sistemi di tracciabilità è spesso utilizzata nell'anticontraffazione dei prodotti. In alcuni casi, come nel settore farmaceutico, per ottenere ciò sono stati incorporati micro-tag inimitabili nel farmaco. Questo può essere fatto, ad esempio, etichettando il contenitore oppure la capsula del farmaco [27]. Nell'industria medica, tecniche simili sono usate nel tracciamento di dispositivi e strumenti medici [28].
Oltre a questo settore, anche le industrie manifatturiere aerospaziali hanno visto la necessità e i benefici nell'implementare la tracciabilità dei loro prodotti e processi. Airbus, costruttore multinazionale europeo di aeromobili, dal 2009 utilizza le etichette RFID al fine di tracciare elettronicamente le parti dei prodotti per tutto il loro ciclo di vita [29].
La tracciabilità è impiegata anche per monitorare le operazioni delle macchine, come la lavorazione CNC[6], utilizzando il linguaggio di controllo delle macchine utensili. Integrando un sistema di tracciabilità con queste macchine, sono disponibili più dati sul prodotto e sui processi di produzione [30]. Esistono le cosiddette "*macchine per la tracciabilità*" che oltre a imprimere in modo indelebile il codice sul pezzo, sono predisposte per essere inserite in linee automatiche e possono essere interfacciate con il software gestionale aziendale in modo bidirezionale. In questo modo, i prodotti vengono integrati efficacemente nel ciclo produttivo e gli errori umani sono ridotti al minimo. Con l'inserimento aggiuntivo di un sistema di visione, inoltre, è possibile verificare la qualità della marcatura e le informazioni del prodotto direttamente all'interno della linea produttiva.
Con specifico riferimento all'***industria agricola e alimentare,*** Opara ha identificato sei elementi che formano un ***sistema di tracciabilità completo*** in questo settore [31]:

1. **tracciabilità del prodotto**: determina la posizione fisica di un prodotto;
2. **tracciabilità del processo**: accerta il tipo, la sequenza e le variabili dei processi che hanno influenzato il prodotto;
3. **tracciabilità genetica**: determina la composizione genetica di un prodotto;
4. **tracciabilità degli input**: riguarda il tipo e l'origine dei materiali utilizzati nella produzione che non compongono direttamente un prodotto (ad esempio, il fertilizzante);

[5] Il **debugging** (o **debug**) indica l'insieme delle attività di controllo e correzione degli errori (bug) rilevati nel software da parte del programmatore [113].
[6] La **lavorazione a controllo numerico computerizzato** (**CNC**) è un processo di fabbricazione sottrattivo in cui il sistema elettronico, dotato di logica programmabile, determina il movimento di strumenti e macchinari di fabbrica offrendo i migliori risultati per una produzione massiva o di piccole serie. Il processo può essere utilizzato per controllare una vasta gamma di macchinari complessi ad alta velocità. Tramite le macchine CNC, è possibile eseguire attività di taglio tridimensionali in un unico set di istruzioni con elevati gradi di efficienza e in tempi brevi [108].

5. **tracciabilità delle malattie o dei parassiti**: rintraccia l'epidemiologia di parassiti, batteri e altri contaminanti;
6. **tracciabilità delle misure**: si riferisce ai dati di misurazione e ai risultati dei test sui prodotti.

Data l'importanza dei prodotti alimentari per la salute umana, il loro sistema di tracciabilità deve essere particolarmente completo: in questo caso l'intera configurazione descritta precedentemente rappresenta un sistema efficiente e un riferimento molto significativo da poter seguire in questo settore.
La tracciabilità può essere implementata a diversi livelli di completezza. Le definizioni esatte dei livelli di tracciabilità variano da una letteratura all'altra. Ad esempio, nell'industria manifatturiera elettronica, lo standard IPC-1782 suddivide la tracciabilità in quattro livelli (base, standard, avanzato e completo) [32] in base al grado di complessità da implementare.
Nello standard di tracciabilità, Global Standards One (GS1) [33], il livello di tracciabilità del prodotto deriva dalla combinazione di due fattori (come si evince nella Figura 2.1): ***precisione di identificazione*** e ***gerarchia logistica***. In questo caso, il livello più alto è raggiunto con un'identificazione serializzata unica sulle unità di consumo.
Per esempio, un fornitore di giocattoli potrebbe adottare un sistema di tracciabilità di livello inferiore, monitorando i prodotti in base ai codici di spedizione. Al contrario, un fornitore di prodotti medicali potrebbe utilizzare un sistema di alto livello per tracciare i singoli prodotti e garantire il riciclaggio o il corretto smaltimento alla fine del loro ciclo di vita.

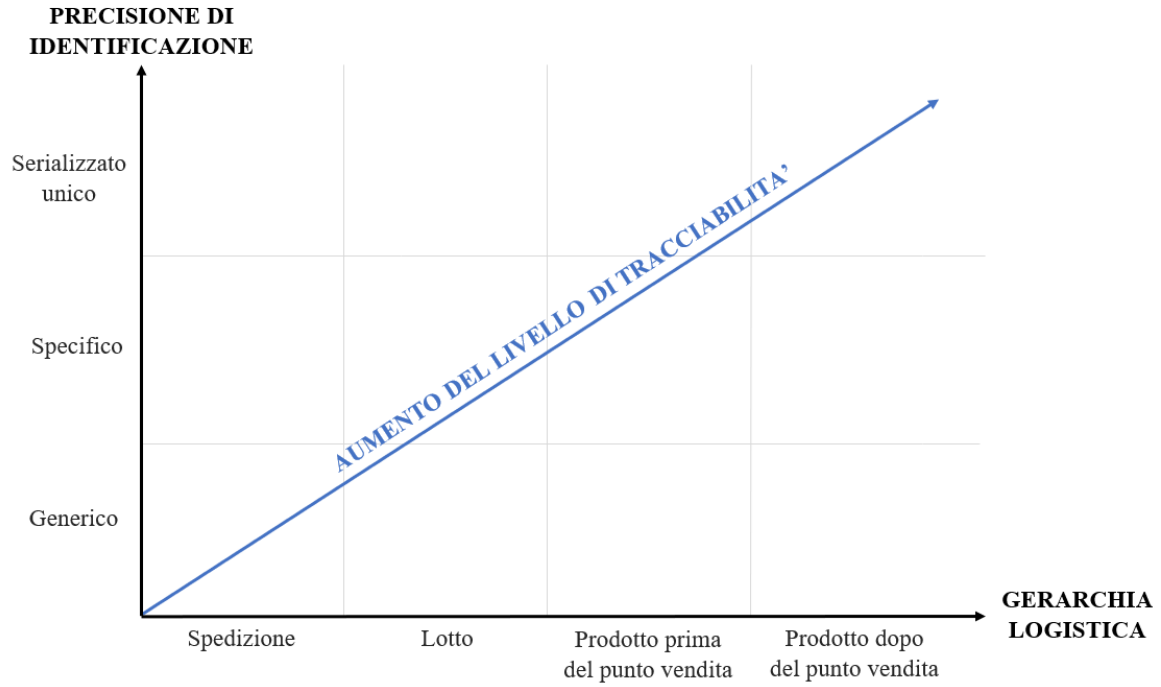


Figura 2.1*: Relazione esistente tra il livello di un prodotto tracciabile, la precisione di identificazione e la gerarchia logistica* [33], [2].

La tracciabilità gioca un ruolo importante nelle pratiche della Industria 4.0 e nelle fabbriche intelligenti. Inoltre, può diventare più potente quando è integrata con i dispositivi IoT (*Internet of Things*[7]) [34].
Cheng e Simmonds sostengono che: "Lo scopo della tracciabilità è quello di monitorare la transizione degli eventi all'interno di un sistema di produzione" [35].
Al fine di comprendere esattamente come possano essere tracciati i prodotti lungo la catena di approvvigionamento, nel prossimo paragrafo è stata effettuata un'analisi approfondita delle tecnologie oggi più frequentemente utilizzate dalle industrie per effettuare un monitoraggio efficace dei prodotti.

2.1.1 Identificazione del prodotto tracciabile e tecnologie di implementazione

Anche se vi sono differenti modi di implementare un sistema di tracciabilità, la procedura di base in essi sempre presente è il ***metodo con cui viene identificato un prodotto***. Per comprenderlo, bisogna introdurre un termine frequentemente usato in letteratura quando si parla di tracciabilità.
L'oggetto tracciabile come un prodotto, un lotto, una partita o una spedizione viene comunemente chiamato "**Traceable Resource Unit**" o **TRU** [36].
La tracciabilità viene anche definita [15]:

- **passiva** quando si riferisce alla sola visibilità dei dati;
- **attiva** quando il sistema ottimizza e controlla ulteriormente i processi lungo la catena di fornitura.

L'**identificazione del prodotto** si ottiene legando una TRU con un identificatore unico (es. codice specifico del prodotto), permettendo così alle parti fisiche di essere differenziate e collegate ai loro rispettivi dati [37]. Questo è talvolta chiamato "*Fingerprinting*".
L'identificazione è generalmente fatta attraverso la **marcatura diretta** o **indiretta** delle parti (DPM).
In particolare, la **marcatura diretta** comporta l'incisione della superficie del pezzo ed è il metodo preferito per le parti di prodotto di piccole dimensioni. Questa marcatura può essere numerica, alfanumerica, a barre o con codici 2D. Un esempio di marcatura diretta di piccole parti è la ***litografia***, come mostrato da Yun, Lee, Bang e Jeon [38], dove un codice micro-QR di 0,9x0,9 mm è stato inciso su un dispositivo microfluidico. Un'applicazione di marcatura diretta molto utilizzata è quella **laser**, usata per marcare una vasta gamma di parti di prodotto in maniera nettamente leggibile ed uniforme. Inoltre, è permanente e resistente all'usura, al calore e all'acido. La marcatura laser si annovera tra i processi di lavorazione più rapidi sul mercato. Ne conseguono una produttività elevata e vantaggi economici durante la lavorazione.
Per quanto concerne la **marcatura indiretta**, questa richiede un supporto ID separato. Comunemente si tratta di un adesivo con un codice numerico, alfanumerico, a barre o 2D. Questo metodo è generalmente usato solo sulle parti di prodotto di grandi dimensioni.

[7] L'**Internet of Things (IoT)** o **Internet delle Cose** viene definito come una tecnologia complessa e avanzata basata sulle connessioni web che consente, ad ogni oggetto reale, di acquisire una sua identità nel mondo digitale attraverso il collegamento alla rete Internet. In sostanza, l'IoT si fonda sul concetto di **oggetti "intelligenti" tra loro interconnessi** al fine di scambiare informazioni ed elaborarle in maniera ottimale [105].

Un riassunto delle tecniche comuni di marcatura delle parti di prodotto può essere trovato nella "**SIK DPM Competence Guide**" [39], come mostrato in Figura 2.2.

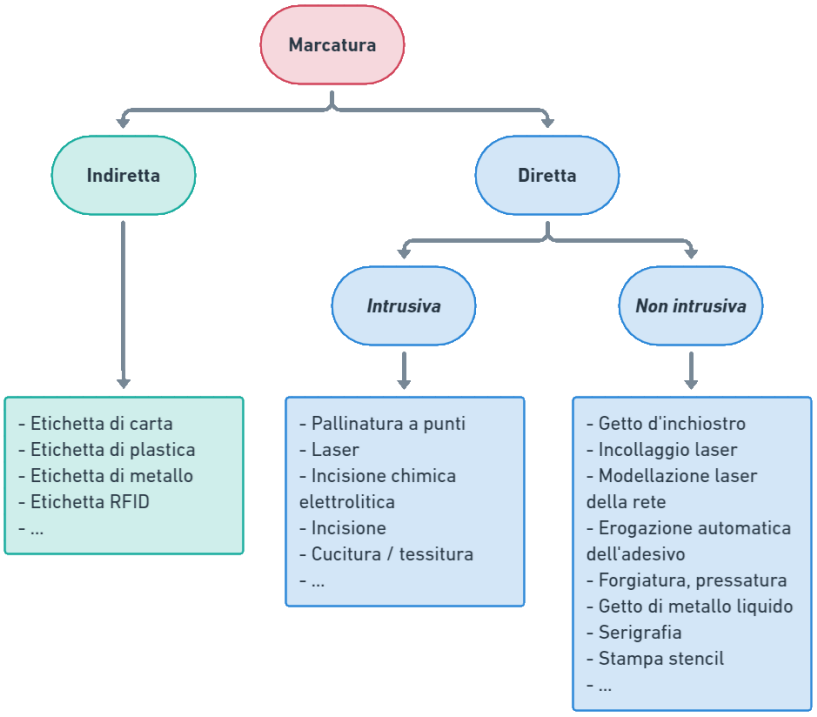


***Figura 2.2**: Diagramma rappresentativo delle tecniche più comunemente utilizzate per la marcatura dei pezzi, sia diretta che indiretta* [39].

Una delle maggiori **tecnologie** utilizzate nelle industrie contemporanee **per il tracciamento dei prodotti** è **RFID** che può essere di due tipi: **passivo** o **attivo**. La principale differenza tra **tecnologia RFID** di tipo "**passivo**" (priva di fonte di alimentazione) e quella di tipo "**attivo**" (dotata di batterie) è rappresentata dall'altezza delle frequenze sulle quali lavorano.
Quando si parla di **RFID passivo**, ci si riferisce a radiofrequenze che possono essere "basse" (low frequency - LF), "alte" (high frequency - HF), "altissime" (ultra-high frequency - UHF).
Il termine **RFID attivo**, invece, si riferisce a una tecnologia che opera su frequenze ancora più alte, dai 3 ai 7 GHz (ultra-wide band - UWB). Si tratta di specifiche tecniche che si riflettono nelle applicazioni delle varie tipologie di RFID. Ogni "altezza" di frequenza ha le sue caratteristiche che la rendono più o meno adatta a determinati utilizzi. Ad esempio, le alte frequenze (HF) sono molto utilizzate nei sistemi di controllo accessi e sono più efficaci in ambienti che presentano una forte presenza di metalli o liquidi. I sistemi RFID ad altissime frequenze (UHF) hanno il vantaggio di coprire aree più ampie con un numero maggiore di oggetti tracciabili, questo li rende molto utili in applicazioni in cui i pezzi da tracciare sono tanti. Un'applicazione molto utilizzata di questo tipo di tecnologia sono i **sistemi di geolocalizzazione in tempo reale** (**RTLS**) che, lavorando su frequenze estremamente elevate, sono in grado di garantire una maggiore precisione nella localizzazione e un tasso di aggiornamento degli spostamenti altissimo. Quest'ultimo aspetto è fondamentale nelle riproduzioni video degli spostamenti degli oggetti taggati che si muoveranno sui sistemi di visione senza "scatti" e, praticamente, in tempo reale. Un'altra applicazione importante di questa tecnologia è la **localizzazione spaziale**. Attraverso la tecnologia RFID attiva o passiva (a seconda del grado di

precisione richiesto) si può geolocalizzare in tempo reale qualsiasi cosa (come persone, mezzi, merci, attrezzature) e tracciarne i movimenti. Questo è particolarmente utile in un ambiente di magazzino perché permette di:

- ottimizzare i flussi e i percorsi dei veicoli;
- evitare colli di bottiglia;
- rendere gli spostamenti molto più efficienti, abbattendo tempi morti e problemi di traffico.

Oggigiorno, numerose aziende utilizzano i **tag RFID** per rintracciare i loro prodotti. Nello specifico, si tratta di dispositivi elettronici composti da un chip e un'antenna RF che, generalmente, ha una forma a spirale. Il chip contiene i dati che vengono trasmessi tramite l'antenna RF al reader che li legge e li aggiorna. Anche se il tag è passivo, dunque privo di alimentazione, le informazioni richieste possono essere trasferite ed elaborate. Il reader, attraverso l'antenna, emette un campo elettromagnetico che genera nella spirale del tag una tensione. Quest'ultima alimenta il chip in modo che esso possa comunicare le proprie informazioni irradiandole tramite la stessa spirale verso il reader, il quale sarà in grado di raccoglierle ed elaborarle.
I tag RFID abilitati dall'IoT sono stati utilizzati anche in sistemi di tracciabilità che permettono alle risorse di produzione di interagire e comunicare tra loro in tempo reale [34].
Nel mondo della logistica, un'applicazione particolarmente apprezzata per la sua efficacia e per l'efficienza che porta ai vari processi, è rappresentata dall'installazione di ***varchi logistici dotati di antenne RFID*** (vedasi Figura 2.3). Questi ultimi al momento del passaggio di colli, prodotti e pallet (anche a bordo di muletti) opportunamente taggati, ne identificano immediatamente il contenuto. Inoltre, grazie al sistema di gestione, i dati vengono trasferiti in tempo reale al gestionale per un aggiornamento immediato. Lo stesso principio può esser sfruttato anche con varchi più piccoli adatti al mondo del retail, per inventariare e identificare prodotti in uno o più negozi [40].

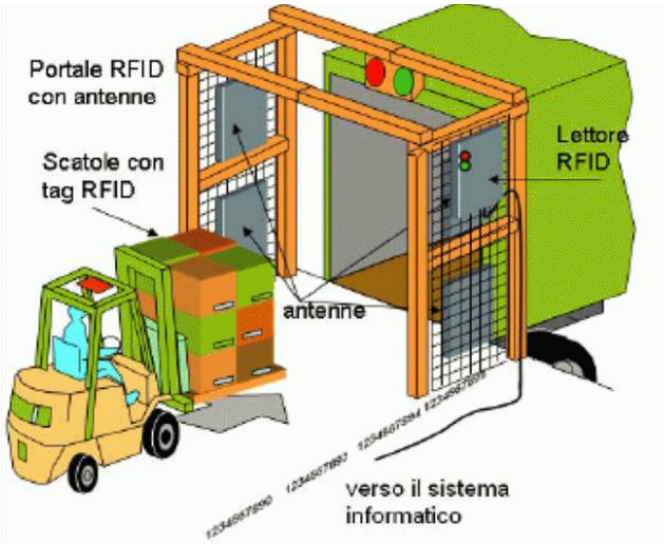


Figura 2.3*: Rappresentazione dei varchi logistici dotati di antenne RFID* [41].

Una sfida recente, spesso affrontata nella marcatura di un TRU nell'industria microelettronica, è lo spazio limitato di marcatura dovuto alle dimensioni ridotte dei prodotti (meno di 3 mm^2) [42]. Sono stati sviluppati chip RFID ultra-piccoli come il μ-chip di Hitachi che misura solo 0,3x0,3 mm [43].
mIDoT è un nuovo metodo innovativo che è stato sviluppato per identificare in modo univoco piccole parti utilizzando un punto di inchiostro glitterato di raggio inferiore a 1 mm [42] (come rappresentato in Figura 2.4). Questo inchiostro viene applicato sul prodotto tramite una penna. Il modello unico di glitter viene letto abbinando un'immagine microscopica del punto con un database.
Uno dei principali vantaggi è rappresentato dal fatto che l'inchiostro è un prodotto di consumo molto economico. Si tratta, infatti, di una miscela di inchiostro di base con microparticelle che formano irregolarità casuali sulla superficie. Poiché le irregolarità diventano naturalmente uniche per ogni punto, qualsiasi prodotto viene esclusivamente identificato abbinando le caratteristiche della sua immagine. Di conseguenza, il punto funziona come un identificatore unico di un oggetto e questo è utile come alternativa al codice a barre, tag RFID o marcatura. Questo quadro di identificazione permette di rintracciare piccole parti e di osservare in dettaglio il processo di fabbricazione.
mIDoT utilizza il metodo di illuminazione "FIBAR" con una nuova modifica per le immagini microscopiche al fine di catturare le micro-irregolarità della superficie come caratteristiche di immagine robuste (ad esempio le impronte digitali), consentendo così la reale corrispondenza dell'immagine richiesta per l'identificazione su larga scala.
Anche se mIDoT ha un costo basso del materiale, il costo per tempo di elaborazione e la sua relativa memorizzazione risulta essere decisamente elevato.

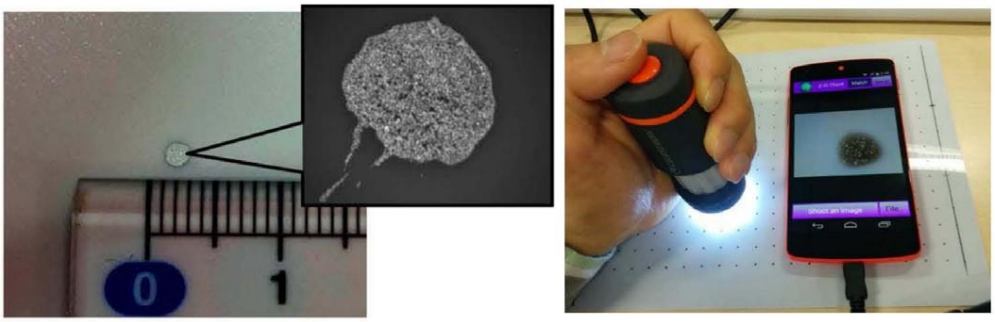


***Figura 2.4**: Immagine di un marchio mIDoT e del processo di scansione* [42].

Grazie al loro basso costo e alla facilità d'uso, i **codici a barre** sono diventati ampiamente utilizzati nella vendita al dettaglio negli ultimi trent'anni e ora facilitano il controllo dell'inventario e la registrazione delle scorte. Un codice a barre è un modello unidimensionale di spazi paralleli e barre disposte a rappresentare dieci cifre. Le informazioni in esso codificate possono essere lette da uno ***scanner ottico di codici a barre*** che invia le informazioni a un sistema in grado di memorizzarle ed elaborarle.
I **codici a barre bidimensionali** (**2D**) immagazzinano più informazioni dei **codici a barre monodimensionali** (**1D**) perché, al posto di barre e spazi, sono costituiti da una combinazione di punti e spazi disposti in una ***matrice 2D*** [44]. Questi codici vengono applicati sulla superficie del prodotto e contengono importanti informazioni su di esso, tra cui l'ID del lotto di produzione, il nome dell'azienda e i risultati della verifica di qualità.

Grazie alle loro dimensioni, un **codice 2D** è in grado di essere circa 30 volte più piccolo di un **codice 1D** che codifica gli stessi dati (vedasi Figura 2.5). In questo caso, ogni marchio ha la stessa larghezza di barra e la stessa scala di dimensioni delle celle.

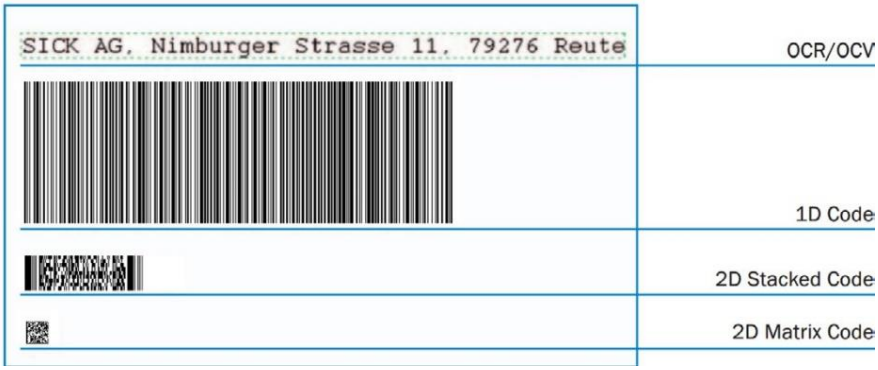


***Figura 2.5**: Variazione di densità d'informazioni ottenibile con diverse strutture di codice* [39], [2].

I tipi più comuni di codici a barre 2D sono il **QR-code**, la **matrice di dati** e il **PDF417**, dove quest'ultimo è significativamente più grande degli altri due.
I **codici a risposta rapida** (**QR-code**) consistono in moduli neri (punti quadrati) disposti in una griglia quadrata su uno sfondo bianco. Questi codici possono essere letti da un ***dispositivo di imaging*** (come una macchina fotografica o uno scanner) ed elaborati utilizzando una correzione di errore ***Reed-Solomon***[8] fino a quando l'immagine viene interpretata in modo appropriato.
La dimensione della griglia rappresenta quella di un singolo modulo. Secondo lo standard ISO/IEC 18004:2006, la dimensione di un modulo è di 4×4 pixel con una risoluzione di stampa di 300 punti per pollice. Questa dimensione garantisce la ***leggibilità*** dalla maggior parte dei dispositivi ottici.
La quantità di dati che possono essere immagazzinati nel QR-code dipende:

- dalla ***modalità di codifica***, la quale può essere numerica, alfanumerica o byte-binario;
- dalla ***versione*** che indica la dimensione complessiva del simbolo;
- dal ***livello di correzione degli errori*** (L, M, Q o H) utilizzato.

Inoltre, le informazioni raccolte e ricercate tramite dispositivi portatili, compresi i telefoni cellulari, sono diventate un mezzo efficace per una migliore gestione dei prodotti e per garantire una soddisfacente esperienza del cliente.
Tarjan et al. [45] ha condotto un test, in stato stazionario, basato sull'utilizzo di diversi telefoni cellulari a una distanza fissa di 15 cm e ha costatato che la ***leggibilità*** del QR-code non è direttamente influenzata dal numero di caratteri codificati o dal livello di correzione degli errori, ma solamente dalla dimensione dei moduli. Invece, Qian, Du, Zhang, Fan, e Yang [46] hanno effettuato dei test sulla tracciabilità dei prodotti in una catena di produzione continua, in situazioni non statiche (cioè sistemi in movimento). In questo caso, i risultati emersi hanno dimostrato che la distanza di lettura,

[8] Il **codice Reed-Solomon** è un tipo di codice lineare non binario di rilevazione e correzione d'errore, inventato da Irving S. Reed e Gustave Solomon. Viene utilizzato per correggere errori di flusso in diverse importanti applicazioni di comunicazione digitale e memorizzazione di dati [106].

la velocità del nastro e l'interazione tra la distanza di lettura e la dimensione del codice, influenzano significativamente la ***leggibilità*** del QR-code.
Steinberger, Rothmund e Auernhammer [47] hanno sviluppato un'attrezzatura mobile per la raccolta di informazioni agricole che trasmette via internet le informazioni al server. Recentemente, la scansione dei QR-code per l'agroalimentare usando i telefoni cellulari è diventato un metodo di tracciabilità conveniente. Gli studi e le applicazioni esistenti forniscono prove solide per l'utilizzo di etichette QR-code attaccate a superfici regolari. Tuttavia, oggi, ci sono anche applicazioni presenti su tipi di prodotti con superfici curve, nonostante per alcuni aspetti rappresenti ancora una sfida in termini di efficienza.
La **matrice di dati** è fisicamente il più piccolo codice 2D con una dimensione minima di 10x10 moduli rispetto al QR-code che è 21x21 moduli.
Lo standard ECC200 definisce come metodo di codifica più utilizzato quello della ***matrice di dati*** implementata con l'***algoritmo Reed-Solomon***. Il Center for Automatic Identification dell'Ohio University ha condotto uno studio dove ha trovato che la probabilità statistica di un errore di lettura per una matrice di dati Reed-Solomon è di 1 su 613 milioni (caso migliore). In confronto, un codice a barre standard 39 aveva una probabilità di lettura errata di 1 su 4,5 milioni (caso migliore) [48].
GS1 Datamatrix Guideline è un documento tecnico che cerca di standardizzare il modo in cui le matrici di dati sono implementate in qualsiasi settore per sistemi aperti. Questo documento contiene raccomandazioni per la codifica (basata su ECC200), la stampa e la lettura dei codici ed è usato da molte industrie, tra cui quelle mediche, automobilistiche ed aeronautiche.
Nonostante le numerose tecniche di marcatura dei prodotti, le matrici di dati risultano essere il metodo di marcatura moderno più popolare grazie alle loro dimensioni compatte, alla ridondanza, al costo e alle numerose opzioni di marcatura disponibili. L'RFID è generalmente usato in prodotti più grandi e di maggiore valore, dove la marcatura visiva non è fattibile.
Infine, il **PDF417** è un codice 2D inventato da Ynjiun Wang nel 1991 per conto della Symbol Technologies (produttore americano e fornitore mondiale di apparecchiature mobili di acquisizione e consegna dei dati). **PDF** significa **Portable Data File**, mentre il numero **417** deriva dal fatto che ciascuna sequenza in un singolo codice a barre presenta 17 moduli ed è composta esattamente da 4 barre e 4 spazi. Nonostante i PDF417 possono codificare fino a 1.800 caratteri ASCII[9] per codice a barre o fino a 1.100 caratteri binari per simbolo, non sono mai diventati codici ampiamente utilizzati [49].
Tra le altre tecnologie che consentono di effettuare efficacemente la tracciabilità di un prodotto, vi è la **Near Field Communication** (**NFC**). Si tratta di una tecnologia wireless emergente per la comunicazione bidirezionale a corto raggio tra dispositivi portatili e tag elettronici, permettendo a entrambi sia di ricevere che d'inviare informazioni e dati [50].
La maggior parte degli smartphone, tablet e altri strumenti elettronici di comunicazione moderni sono dotati di un dispositivo per la connettività NFC, fornendo una solida base per espandere la portata delle applicazioni per il rilevamento analitico [51]. Utilizzando le caratteristiche del trasferimento del segnale wireless, i sensori NFC permettono agli smartphone di ottenere rapidamente dati di rilevamento leggendo un tag NFC senza connessioni fisiche. Di norma, la distanza massima alla quale

[9] **ASCII** (American Standard Code For Information Interchange) è un codice standard per la trasmissione di dati sia testuali (lettere, numeri e segni di punteggiatura) sia comandi di dispositivi non di input (caratteri di controllo). Come altri sistemi di codifica, converte le informazioni in formati digitali standardizzati che permettono ai computer di comunicare tra loro e di elaborare e memorizzare i dati in modo efficiente [107].

due dispositivi NFC possono comunicare tra loro è di circa 5 centimetri. In realtà, molte società sfruttano questo sistema per offrire servizi ai clienti al fine di aumentare la loro fiducia e dargli la possibilità di accertare la qualità del prodotto.
I **tag BLE** (detti anche **Beacon** o **tag Bluetooth**) sono simili ai tag RFID attivi. Hanno batterie incorporate che forniscono loro lunghe distanze di lettura. Infatti, a differenza di un Tag NFC non devono essere avvicinati ai dispositivi portatili (come lo smartphone), ma è il tag BLE stesso che inviando segnali a tutti i dispositivi nel suo raggio d'azione comunica con il ricevitore (ad esempio, un'antenna o un device). Inoltre, il raggio è molto più ampio, in media è di circa 50-70 metri ma alcuni Beacon arrivano fino a 200 metri [52]. La differenza sostanziale tra BLE e RFID è che i Beacon lavorano sulla tecnologia Bluetooth Low Energy (BLE) che è altamente efficiente dal punto di vista energetico. BLE è, inoltre, un protocollo universalmente disponibile che è anche una caratteristica presente nella maggior parte dei chipset GSM (in altre parole, il cellulare), dando ai Beacon il vantaggio strategico in termini di efficacia dei costi e scalabilità [53]. Tutti i BLE hanno bisogno di un gateway hotspot come un telefono cellulare o un dispositivo Bluetooth abilitato GSM/W-Fi.
I dispositivi di tracciamento o monitoraggio basati su **GPS/GSM** possono anche essere gateway hotspot in grado di rilevare i Beacon nei loro dintorni. Se usati insieme, ipotizzando una situazione di trasporto dove è richiesto un dispositivo portatile per rilevare i Beacon, allora la soluzione diventa ottimale per il monitoraggio dei pacchi lungo l'intera catena di fornitura.

2.1.2 Quadro di riferimento

Oltre alle **tecnologie di implementazione** per l'identificazione di un prodotto in un sistema di tracciabilità, il **quadro di riferimento** rappresenta un altro aspetto chiave derivante da alcuni studi esaminati sulla letteratura.
Un **quadro di riferimento** è una parte essenziale della progettazione di qualsiasi sistema di tracciabilità, poiché permette a un'azienda di adattare un sistema ai propri prodotti e requisiti specifici.
Olsen e Borit [37] hanno identificato le relazioni esistenti tra i componenti di un sistema di tracciabilità e le loro rispettive opzioni di implementazione riassumendoli in tre meccanismi principali da adottare (vedasi Figura 2.6):

1. un meccanismo per identificare una TRU (ad esempio la marcatura);
2. un meccanismo per registrare gli attributi delle TRU (ad esempio la registrazione dei dati di prova delle parti);
3. un meccanismo per documentare le trasformazioni, le quali possono essere di tre tipi:
    - processo con un input, un output;
    - processo con un input, più output (splitting);
    - processo con più input, un output (merging).

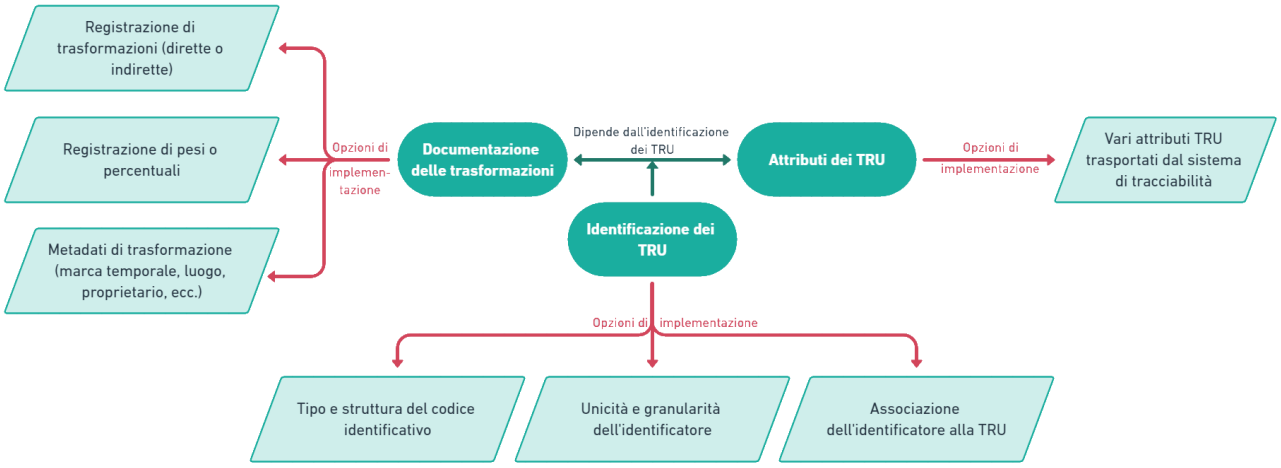


***Figura 2.6**: Diagramma rappresentativo delle componenti di un sistema di tracciabilità con le rispettive opzioni di implementazione, come identificati da Olsen e Borit* [37].

Questo è paragonabile ai cinque sotto-processi per la tracciabilità interna menzionati nel GS1 Global Traceability Standard [33]: movimento, trasformazione, immagazzinamento, uso e distruzione. Regattieri, Gamberi e Manzini [54] hanno creato un quadro di riferimento generale per implementare un sistema di tracciabilità dei prodotti (come si evince dalla Figura 2.7), il quale si deve basare su quattro pilastri fondamentali:

1. l'identificazione del prodotto;
2. i dati da tracciare;
3. il percorso del prodotto (processo di produzione);
4. gli strumenti di tracciabilità dei prodotti (hardware).

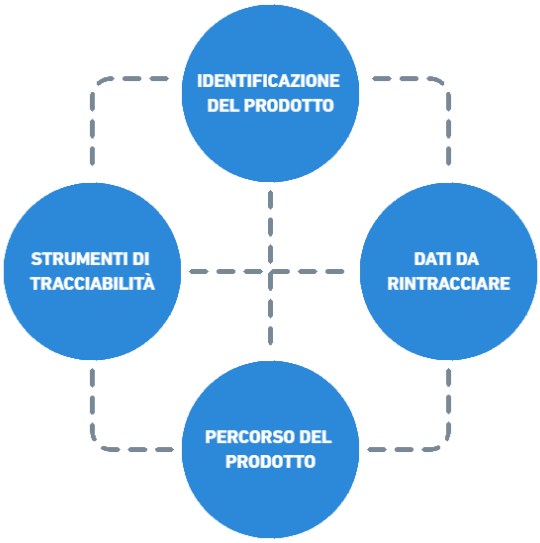


***Figura 2.7**: Quadro di riferimento generale a quattro pilastri per implementare un sistema di tracciabilità* [54].

Per ogni pilastro, è stato identificato un certo numero di variabili che devono essere considerate quando si costruisce un sistema di tracciabilità.
L'***identificazione del prodotto*** è il primo passo fondamentale da tenere in considerazione. Un aspetto in esso contenuto che può condizionare il sistema di tracciamento è la struttura della distinta base (BOM), cioè il numero di parti che compongono il prodotto. Un gran numero di piccoli componenti "tracciati" nel prodotto finito comporta problemi diversi rispetto a un'unica materia prima "tracciata" che si divide in diversi sottocomponenti "tracciati".
Il secondo pilastro fondamentale riguarda i ***dati da tracciare***. Le caratteristiche delle informazioni che il sistema deve gestire, ad esempio legate al tipo (cifre, stringhe, range, ecc.), al numero o ai livelli di riservatezza, sono assolutamente rilevanti per una corretta progettazione.
Un sistema di tracciabilità del prodotto deve prendere in considerazione il processo di produzione, quindi il terzo pilastro è il ***percorso del prodotto***. Il sistema deve registrare la "vita del prodotto" lungo la catena di approvvigionamento, quindi sia attraverso le attività di produzione che quelle di monitoraggio o stoccaggio.
Chiaramente, i tempi di consegna del prodotto, le attrezzature necessarie, il grado di automazione del processo e altre informazioni su di esso hanno un impatto diretto sulla tracciabilità. In pratica, diverse soluzioni tecniche possono essere utilizzate in un sistema di tracciabilità (codice alfanumerico, codice a barre o RFID). La scelta finale deve considerare il grado di compatibilità con il prodotto e il processo di produzione, il grado di automazione supportato dalla catena di fornitura analizzata e, in generale, la conoscenza lungo il canale di fornitura-produzione.
La precisione e l'affidabilità dei dati richiesti possono guidare la scelta dello ***strumento di tracciabilità*** (quarto e ultimo pilastro per implementare un sistema di tracciabilità dei prodotti). Ovviamente, il costo è un fattore rilevante e quindi deve essere preso in considerazione.
I progetti del quadro di tracciabilità presentano una struttura fondamentale simile, che consiste in tre componenti chiave: identificazione del prodotto, documentazione di trasformazione/routing e tracciamento degli attributi del prodotto. L'implementazione fisica dell'hardware nei sistemi di tracciabilità varia notevolmente a causa delle sfide uniche affrontate nei diversi settori. Le sfide comuni trovate in tutta la letteratura sono:

- dimensioni minuscole del prodotto;

- grandi quantità di prodotto;
- linee di produzione ad alta velocità;
- riservatezza dei dati;
- elaborazione dei dati;
- integrazione aziendale;
- produzione continua;
- alti costi di implementazione.

Un'ultima caratteristica da non sottovalutare per la realizzazione di un sistema di tracciabilità completo è la **protezione dei dati** raccolti nelle varie fasi di produzione di un prodotto.
Man mano che le fabbriche diventano più digitalizzate c'è una crescente minaccia per i dati critici dei prodotti (vitali, da preservare e proteggere), soprattutto tra i diversi stabilimenti di produzione. Recentemente, la blockchain è stata usata come un modo per rendere a prova di manomissione grandi quantità di dati generati dai sistemi di tracciabilità [55]. La blockchain è, dunque, una tecnologia promettente che garantisce la salvaguardia dei dati e permette a tutte le parti interessate di controllare l'intera storia di un prodotto in tutta sicurezza [56].

2.2 La Blockchain

I traffici illeciti, le pratiche di produzione non etiche e le fragili catene di approvvigionamento hanno messo le industrie sotto un'immensa pressione da parte dei cittadini e dei governi affinché seguano mezzi di produzione sostenibili. Ci si aspetta che le industrie siano trasparenti nel loro funzionamento e migliorino la visibilità a livello operativo e organizzativo.
In questo scenario, blockchain è emersa come una possibile soluzione per implementare la tracciabilità dei prodotti creando una traccia di informazioni e garantendo al contempo la sicurezza e l'immutabilità dei dati. Inoltre, permette di dare nuove risposte ai diversi bisogni delle imprese, delle organizzazioni, dei cittadini e dei consumatori. Per diversi anni, la conoscenza e l'attenzione verso la blockchain è stata circoscritta prevalentemente al mondo degli sviluppatori. Oggi rappresenta uno dei più interessanti e dibattuti argomenti di ricerca.
Una **blockchain** può essere definita come "*un libro mastro per la registrazione delle transazioni, gestito all'interno di una diffusa rete composta di nodi (cioè personal computer) reciprocamente inaffidabili. Sostanzialmente, una blockchain è una lista di blocchi ordinati, dove ogni singolo blocco memorizza un elenco di transazioni di dimensioni variabili*" [57].
La prima blockchain è stata introdotta nel 2008 da Satoshi Nakamoto, pseudonimo dell'inventore della criptovaluta Bitcoin. Ad oggi, echeggia ancora una certa aurea di mistero in quanto non è chiaro se il nome si riferisce ad una singola persona o ad un gruppo di persone.
Dopo lo scoppio della crisi finanziaria globale, la valuta digitale denominata "Bitcoin" divenne l'alternativa alle valute fiduciarie convenzionali. Inoltre, rappresenta uno degli asset finanziari più importanti grazie alla sua elevata capitalizzazione di mercato, alle sue dinamiche di transazione e alla maggiore volatilità rispetto agli asset tradizionali. Questa famosa e riconosciuta applicazione della blockchain in campo finanziario ha permesso lo scambio di denaro digitale in modo sicuro all'interno di una rete di nodi anonimi, senza un intermediario terzo (cioè una banca centrale). Inoltre, le criptovalute sono l'unico tipo di asset senza barriere universalmente riconosciuto.

Tuttavia, la tecnologia blockchain ha infinite applicazioni in vari campi come la progettazione di contratti intelligenti per tracciare le frodi nella finanza o condividere in modo sicuro le cartelle cliniche tra gli operatori sanitari. Dunque, è attualmente utilizzata in molti settori come: sanità, città intelligenti, energie rinnovabili, supply chain.
La Figura 2.8 mostra come una blockchain migliora il percorso delle transazioni [58].

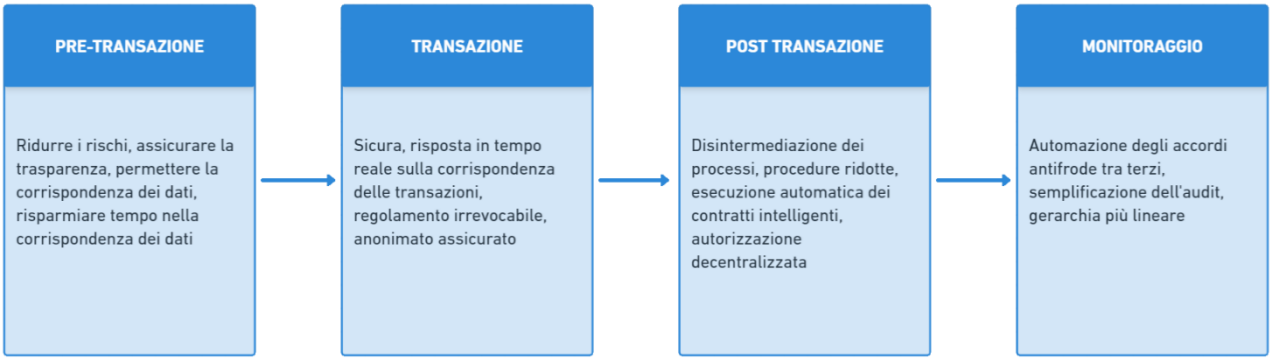


***Figura 2.8**: Il viaggio delle transazioni supportato dalla blockchain* [58].

Il successo della blockchain deriva da un cambiamento di paradigma evoluto tra le industrie, il quale ha portato a un passaggio dalla produzione centralizzata alla produzione decentralizzata. Anche la tendenza travolgente dell'Industria 4.0 ha richiesto profonde trasformazioni dell'attuale paradigma di personalizzazione del prodotto verso un paradigma più collaborativo tra gli attori coinvolti lungo la catena di approvvigionamento [59].
Generalmente, individui e organizzazioni mancano della fiducia reciproca quando si verificano scambi o transazioni in assenza di accordi contrattuali improrogabili. Ciò genera un equilibrio inefficiente sul mercato. È comprensibile che costruire la fiducia tra i partner della catena di approvvigionamento, specialmente quelli situati in diverse parti del globo, sia un processo lento e impegnativo. Inoltre, il ruolo dei revisori della catena di approvvigionamento di terze parti nel documentare e segnalare la violazione dei codici di condotta è spesso messo in discussione e quindi rimane poco affidabile. Per questo motivo, gli individui coinvolti tendono a competere tra di loro piuttosto che cooperare. Questo comportamento, esplicato nel noto *dilemma del prigioniero* (utilizzato nella Teoria dei Giochi, nata in ambito economico per spiegare le dinamiche di competizione del mercato), dimostra che in assenza di comunicazione tra le parti, queste tendono a competere piuttosto che collaborare tra di loro. Questo risultato si esplica in un equilibrio sul mercato sub-ottimale determinato dal fatto che ogni attore tende a scegliere la propria strategia sulla base delle aspettative avversarie. Al fine di evitare queste problematiche, è necessaria una condivisione accurata delle informazioni per lunghi periodi di tempo.
Operando su una struttura di rete decentralizzata, con la sua caratteristica di immutabilità dei dati, l'implementazione della blockchain è una soluzione appropriata per consolidare la fiducia tra gli attori della catena di approvvigionamento, grazie a una maggiore trasparenza delle informazioni condivise. La tecnologia blockchain in combinazione con lo scambio elettronico di dati permette anche di risolvere i problemi legati al trasferimento delle informazioni tra i partner coinvolti in questo processo.

Per superare i problemi di fiducia, Yu et al. ha concettualizzato un prototipo di *produzione condivisa* basato sulla tecnologia blockchain. Dettagli cruciali per l'implementazione della produzione condivisa, come i dati di capacità in tempo reale da più fornitori, possono essere condivisi sulla rete blockchain che può facilitare e ottimizzare la distribuzione degli ordini e la condivisione delle risorse. In questo contesto, Zhang, Tao, Liu e Zuo hanno presentato una piattaforma basata su blockchain che supporta l'ottimizzazione della produzione e della distribuzione degli ordini, concentrandosi sulle richieste a breve e a lungo termine dei consumatori [60]. In questa direzione, blockchain crea una catena cronologica di registrazioni di tutte le transazioni della supply chain in blocchi criptati e immutabili per facilitare la tracciabilità dei materiali.

2.2.1 Blockchain: logica di funzionamento

La blockchain a volte viene indicata come **Distributed Ledger Technology** (**DLT**), ossia **sistemi che si basano su un registro distribuito** in cui tutti i nodi di una rete possiedono la stessa versione di un database, il quale può essere letto e modificato in modo indipendente da ogni singolo nodo. In questo caso, le modifiche al registro vengono regolate tramite algoritmi di consenso. Questi ultimi permettono di raggiungere il *consenso* tra le varie versioni del registro, nonostante i partecipanti della rete possano aggiornarle in maniera indipendente.
Oltre agli algoritmi di consenso, anche l'uso di decentralizzazione e hashing crittografico rende la storia di qualsiasi bene digitale inalterabile e trasparente.
La combinazione di informazioni pubbliche con un sistema di controlli e contrappesi aiuta la blockchain a mantenere l'integrità, creando fiducia tra gli utenti attraverso la tecnologia.
Una semplice analogia per capire la tecnologia blockchain è un Google Doc. Quando creiamo un documento di Google e lo condividiamo con un gruppo di persone, esso viene distribuito invece che essere copiato o trasferito. Questo crea una catena di distribuzione decentralizzata che dà a tutti l'accesso al documento nello stesso momento. Inoltre, ciò permette agli utenti di effettuare in tempo reale modiche al documento senza alcuna limitazione, rendendo i cambiamenti completamente trasparenti. Naturalmente, la blockchain è più complicata di un Google Doc, ma l'analogia è appropriata perché illustra ***tre idee critiche della tecnologia***:

- i beni digitali sono ***distribuiti*** invece di essere copiati o trasferiti;
- l'asset è ***decentralizzato***, permettendo un accesso completo in tempo reale;
- un libro mastro trasparente dei cambiamenti preserva l'***integrità del documento***, il che crea fiducia nel bene.

Blockchain è una tecnologia particolarmente promettente e rivoluzionaria perché aiuta a ridurre il rischio, elimina le frodi e assicura trasparenza per una miriade di usi.
In un articolo della rivista MIT Technology Review, Mike Orcutt afferma che: "*Lo scopo di usare una blockchain è quello di permettere alle persone, in particolare a quelle che non si fidano l'una dell'altra, di condividere dati preziosi in modo sicuro e a prova di manomissione*" [61].

Al fine di comprendere la logica esistente dietro la tecnologia blockchain, si è scelto di basarsi sulla struttura della blockchain pubblica "Bitcoin". Ciononostante, è fondamentale chiarire che i principi e le funzionalità che verranno analizzate, potranno essere riadattate ad altre tipologie di blockchain (non basate sul bitcoin, ma su altri token).

L'infrastruttura elementare di una blockchain è costituita da:

- database distribuito;
- meccanismo di consenso;
- *token* come premio di convalida (definito come un insieme di informazioni digitali registrare e memorizzate su una blockchain e trasferibili tramite un protocollo. Inoltre, il token è in grado di conferire un diritto di proprietà ad un soggetto sull'insieme stesso di informazioni, trattandosi di un asset digitale che può essere scambiato tra due parti senza che sia necessaria l'azione di un intermediario).

Ma i concetti più importanti da tenere in considerazione sono:

1. *blocchi*;
2. *nodi*;
3. *transazioni*;
4. *miner*;
5. *timestamp;*
6. *ledger.*

A livello letterale, il termine "blockchain" si traduce in "catena di blocchi". Dunque, ogni catena è costituita da più blocchi e ogni **blocco** ha tre elementi fondamentali:

- i ***dati***;
- il ***nonce*** (un numero intero di 32 bit) che viene generato casualmente quando viene creato un blocco, il quale poi genera un *hash* nell'intestazione del blocco. Quindi, il valore dei bit determina il valore di soglia obiettivo di un hash a blocchi valido;
- l'***hash*** (un numero di 256 bit legato al nonce) che deve iniziare con un numero enorme di zeri, cioè essere estremamente piccolo.

Quando viene creato il primo blocco di una catena, un nonce genera l'hash crittografico. I dati nel blocco sono considerati firmati e legati per sempre al nonce e all'hash, a meno che non vengano estratti. In sostanza, un hash mappa una stringa di lunghezza irregolare in una stringa di lunghezza prefissata attraverso una funzione algoritmica informatica non reversibile. Quando una transazione è registrata in un blocco, il suo numero di hash è calcolato matematicamente in un blocco di crittografia contenente le informazioni necessarie per determinarlo. In poche parole, un hash prende un input di qualsiasi lunghezza e genera un output con una lunghezza fissa unica. Se un singolo valore nell'input viene modificato, l'output è estremamente diverso.
Le funzioni di hash sono usate ovunque nella tecnologia blockchain. Ogni blocco contenente dati è sottoposto a hash e le modifiche possono essere grandi o piccole. Per esempio, se un utente cerca di cambiare i dati memorizzati in un blocco, quest'ultimo avrà un valore di hash completamente diverso e dovrà assicurare che ogni nodo nella rete abbia conoscenza della modifica fatta aggiornando la copia del libro mastro di tutti gli utenti. Proprio per questo motivo, aumenta l'affidabilità e la trasparenza dei dati memorizzati nelle blockchain.
In sostanza ogni blocco contiene l'hash del blocco precedente, quindi i blocchi sono collegati tra di loro. Qualsiasi cambiamento fatto nelle informazioni di un blocco causa cambiamenti nel suo numero di hash. Pertanto, qualsiasi cambiamento indesiderato nelle informazioni dei blocchi può causare l'alterazione del numero di hash e il blocco diventa non valido per quelli successivi [62].

La seguente Figura 2.9 mostra un esempio della struttura della blockchain bitcoin su tre blocchi.

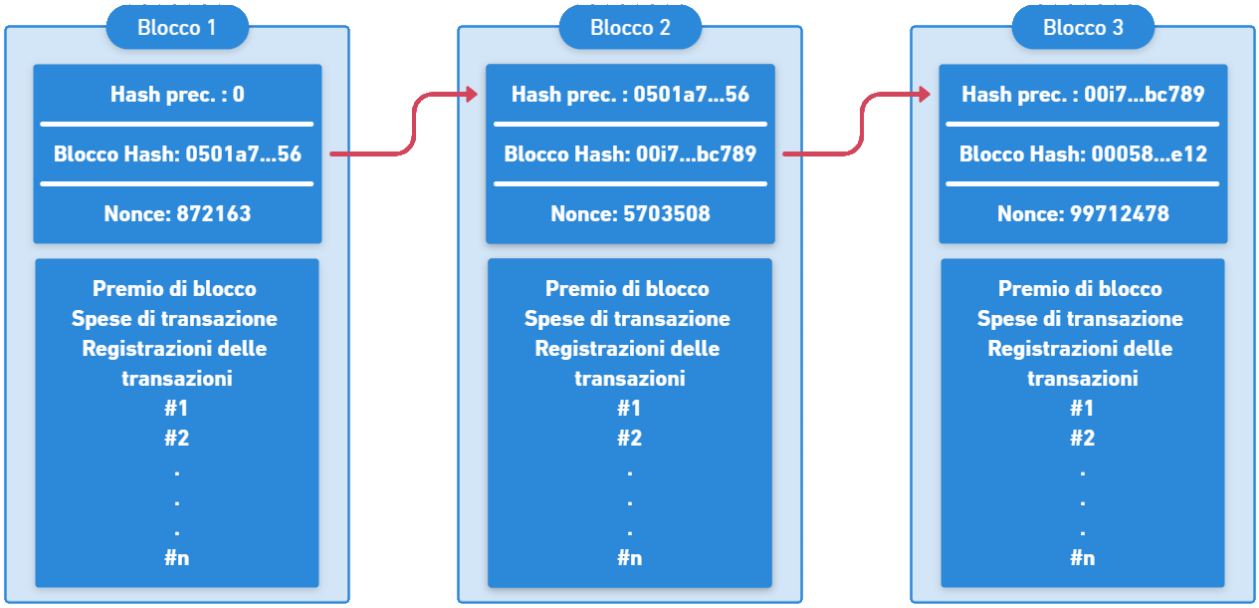


***Figura 2.9**: Struttura di una blockchain bitcoin su tre blocchi* [63].

Il "blocco 1" rappresentato nella figura antecedente è chiamato "***blocco Genesi***" in quanto non c'è nessun altro blocco prima di esso e la quantità di hash precedente è zero. Ogni blocco può contenere migliaia di *registrazioni delle transazioni* che vengono codificate da una funzione di hash prima della trasmissione attraverso la rete.
Per generare un valore di hash finale come puntatore, la blockchain usa la funzione dell'**albero di Merkle** (hash del blocco corrente). In questo modo, ogni blocco analizza e registra il codice di hash del blocco precedente e lo utilizza come garanzia di connessione tra i blocchi. Questa struttura permette all'utente di memorizzare grandi quantità di dati in modo sicuro ed efficiente.
L'albero di Merkle è una *struttura dati* di tipo *hash-based*, ovvero una semplificazione della lista di hash. In questo albero, il nodo foglia è un hash di *blocco di dati*. Ogni blocco figlio nella catena si riferisce allo stesso blocco del suo genitore e ha il medesimo valore di hash del genitore. L'identità dei blocchi figli dipende dall'identità del blocco genitore e varia di conseguenza. Quindi se il valore di hash del blocco genitore cambia, come risultato il puntatore all'hash precedente del blocco figlio viene cambiato. Questo processo continua fino a raggiungere ciascuno dei blocchi nipoti. Gli effetti a cascata fanno in modo che una volta che un blocco ha molte generazioni, non può essere manipolato senza obbligare a ricalcolare tutti i blocchi antecedenti (vedasi Figura 2.10). Questo permette di ridurre il costo della comunicazione dei dati e le risorse di calcolo [63].

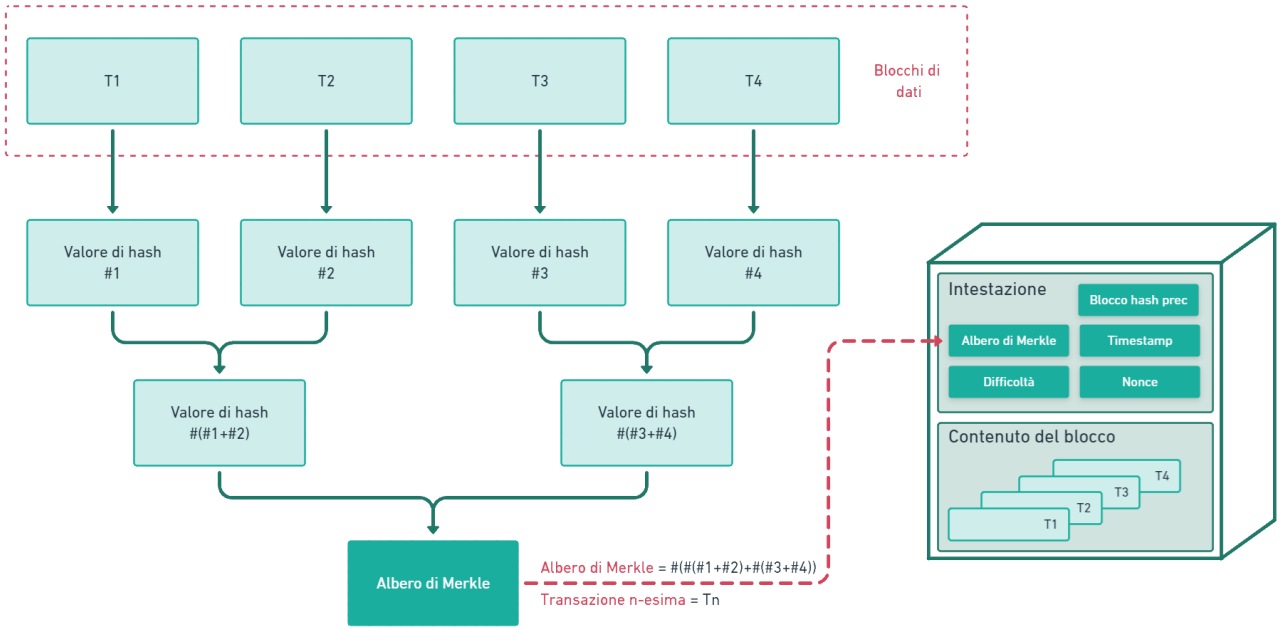


***Figura 2.10**: Diagramma rappresentativo dell'Albero di Merkle* [64].

Il libro mastro è distribuito attraverso i **nodi** collegati alla catena. I nodi possono essere qualsiasi tipo di dispositivo elettronico che mantiene il funzionamento della rete. Ogni nodo ha una copia esatta dell'intera blockchain e la rete deve approvare algoritmicamente ogni nuovo blocco creato affinché la catena sia aggiornata, affidabile e verificata. Poiché le blockchain sono trasparenti, ogni azione nel libro mastro può essere facilmente controllata e visualizzata. Inoltre, ad ogni partecipante viene dato un unico numero di identificazione alfanumerico che mostra le sue transazioni e permette di tenerne traccia.

I **miner** creano nuovi blocchi sulla catena attraverso un processo chiamato *mining* (cioè il processo di validazione di un blocco all'interno della blockchain Bitcoin). Nello specifico, i miner sono dei "personaggi" della blockchain che, attraverso un protocollo di validazione, consentono l'inserimento di un nuovo blocco di dati all'interno della catena. Questi ultimi usano un software speciale per risolvere il problema matematico incredibilmente complesso di trovare un nonce che generi un hash accettato. Poiché il nonce è un numero intero di solo 32 bit e l'hash di 256 bit, ci sono circa quattro miliardi di possibili combinazioni *nonce-hash* che devono essere analizzate prima di trovare quella giusta. Quando ciò accade si afferma che i miner hanno trovato il "***golden nonce***" e il loro blocco viene aggiunto alla catena.

In una blockchain ogni blocco ha il suo nonce e il suo hash unici, ma ognuno di essi fa anche riferimento all'hash del blocco precedente della catena. Dunque, fare un cambiamento a qualsiasi blocco precedente nella catena richiede la rivalutazione non solo del blocco con il cambiamento, ma anche di tutti i blocchi che vengono dopo. Infatti, estrarre un blocco non è facile, specialmente su grandi catene. Questo è il motivo per cui è estremamente difficile manipolare la tecnologia blockchain, poiché trovare i golden nonce richiede un'enorme quantità di tempo e potenza di calcolo. In conclusione, quando un blocco viene creato con successo, il cambiamento viene accettato da tutti i nodi della rete e il miner viene ricompensato finanziariamente.

Oggi per compiere l'attività di *mining* occorre impiegare una potenza di calcolo che può essere ritenuta eccessiva in termini di CPU e schede grafiche. Proprio per questo motivo, generalmente, i

miner riempiono intere fabbriche di calcolatori consumando così immense quantità di energia elettrica. Spesso, molti di questi sono localizzati in Paesi dove il costo dell'energia è molto basso. L'enorme investimento in calcolatori è giustificato dal fatto che non è detto che vinca l'utente che possiede più CPU ma, sicuramente, le sue probabilità di successo sono superiori a quelle degli altri utenti. Per questa ragione, negli ultimi anni, si è investito sempre di più in *computational power*. Infatti, più aumenta il potere computazionale richiesto per collegare due blocchi più il sistema diventa robusto e sicuro in quanto, chi volesse manipolarlo, dovrebbe investire in tantissima potenza computazionale, superiore a più della metà di quella totale (solo in questo modo riuscirebbe ad ottenere il *consenso*).
Un altro aspetto di fondamentale importanza da tenere in considerazione è **timestamp**. È necessario registrare l'ora in cui il blocco è stato creato. Il timestamp è un metodo usato per tracciare il tempo di creazione o di modifica di un documento in modo sicuro. Questo metodo sta diventando uno strumento essenziale nel mondo degli affari oggi, poiché permette alle parti coinvolte di identificare l'origine e la disponibilità di un documento con riferimento a data e ora. Altre informazioni contengono firme digitali, valori nonce, nBits e altri valori definiti dall'utente. Ogni utente ha due chiavi: una privata e una pubblica. La chiave privata è tenuta confidenziale e viene usata per firmare le transazioni dove bisogna criptare i dati. La chiave pubblica è conosciuta da tutti e viene utilizzata per convalidare e decifrare i dati nella fase di verifica della transazione, confermando così l'autenticità dei dati. In sostanza, una firma digitale contenente queste due chiavi viene utilizzata sia nella fase di firma che in quella di verifica delle transazioni.
Il **ledger** è un registro pubblico all'interno del quale sono presenti tutte le transazioni effettuate in maniera ordinata e sequenziale. Nell'ambito della contabilità, il *ledger* viene identificato come il libro mastro, dunque come lo strumento che consente di salvare tutte le transazioni realizzate dai diversi enti coinvolti nella blockchain. Tuttavia, nell'ambito dell'informatica, tale concetto è similare a quello di un database.
La tecnologia blockchain è un database completamente ***distribuito*** e ***decentralizzato***. Tale database è costituito da una catena ordinata di blocchi dove ogni blocco, a sua volta, presenta un elenco di transazioni custodite in maniera sicura e genuina all'interno di una rete (peer-to-peer). In altre parole, blockchain è una combinazione di computer collegati tra loro quindi non vi è un server centrale, il che significa che l'intera rete è decentralizzata. Infatti, uno dei concetti più importanti nella tecnologia blockchain è la ***decentralizzazione***. Nessun computer o organizzazione può possedere la catena.
Al fine di comprendere effettivamente tale concetto, è necessario individuare una definizione chiara di ciò che si intende con il termine "decentralizzazione", cosa comporta, quali sono le caratteristiche basilari, quali i benefici e gli aspetti di successo.
Partendo dalla definizione di sistema centralizzato come un *"sistema in cui l'informazione non fluisce, dunque non giunge a destinazione, se non passa attraverso il nodo centrale"*, si è giunti a esplicitare il concetto di decentralizzazione il quale *"non necessita che l'informazione passi da un nodo centrale, al contrario, ci sono tanti nodi in connessione tra loro che generano un network peer-to-peer"* [65].
Per avere un quadro completo a riguardo, un altro aspetto da chiarire è determinato dalla differenza esistente tra i sistemi decentralizzati e quelli distribuiti. Questa è da ricercare dal posto in cui vengono effettuati le transazioni, infatti in un sistema distribuito non tutti i processi delle transazioni vengono svolte nello stesso luogo.

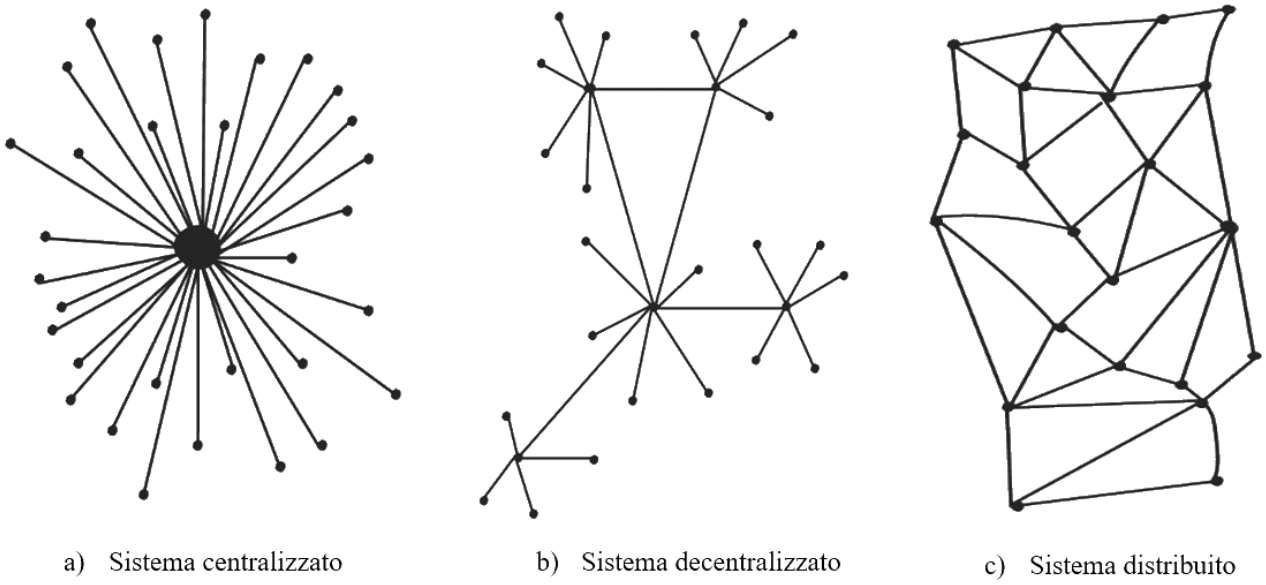


***Figura 2.11**: Differenti tipologie di sistemi caratterizzanti una blockchain*.

Esistono tre tipi di centralizzazione/decentralizzazione:

- **(de)centralizzazione architettonica**, la quale definisce la quantità di computer fisici di cui si compone un sistema (ovvero quanto un network è distribuito) e la robustezza del sistema nel caso in cui alcuni di essi si rompessero;
- **(de)centralizzazione politica**, la quale identifica il numero di individui o organizzazioni che controllano, in ultima analisi, i computer del sistema (ovvero il network) e stabilisce il concetto di "trust" all'interno dello stesso;
- **(de)centralizzazione logica**, la quale cerca di capire se l'interfaccia e le strutture dati che il sistema presenta riescono a lavorare indipendentemente anche se il sistema venisse diviso in due parti (quindi stabilisce il comune e condiviso *agreed state*, ossia il consensus all'interno del network).

Mettendo queste tre dimensioni su una matrice (vedasi Figura 2.12), si potrà osservare come una blockchain è *politicamente* e *architettonicamente decentralizzata*, in quanto rispettivamente nessuno la controlla e non c'è nessun punto centrale di fallimento infrastrutturale. Contrariamente, risulta essere *logicamente centralizzata* in quanto nelle blockchain vige un ***agreed state***, il cosiddetto ***consensus***, e tutto il sistema agisce come fosse un tutt'uno (ovvero un singolo computer). Tuttavia, nei casi in cui è possibile, risulta utile avere anche una decentralizzazione logica perché i sistemi logicamente decentralizzati tendono a sopravvivere a lungo alle partizioni della rete e funzionano bene in regioni del mondo che presentano scarsa connettività [66].

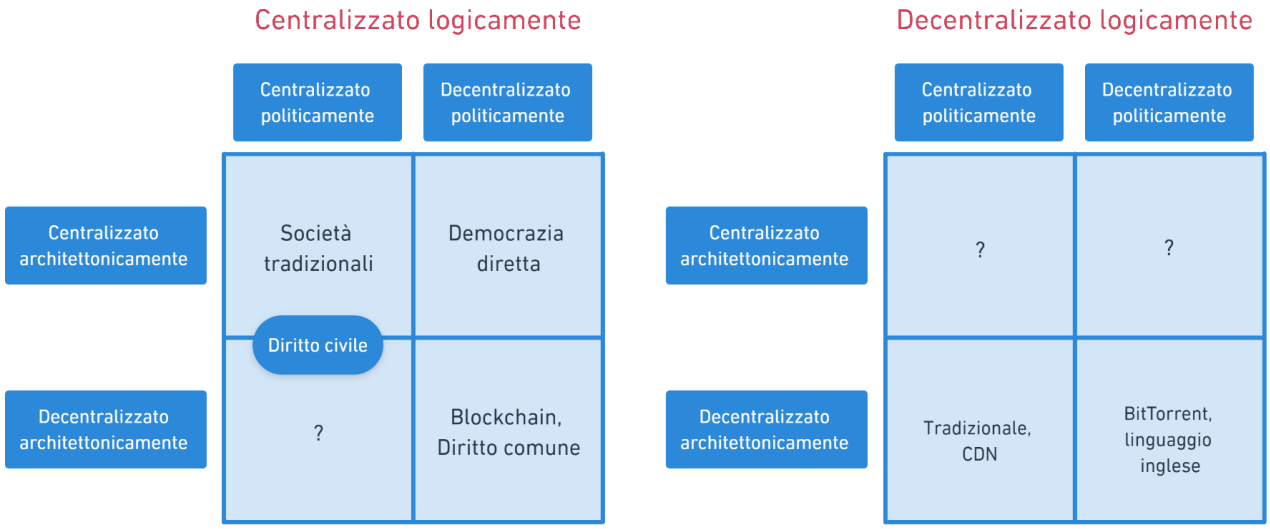


***Figura 2.12**: Matrice rappresentativa dei tre tipi di centralizzazione/decentralizzazione* [65].

L'utilità del decentramento è determinata dalla:

- **tolleranza ai guasti**: i sistemi decentralizzati hanno meno probabilità di fallire accidentalmente perché si basano su molti componenti diversi (per esempio, c'è una bassa probabilità che più computer collegati in un unico sistema si possano rompere o crashare tutti insieme nello stesso momento);
- **resistenza agli attacchi**: i sistemi decentralizzati sono più costosi da attaccare, distruggere o manipolare in quanto non presentano un nodo centrale che può essere aggredito a un costo più basso rispetto alla dimensione economica del sistema circostante;
- **resistenza alla collusione**: è molto più difficile per i partecipanti ai sistemi decentralizzati colludere il sistema cercando di avvantaggiare sé stessi a spese di altri partecipanti, come cittadini, clienti, impiegati e pubblico in generale [66].

Tuttavia, esistono alcuni svantaggi nell'utilizzo di un sistema decentralizzato:

- **perdita di focus**: una singola identità deve gestire un network costituito da tante persone, dunque cresce la probabilità di dispersione dell'informazione e ambiguità circa gli obiettivi e gli scopi finali;
- **duplicazione del lavoro**: ogni singola parte che compone un sistema decentralizzato deve svolgere la stessa attività delle altre e ciò fa aumentare in maniera proporzionale il livello dei costi, quello di attenzione e di energia richiesta;
- **velocità di azione**: si verifica un rallentamento in questi sistemi determinato dal maggior tempo richiesto per raggiungere il consenso di tutti i membri facenti parte della catena di blocchi.

Vantaggi e svantaggi caratterizzano anche i sistemi centralizzati, soprattutto in relazione ai costi amministrativi e al tracciamento delle informazioni. Dunque, l'adozione di una struttura centralizzata o decentralizzata dipende dalle scelte strategiche su cui si basa un'azienda. Ad esempio, negli ambiti di ricerca dell'innovazione o della diversificazione delle attività viene favorito un sistema decentralizzato [65].

2.2.2 Tipologie di blockchain

Ogni settore ha esigenze diverse per quanto riguarda il controllo della privacy e della sicurezza. Per venire incontro alle diverse necessità, la blockchain può avere tre strutture diverse:

- **pubblica** (non autorizzata);
- **privata** (autorizzata);
- **consortium** (ibrida).

La blockchain **pubblica** è anche definita ***permissionless*** (senza autorizzazioni) in quanto è accessibile a tutti gli utenti che decidono di connettersi e partecipare ed è implementata tramite una rete peer-to-peer (P2P). Si tratta di un'infrastruttura in cui l'accesso ai dati avviene senza utilizzare server dedicati. Ogni dispositivo connesso, detto "peer", può ricoprire sia il ruolo di client (componente hardware che accede alle risorse o ai servizi erogati da un'altra componente, detta *server)* che il ruolo di server (componente hardware o software che fornisce i dati richiesti da una o più componenti, dette *client*). Si basa su una de-gerarchizzazione dei nodi che la compongono. Più semplicemente, significa che non sono presenti client o server fissi, poiché i nodi (dispositivi) possono svolgere entrambe le funzioni contemporaneamente. Ogni computer che vi si connette, quindi, ha la possibilità di condividere i file archiviati sulle proprie memorie di massa e, al contempo, di accedere ai contenuti messi a disposizione dagli altri PC. Si tratta di una vera e propria condivisione (*sharing*) di risorse tra pari. Non essendoci un server centrale in grado di far connettere tra loro i diversi nodi, è fondamentale l'utilizzo della cosiddetta *rete sovrapposta* (*overlay network*): si tratta di una rete virtuale costruita su un'altra rete. All'atto pratico, significa poter indicizzare e mappare i diversi nodi: è così che ognuno è in grado di conoscere la struttura della rete e che può comunicare con gli altri. Una rete di questo tipo è più semplice e più economica (sia da creare che da mantenere) di una rete basata sull'architettura ***client-server*** [67]. Le criptovalute come Bitcoin sono un esempio di blockchain pubblica. Di solito hanno un potenziale limitato.
Dunque, nel concreto, questo tipo di blockchain si misura come una sorta di blockchain distribuita senza autorizzazione in cui le informazioni sono disponibili ai membri della rete e tutti possono convalidare le transazioni. Ogni transazione è associata alla blockchain prima di essere inserita nel sistema. Così, può essere confermata e sincronizzata con ogni nodo della rete. Chiunque abbia un computer e una connessione internet può essere iscritto come nodo. Tuttavia, è un processo molto lento e inefficiente. La potenza elettrica richiesta per convalidare ogni transazione è enorme e aumenta drasticamente con ogni nodo che viene aggiunto alla rete.
D'altra parte, il vantaggio della rete pubblica è l'anonimato dell'utente e la piena trasparenza del libro mastro. La blockchain pubblica è più veloce e meno costosa rispetto ai sistemi e ai metodi utilizzati negli anni passati. Una rete decentralizzata è il cuore della blockchain e una blockchain pubblica è il modo più efficiente per decentralizzare una rete.
Le blockchain pubbliche sono sicure grazie agli ***algoritmi di consenso*** utilizzati per collegare tutti i nodi. Le implementazioni più comuni sono il ***proof of work*** (***PoW***) e ***proof of stake*** (***PoS***). Il ***Proof of Work*** (***PoW***) è una misura fiscale utilizzata per scoraggiare gli attacchi di Denial of Service[10] e

[10] Con il termine **Denial of Service** viene identificato un malfunzionamento dovuto ad un attacco informatico alla sicurezza in cui vengono esaurite le risorse del sistema che fornisce un servizio ai client (per esempio un sito web su un web server) fino a impedirne l'erogazione ai client richiedenti [110].

altri sfruttamenti di servizi di rete come gli spam che consumano il tempo di elaborazione del computer [68]. Inoltre, il PoW viene utilizzato nel processo di inserimento di un determinato blocco alla blockchain al fine di raggiungere, tra i nodi coinvolti, un accordo decentralizzato.
In questo protocollo, i nodi che calcolano i valori di hash sono chiamati miner. Ogni nodo nella rete calcola il valore di hash dell'intestazione del blocco che contiene un nonce. Frequentemente, i miner cambiano questo valore per generare diversi valori di hash, infatti vengono spronati, attraverso una ricompensa, a competere tra loro nella progettazione degli scambi. Questa implementazione prevede che i valori calcolati siano uguali o inferiori a uno specificato. Una volta che un nodo raggiunge il valore target, trasmette il blocco ad altri nodi e questi a loro volta confermano o meno l'accuratezza del valore di hash. I beni digitali scambiati tra gli utenti, vengono raccolti in un registro decentralizzato. Se un blocco viene convalidato e autenticato, gli altri nodi lo aggiungono alla blockchain. Il processo di calcolo dei valori di hash è il cosiddetto mining, precedentemente descritto. In PoW, la catena più lunga è quella affidabile e corretta. Per trovare la catena valida più lunga, viene utilizzata molta potenza di calcolo. Alcuni protocolli usano applicazioni alternative insieme al PoW per mitigare questo sforzo [69].
Il **Proof of Stake** (**PoS**) è un meccanismo di convalida delle transazioni utilizzato dalla blockchain pubblica, dove il numero di token rappresenta la quantità di valuta digitale posseduta da un utente. Questo protocollo semplifica l'attività di *mining* in quanto distribuisce lo sforzo computazionale richiesto per eseguire il processo di verifica tra i singoli membri, in proporzione alla loro percentuale di partecipazione ("*stake*") ovvero al numero di token detenuto dall'utente. Inoltre, confida che se le persone hanno più valuta digitale coinvolta, è meno probabile che attacchino la rete o meglio che venga violato il sistema. Inoltre, gli individui agiscono in modo ottimale quando sono esposti alla criptovaluta. Il processo di selezione dei partecipanti avviene in maniera pseudocasuale, considerando gli individui che posseggono una quota maggiore di valuta digitale. Questi ultimi, una volta selezionati dal sistema, possono coniare i blocchi e aggiungerli alla blockchain. Tuttavia, questo metodo di selezione è ingiusto perché tende ad accentrare i token nelle mani di nodi molti grandi.
In questa implementazione, la blockchain traccia un insieme di miner e ognuno di essi deve possedere la criptovaluta base per diventare un validator. Il miner invia una forma specifica di transazione che blocca la criptovaluta come deposito. Nello specifico, ogni validator deve congelare una certa quantità di valuta, da lui scelta, all'interno del sistema per poter essere selezionato a coniare il blocco. È ovvio che avrà maggiore probabilità di essere selezionato come nodo validatore se congela molta moneta in confronto agli altri utenti del sistema. Il processo di convalida di un nuovo blocco viene poi intrapreso da tutti i partecipanti coinvolti. In base ai criteri con cui le ricompense sono assegnate, esistono due modi attraverso il quale può essere classificato un algoritmo PoS:

- *basato sulla catena*;
- *stile Byzantine Fault Tolerance* (*BFT*).

Nel *PoS basato sulla catena*, il validator viene selezionato in modo semi-casuale per uno slot temporale e gli viene assegnata l'autorità di creare un blocco. Il blocco creato deve avere come precursore il blocco precedente per ottenere una singola catena di blocchi in continua crescita.
Nel *PoS BFT*, i miner sono autorizzati in modo casuale a suggerire la creazione di un nuovo blocco. Tuttavia, la sua approvazione è canonica e viene effettuata tramite un processo di voto a più turni, dove ogni validator vota per un preciso blocco. Alla fine, tutti i validator concordano sulla validità di quel blocco da inserire nella blockchain.

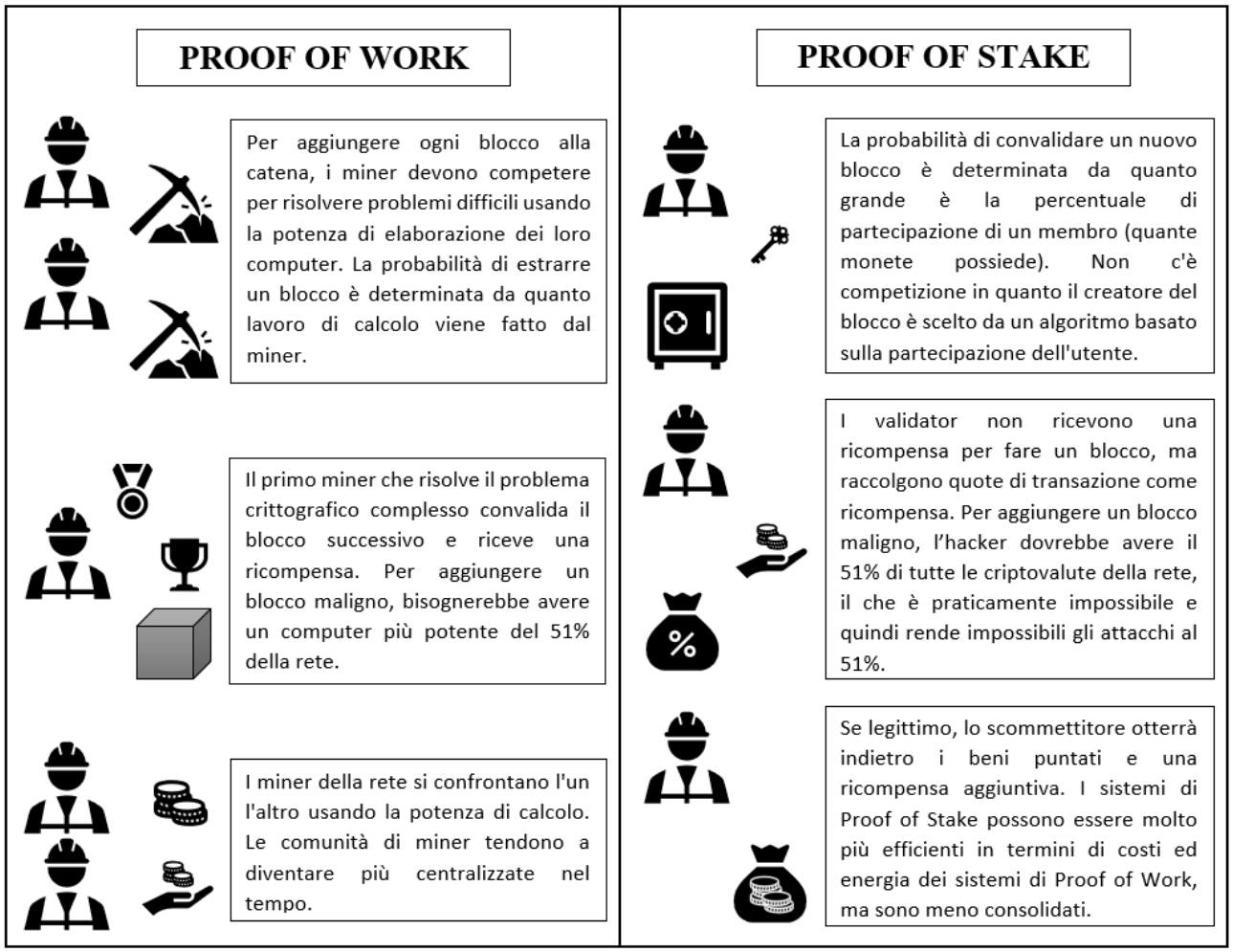


Figura 2.13*: Differenze tra il protocollo di Proof of Work e di Proof of Stake.*

La blockchain **privata** è anche definita ***permissioned*** (autorizzata) in quanto possono accedere alla rete solo individui autenticati. Dunque, opera esclusivamente entro i limiti di una comunità ben delineata, dove tutti i partecipanti sono noti. Essa fornisce un accesso ai dati basato sui ruoli e utilizza le reti cloud per migliorare la flessibilità. Infatti, ha una gestione rigorosa per quanto riguarda l'autorità di accesso ai dati nella rete. Nessuno dei nodi della rete può partecipare alla verifica e alla convalida delle transazioni. Invece, una società o un'organizzazione specifica può iniziare, verificare e convalidare ogni transazione. Questo fornisce un più alto livello di efficienza nell'analisi e nella approvazione delle transazioni. L'unica carenza significativa delle blockchain private è che non forniscono una sicurezza decentralizzata come quella fornita dalle blockchain pubbliche. Infatti, c'è un esperto centrale che prende la decisione su chi può scrivere, leggere o unirsi alla blockchain. Quindi, il meccanismo di consenso è controllato da un'unica autorità. D'altra parte, il vantaggio di questa blockchain è rappresentato dalla possibilità di una società di scegliere a chi concedere i diritti di accesso alla catena, garantendo così un più alto livello di privacy rispetto alle blockchain pubbliche. Le blockchain private sono più inclini all'accettabilità da parte delle aziende basate su un modello di governance o aziende del settore privato, in quanto consentono a un'autorità centrale di essere presente con una tecnologia più sicura, più efficiente e più veloce.

La blockchain **consortium** è una combinazione di blockchain pubbliche e private e può essere percepita come parzialmente decentralizzata [70]. In questa rete, i dati o i dettagli delle transazioni possono essere open source o privati e il nodo ha l'autorità di scegliere in anticipo.
È fondamentale comprendere la distinzione tra una blockchain consortium e una blockchain privata. Tuttavia, la differenza non è stata esplorata in profondità fino ad ora. In generale, mentre la blockchain privata può essere definita precisamente come un sistema tradizionale centralizzato con annesse verifiche e convalide crittografiche, la blockchain consortium è un ibrido tra la bassa fiducia delle blockchain pubbliche e il modello di singola entità altamente affidabile delle blockchain private. Questo tipo di blockchain permette a un insieme di nodi predeterminati di verificare e convalidare transazioni o blocchi, invece di concedere questo pieno controllo a qualsiasi persona con una connessione Internet o a una singola azienda. Una blockchain consortium fornisce molti degli stessi vantaggi associati alle blockchain private e presenta una maggiore efficienza (più di 10k transazioni al secondo *"tps"*) rispetto alla blockchain pubblica. Si concentra principalmente sull'efficienza e la privacy delle transazioni. Infatti, l'invio di transazioni può essere eseguito da molti utenti (autorizzati), ma la verifica delle transazioni è consentita solo a poche parti preselezionate. Le blockchain consortium operano sotto la gestione di un gruppo di entità come i membri del consiglio o il consiglio degli esperti. Questa piattaforma è adatta alle collaborazioni organizzative [63], [69].
Le principali differenze in questi tre tipi di algoritmi di blockchain possono essere sintetizzate in un'unica macro-differenza, ossia il modo con cui viene raggiunto il consenso tra le persone. Nel caso della blockchain pubblica, il consenso viene regolato da tutti i miner. Mentre nel caso della blockchain privata viene gestito da un gruppo selezionato di nodi.
Oggigiorno, queste tipologie di blockchain sono massivamente adottate da tante realtà, in diversi campi e con diverse finalità.

Proprietà	Blockchain pubblica	Blockchain privata	Blockchain consortium
Determinazione del consenso	Tutti i miner	Insieme di nodi selezionati	Insieme di nodi selezionati
Permesso di lettura	Pubblico	Pubblico o limitato ad alcuni nodi	Pubblico o limitato ad alcuni nodi
Livello di immutabilità	Quasi impossibile da modificare	Potrebbe essere modificato	Potrebbe essere modificato
Efficienza (uso di risorse)	Bassa	Alta	Alta
Centralizzazione	No	Si	Parziale
Procedura di consenso	Permissionless	Permissioned (necessita del consenso)	Necessita di consenso

***Figura 2.14**: Tabella riassuntiva delle proprietà caratterizzanti le diverse tipologie di blockchain* [71].

2.2.3 Caratteristiche della blockchain

Le principali caratteristiche della blockchain che la rendono unica e promettente per le future applicazioni industriali sono [69], [70], [72]:

- **decentralizzazione**: i dati di una blockchain possono essere accessibili, monitorati, salvati e aggiornati su più sistemi, dunque nessuna informazione è memorizzata in un database centrale. Ogni utente è fornito di una copia del libro mastro delle transazioni perciò ogni volta che un nuovo blocco viene creato e validato, ogni nodo della rete aggiorna la sua blockchain per riflettere il cambiamento;
- **trasparenza**: i dati sono registrati e memorizzati in rete con il consenso di ogni partecipante e sono visibili e tracciabili per tutta la loro durata, garantendo così trasparenza nelle operazioni. Per questo motivo, supporta la tracciabilità in modi che le tecnologie precedenti non possono raggiungere. È stato studiato e applicato come soluzione ai problemi di sicurezza alimentare in tutto il mondo non solo per i consumatori ma anche per le imprese della filiera;
- **immutabilità**: la blockchain fornisce timestamp e controlli per accertare l'immutabilità. Una volta che i dati o le informazioni vengono riportati e validati all'interno del registro, non possono più essere modificati o cancellati. Questo è molto vantaggioso essenzialmente per il controllo dei dati. Infatti, sia il fornitore che il destinatario dei dati può verificare la loro autenticità e assicurarsi che i dati non siano stati manomessi o alterati. L'elemento di immutabilità della blockchain è estremamente vantaggioso per i database utilizzati nelle transazioni finanziarie, poiché le registrazioni delle transazioni sono riservate per sempre e non possono essere compromesse a meno che qualcuno prenda contemporaneamente il controllo di più del 51% dei nodi della rete. Dunque, le transazioni possono essere considerate immodificabili (se non attraverso una nuova autorizzazione delle stesse da parte di tutta la rete);
- **irreversibilità**: ogni transazione effettuata viene memorizzata in un registro sicuro e verificabile, conservato in ogni blockchain;
- **affidabilità**: essendo un sistema decentralizzato, risulta meno governabile e quindi più sicuro da eventuali attacchi informatici. Infatti, se uno dei nodi della catena viene danneggiato, gli altri nodi continueranno ad essere attivi e operativi. Ciò permette alla catena di rimanere salda e di non avere perdite di informazioni rilevanti evitando, così, l'intera compromissione della blockchain;
- **validità e convenienza**: le transazioni potranno essere iscritte a registro solo dopo aver raggiunto il consenso del network sulla loro validità. Inoltre, la convenienza è determinata dal valore aggiunto offerto dalla blockchain nell'effettuare transazioni al suo interno, grazie all'assenza di interlocutori di terze parti che, invece, sono necessari in tutte le transazioni convenzionali che avvengono tra due o più parti (ovvero le banche e altri enti simili);
- **autonomia**: ogni nodo della blockchain può accedere, trasferire, immagazzinare e aggiornare i dati da solo in modo sicuro senza l'intervento di terzi;
- **open source**: la blockchain fornisce un accesso open source a tutti nella rete secondo un ordine gerarchico. Un'applicazione closed-source ha bisogno che l'utente si fidi del fatto che l'applicazione è decentralizzata e che i dati non sono accessibili da una fonte centrale. Le applicazioni a sorgente chiusa agiscono come una barriera all'adozione da parte degli utenti. La reticenza per una rete closed-source è evidente quando l'applicazione è destinata a

ricevere, detenere o trasferire fondi degli utenti. L'open source di un'applicazione decentralizzata modifica la struttura delle pratiche aziendali che erano solite favorire Internet come denominatore comune;

- **anonimato**: poiché il trasferimento dei dati avviene tra i nodi, l'identità dell'individuo rimane anonima;
- **proprietà e unicità**: ogni documento scambiato nella blockchain memorizza i suoi dati di proprietà con un codice hash unico;
- **provenienza**: ogni prodotto ha un documento di registrazione digitale nella blockchain che prova la sua autenticità e origine;
- **automatizzazione dei contratti** (cioè smart contracting): è un piccolo programma computerizzato per aiutare l'esecuzione del contratto. Sostituisce la necessità di un contratto usuale fornendo una migliore sicurezza e minori costi di transazione. I contratti intelligenti sono di solito codificati per includere condizioni di regole, sanzioni e azioni che saranno applicate per tutte le parti coinvolte nella transazione. La contrattazione intelligente supporta le operazioni di risposta rapida nelle catene di approvvigionamento.

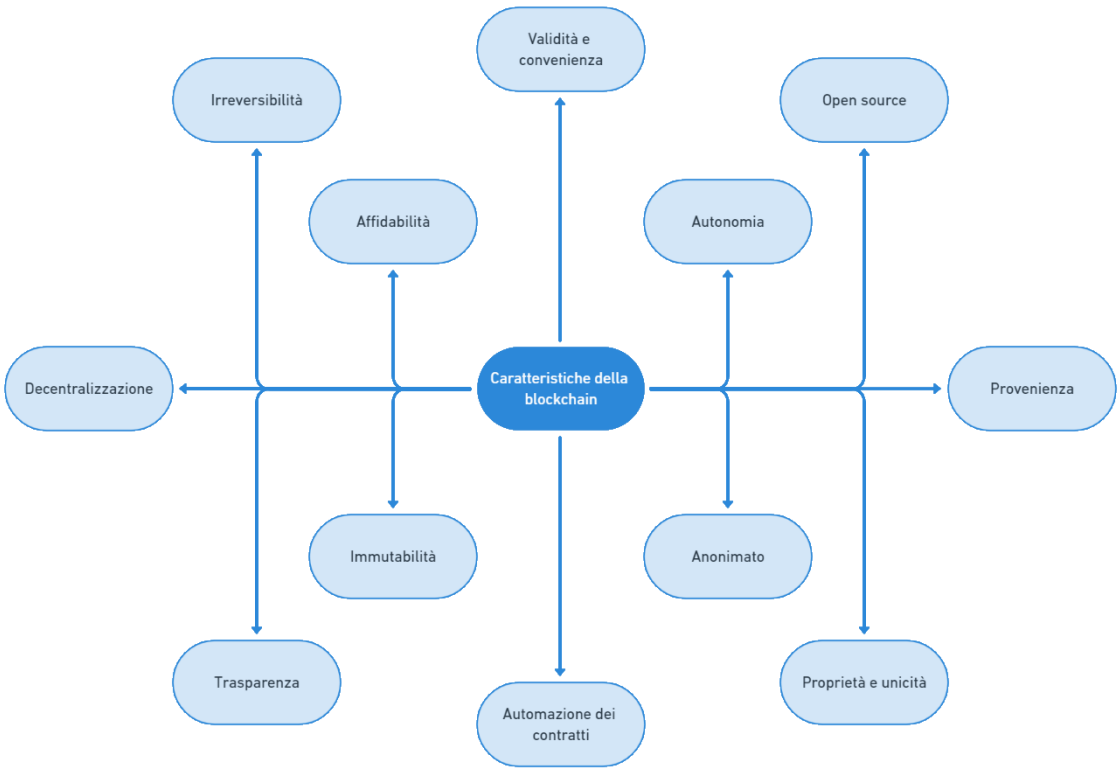


***Figura 2.15**: Blockchain: mappa concettuale delle sue caratteristiche.*

2.2.4 La tecnologia blockchain applicata alle funzioni della supply chain

La reingegnerizzazione della supply chain, la sicurezza, la provenienza, la gestione dei processi e dei prodotti sono alcune delle principali funzioni che possono essere trasformate con la tecnologia blockchain.

La tecnologia blockchain e l'IoT aiutano nella raccolta granulare dei dati sulla provenienza dei beni fisici che vengono prodotti e trasportati nelle supply chain complesse, multi-organizzative o internazionali. La provenienza dei prodotti delle supply chain viene fornita assicurando:

- la certificazione, la tracciabilità, la verificabilità e la trattabilità delle informazioni sui prodotti;
- la garanzia dell'origine e dell'autenticità dei prodotti;
- l'integrità lungo l'intera catena di approvvigionamento.

Engelenburg et al. [73] ha sviluppato un sistema per la raccolta dei dati di provenienza utilizzando la blockchain, il quale permette di memorizzare tutte le informazioni critiche, garantire un accesso ai dati basato sui ruoli e salvaguardarli attraverso una crittografia sicura.
La tecnologia blockchain applicata alle supply chain permette di:

- ridurre gli impatti di eventuali interruzioni di sistema;
- applicare un approccio preventivo e proattivo per la gestione dei rischi;
- fornire una protezione multistrato per la rete di tali catene di approvvigionamento.

Il design strutturale delle blockchain aiuta a catturare sia i rischi organizzativi che di rete associati a qualsiasi supply chain.
Inoltre, la tecnologia blockchain:

- migliora la trasparenza e la visibilità della supply chain;
- consente l'autentificazione, la riservatezza e la provenienza dei dati e delle risorse;
- permette l'automazione dei processi;
- elimina gli intermediari;
- garantisce l'integrità nei servizi che fornisce;
- consente la tracciabilità in tempo reale attraverso tecniche di privacy, controllo degli accessi e gestione dei dati (che sono tutti i capisaldi della reingegnerizzazione della supply chain);
- permette la formazione di un quadro analitico di controllo del rischio per studiare la connessione tra aziende, informazione e ingegneria, raccogliendo così una prospettiva analitica sulla digitalizzazione nelle supply chain.

Una supply chain adeguatamente reingegnerizzata può raggiungere la sincronizzazione delle informazioni di tracciamento in tutte le aree di business. Inoltre, l'uso di contratti intelligenti (smart contract) può contribuire a ridurre i tempi e i costi necessari per assistere ulteriormente alla reingegnerizzazione della supply chain.
Anche in una grande impresa di produzione, la blockchain può fornire una robusta gestione del rischio grazie alla sua capacità di ristabilirsi in base alle esigenze. Questa tecnologia è molto più sicura dei servizi di sicurezza o dei sistemi IoT tradizionali, in quanto offre una maggiore tutela informatica e migliori prestazioni.
Di seguito, alcuni sistemi che possono essere migliorati notevolmente se integrati con la tecnologia blockchain [70] :

1. **sicurezza dell'IoT**: il sistema IoT tradizionale è una rete digitale centralizzata. La blockchain garantisce un'elevata sicurezza del sistema IoT abilitando un meccanismo di consenso per la memorizzazione dinamica dei dati, garantendo la trasmissione end-to-end dei dati e fornendo la tracciabilità e il monitoraggio dei prodotti [74]. Le regole e gli algoritmi di consenso basati

sulla gerarchia, aiutano a migliorare la sicurezza nei dispositivi IoT e a facilitare le transazioni. Inoltre, per sua natura, la blockchain è meno incline alla manomissione e alle frodi di identità in quanto fornisce una piattaforma di condivisione decentralizzata per la verifica dei dati e fornisce una struttura ledger immutabile;

2. **sistema di rilevamento delle intrusioni**: la blockchain aiuta a creare sistemi collaborativi di rilevamento delle intrusioni dove i codici dei prodotti possono interagire tra loro e scambiare dati durante tutto il loro percorso. C'è un rischio associato alla manomissione e alla sicurezza dei codici che può essere risolto con l'uso della tecnologia blockchain in quanto aiuta a garantire l'integrità e la trasparenza della conservazione dei dati;
3. **sicurezza RFID**: la blockchain migliora la trasparenza, la protezione dei dati, l'affidabilità e la gestione dei costi per gli RFID, utilizzando un protocollo comune di autenticazione RFID. Questo protocollo è compatibile con i database decentralizzati e consente una comunicazione continua con i dispositivi RFID. L'RFID è utilizzato principalmente per la tracciabilità di prodotti e servizi nelle supply chain e può essere migliorato drasticamente se integrato con la blockchain. Walmart e IBM hanno tracciato i prodotti di consumo con sistemi RFID utilizzando la tecnologia blockchain.

La blockchain migliora il tempo di ciclo di vita di un prodotto, la produttività e la qualità. Inoltre, apre nuove opportunità di business e permette la differenziazione del prodotto attraverso la sua integrazione con la supply chain. È stata condotta un'ampia ricerca sui benefici che si possono trarre dall'applicazione della tecnologia blockchain sulla supply chain, tra cui:

- **processo di eliminazione del prodotto difettoso**: l'eliminazione del prodotto richiede il riconoscimento, l'analisi e la valutazione del prodotto da eliminare per, poi, passare al processo decisionale e all'attuazione delle decisioni. Tutte queste funzionalità sono facilitate dalla blockchain attraverso il monitoraggio in tempo reale, la gestione dei dati, una migliore previsione della domanda, la riduzione del rischio e il processo decisionale automatizzato. Esiste una relazione tra blockchain, economia circolare e cancellazione dei prodotti. Le informazioni memorizzate nella blockchain possono essere utilizzate per analizzare le politiche sviluppate dalle aziende sulla cancellazione dei prodotti e sull'economia circolare;
- **tracciamento dei prezzi nella distribuzione dei prodotti**: il sistema tradizionale di tracciamento dei prezzi è sviluppato in modo non trasparente e non mostra la variazione di prezzo end-to-end attraverso la supply chain. Mostra solo il prezzo finale del prodotto al consumatore direttamente durante le transazioni. La blockchain può permettere ai consumatori di conoscere il prezzo esatto dalle materie prime dai distributori fino ai fornitori e divulgare tutti i dati alle parti interessate. Questo si tradurrà nella diffusione di informazioni oneste da parte degli individui coinvolti, garantendo così la trasparenza dei prezzi.

Da quanto emerso precedentemente, è possibile comprendere come il miglioramento di queste funzionalità risolverà i principali problemi associati alle supply chain tradizionali e la renderà accattivante per l'uso futuro. L'implementazione della tecnologia blockchain e l'integrazione con la supply chain può essere ulteriormente migliorata tramite un modello di costruzione di blocchi a due fasi che utilizza la tecnologia distribuita in cui la prenotazione dei blocchi e la generazione dei dati sono separati in due fasi. Questo meccanismo aiuterà a ridurre la latenza e gestire l'interoperabilità di "aggiungere un nuovo blocco". Fornisce anche adeguati controlli di accesso per i ledger distribuiti.

La blockchain aiuta a incorporare il passaggio da sistemi condivisi e distribuiti negli ecosistemi di produzione, utilizzando un quadro aziendale trasversale che supporta un livello superiore di condivisione della conoscenza. L'integrazione della blockchain aiuta le aziende a costruire business flessibili e scalabili ad un costo inferiore in un modo più sicuro, efficace e ben controllato. Aumenta anche il profitto di un'azienda e la sua capacità competitiva, fornendo trasparenza in tempo reale e risparmio sui costi. Inoltre, aiuta a incorporare pratiche di produzione agili e consente la personalizzazione del prodotto, l'automazione intelligente e il miglioramento della responsabilizzazione dei dipendenti. Esempi di integrazione della blockchain nel settore manifatturiero possono essere visti in un'azienda che risolve i problemi di prodotti falsi nella produzione additiva, collegando dei token nei sistemi di database sottostanti.

2.2.5 Utilità della blockchain alla tracciabilità del prodotto alimentare

La blockchain rappresenta un valore aggiunto per i sistemi di tracciabilità dei prodotti, grazie alla sua valenza e inviolabilità della rete che rende quasi impossibile poterla compromettere. Le informazioni contenute all'interno della rete sono infatti considerate sicure, inattaccabili e disponibili in tempo reale al fine di poter intervenire tempestivamente in caso di imprevisti. Queste caratteristiche intrinseche ne fanno un vessillo di qualità per le aziende, in particolare nel settore agroalimentare.
Nei sistemi tradizionali, la maggior parte dei dati e delle informazioni viene controllata e gestita da terze parti e archiviata su carta o in un database centralizzato: uno scenario che lascia evidentemente maggiore spazio per le frodi alimentari e non garantisce una adeguata tracciabilità dei prodotti.
L'esempio di Walmart è diventato un caso studio importante nel dimostrare l'efficienza della tecnologia blockchain all'interno delle catene di approvvigionamento. Infatti, attraverso un test di tracciabilità sui manghi, venne dimostrato come era necessaria quasi una settimana (per la precisione 6 giorni, 18 ore e 26 minuti) per risalire all'esatta azienda di produzione. Mentre, attraverso la tecnologia blockchain, le stesse informazioni potevano essere rese disponibili ai clienti entro pochi secondi (nello specifico in 2,2 secondi).
La blockchain risolve uno dei problemi principali presenti nelle supply chain dell'agroalimentare: costruire una base di consenso per informazioni sicure, eliminando tutte le possibili preoccupazioni dovute alle manomissioni o alle contraffazioni. Proprio per questo motivo, uno dei principali ambiti di applicazione delle blockchain riguarda il tracciamento dei prodotti a partire dall'origine della catena di fornitura fino al consumatore finale. In questi anni, molte aziende come quella del caffè, hanno effettuato numerosi progetti pilota per testare la tecnologia e le sue potenzialità. Anche l'Italia, che sull'eccellenza del comparto agroalimentare basa il 12% del proprio PIL, è spesso in prima fila in queste sperimentazioni [75].
Solitamente, per i produttori risulta difficile venire incontro alle esigenze del consumatore e comprendere le sue preoccupazioni riguardo al cibo. Questo è dovuto alla complessità delle moderne supply chain del settore alimentare, le quali hanno contribuito a creare una notevole distanza tra il consumatore e il produttore. Inoltre, un gran numero di individui è coinvolto lungo le fasi della catena di approvvigionamento. In relazione a ciò, risulta importante digitalizzare queste catene con l'utilizzo della tecnologia blockchain: uno strumento utile per gli attori della supply chain al fine di rendere i sistemi più trasparenti, le transazioni commerciali e i processi di conformità più efficienti, riducendo così le complesse operazioni di tracciabilità.
Gli odierni sistemi di tracciabilità presentano rischi di manomissione dei dati.

La blockchain implementata su una struttura a doppia catena aiuta ad aumentare l'apertura e la sicurezza delle transazioni, la privacy delle informazioni aziendali e può raggiungere una corretta allocazione delle risorse tra tutte le parti interessate nel settore agricolo. Inoltre, migliora l'efficienza complessiva del sistema, facilita l'espansione del business, aumenta il funzionamento e la credibilità delle piattaforme correlate. Le soluzioni basate sulla blockchain e sull'IoT vengono utilizzate per affrontare i problemi di fiducia che i clienti hanno nelle supply chain dei prodotti biologici. Insieme all'efficienza e alla tracciabilità dei prodotti, la blockchain aiuta anche a mantenere un rapporto equo tra i piccoli agricoltori e i grandi acquirenti e a democratizzare il processo di approvvigionamento. L'utilizzo di questa tecnologia può risolvere il problema di contraffazione e manomissione del cibo su larga scala, facilitando la tracciabilità end-to-end [70]. L'implementazione dei contratti intelligenti a livello aziendale aiuta a risolvere il problema della divulgazione di informazioni sensibili e della manomissione dei dati. Per ridurre il sovraccarico di dati nel sistema, viene utilizzato un approccio collaborativo di gestione dei dati "on chain" e "off chain" in modo che un singolo nodo non sia eccessivamente carico di dati.

Al fine di garantire un'alta risoluzione dei problemi di sicurezza alimentare e migliorare la gestione dei problemi di qualità, spesso viene utilizzata la tecnica DLT (Distributed Ledger Technology) della blockchain che permette di collegare tra loro in modo sicuro tutti gli attori dell'intera supply chain alimentare. È stato anche sviluppato un sistema che permette di rafforzare la supervisione e la gestione dei prodotti nella catena di approvvigionamento alimentare [76]. Un esempio di integrazione della blockchain con le supply chain alimentari può essere visto nella ***produzione di caffè***. Questa integrazione della blockchain con le supply chain di caffè consente il trasferimento automatico dei pagamenti, supporta la registrazione dei dati in ogni fase di produzione del caffè e la gestione di tutti i registri di dati attraverso la supply chain.

Un caso applicativo di successo è sulla startup AgUnity che permette la salvaguardia degli agricoltori utilizzando la blockchain. Un altro esempio è Prochain, un nuovo sistema di supply chain trasparente e tracciabile che è stato concettualizzato per aiutare a coprire tutti gli aspetti della supply chain. Inoltre, può migliorare sia la trasparenza che la tracciabilità dei prodotti alimentari nel mercato malese [70]. Poiché la sicurezza alimentare è fondamentale per tutti i ceti sociali, la blockchain può migliorare direttamente il benessere sociale.

La Legge offre un aiuto importante per le aziende che vogliono continuare su questo percorso di trasparenza. Con il **decreto semplificazione** 2019, infatti, blockchain e smart contract (contratto registrato con una transizione su rete blockchain e viene definito dal legislatore come quel "*programma per elaboratore che opera su tecnologie basate su registri distribuiti la cui esecuzione vincola automaticamente due o più parti sulla base di effetti predefiniti dalle stesse*") diventano legge. Inoltre, grazie al decreto approvato dal Consiglio dei Ministri contestualmente a un decreto fiscale e al disegno legge di bilancio 2019 [77], per le imprese del settore agroalimentare sono state previste:

- delle misure straordinarie;
- la definizione dei registri distribuiti;
- un fondo di venture capital con cassa depositi e prestiti per investire nelle start up innovative e incentivarle all'utilizzo di questa tecnologia a sostegno del made in Italy.

2.3 L'Intelligenza Artificiale

La nascita dell'Intelligenza Artificiale (IA) risale alla filosofia, alla narrativa e all'immaginazione. Le prime applicazioni fatte in elettronica, ingegneria e molte altre discipline hanno influenzato il suo sviluppo. Dagli anni '50, le aspettative che l'IA diventasse un cambiamento rivoluzionario per l'umanità erano alte [78]. Sia Leibniz che Blaise Pascal progettarono macchine calcolatrici che meccanizzavano l'aritmetica, fino ad allora passione degli uomini dotti del tempo chiamati appunto "*calcolatori*". Ma quest'ultimi non hanno mai avanzato la pretesa che i dispositivi potessero pensare. Etienne Bonnot e Abbé de Condillac usavano la metafora di una statua la cui testa presenta frammenti di conoscenza, chiedendosi fino a che punto avrebbe potuto sapere abbastanza per apparire intelligente. Questi e molti altri scrittori hanno ispirato molti ricercatori dell'IA. I primi esperimenti robotici hanno influenzato gran parte della letteratura scientifica del passato che oggi conosciamo. Dalla fine degli anni '90, l'IA è emersa in una forma diversa, meno grandiosa ma molto più potente grazie all'aumento esponenziale della potenza di calcolo, focalizzata sulle applicazioni software piuttosto che sulla sola robotica, ed è ora un campo in rapida evoluzione. Viene applicata e sperimentata in molte industrie, soprattutto nel settore alimentare in quanto offre pratiche sempre più sostenibili. L'Enciclopedia Britannica definisce l'***Intelligenza Artificiale*** come: "*la capacità di un computer digitale o di un robot controllato dal computer di eseguire compiti comunemente associati agli esseri intelligenti*". Per capire cos'è concretamente l'intelligenza artificiale, possiamo metterla in relazione con gli esseri umani e con il loro funzionamento. Per esempio, gli esseri umani possono parlare e ascoltare (campo del riconoscimento vocale), possono scrivere e leggere in una o più lingue (campo dell'elaborazione del linguaggio naturale), possono vedere e analizzare ciò che osservano (campo della visione artificiale e dell'elaborazione delle immagini), possono muoversi e interagire con l'ambiente circostante (campo della robotica) e possono identificare modelli (campo del riconoscimento dei modelli). Questo si estende ai processi umani più complessi nell'apprendimento automatico (supervisionato, non supervisionato, con rinforzo) e nel campo delle reti neurali [79].

2.3.1 L'evoluzione dell'intelligenza artificiale

Oggi, l'automazione si è fatta strada oltre le aspettative in ogni possibile industria e in ogni mercato in espansione. Per la maggior parte, i macchinari nel XVIII secolo sono stati creati per occuparsi di compiti semplici come la manipolazione, la rotazione e altre attività ripetitive; permettendo all'uomo di concentrarsi su lavori più complessi. Tuttavia, l'intelligenza artificiale ha subito una forte frammentazione e uno dei motivi è legato al fatto che i macchinari dell'epoca non possedevano un'adeguata capacità computazionale. Il massimo livello che finora si è riuscito a raggiungere è quello di un ottimo studente (non un genio) con buone capacità mnemoniche. Questo è stato possibile grazie alla grande mole di dati disponibili che ha permesso di "aumentare" l'intelligenza umana. Motivo per il quale, in alcuni casi, si parla di "intelligenza aumentata" al posto di "intelligenza artificiale". In questo scenario, emersero due distinti paradigmi di intelligenza artificiale che rispecchiano a pieno questo dibattito:

- **forte** (strong AI) o anche definita **generale**, in quanto si è evoluta dalla concezione che le macchine in futuro dovranno sviluppare una propria coscienza. Nello specifico, saranno in grado di avere, non solo capacità cognitive ma anche capacità decisionali, superando di gran lunga le abilità umane;

- **debole** (weak AI), nata con un'idea opposta dal precedente paradigma, ovvero che una macchina non deve possedere una propria coscienza e quindi non dovrà sviluppare un'intelligenza come quella umana, ma la sua funzione sarà quella di essere in grado di risolvere specifici problemi ed effettuare attività umane più o meno complesse.

Un esempio pratico di intelligenza artificiale debole è determinato dalla capacità di specifici programmi di saper giocare a scacchi. In effetti, questi ultimi non hanno una coscienza come l'utente umano avversario, tuttavia sviluppano la capacità di risolvere determinati problemi, superando l'abilità dell'uomo. Oggi, l'intelligenza artificiale costituisce uno dei settori principali su cui si basano molte industrie e rappresenta uno degli ambiti di maggiore interesse per gli esperti di informatica.
Il **Machine Learning** (o apprendimento automatico) rappresenta l'applicazione più importante di intelligenza artificiale ed è quella che ha contribuito notevolmente al suo progresso, dalla nascita fino a giorni nostri. Si tratta di sistemi in grado di apprendere dall'esperienza. Dunque, l'algoritmo riesce a sviluppare una sua logica compiendo azioni specifiche in base ai set di dati che ha a disposizione. Tra le modalità di apprendimento automatico più utilizzate, vi è:

- l'**apprendimento supervisionato** (o **Supervised Learning**), nel quale l'algoritmo viene addestrato prendendo in ingresso set di dati sia come input che informazioni relative agli output desiderati (insieme di dati già strutturati ed etichettati). In questo modo, il sistema potrà sviluppare una regola generale che colleghi i dati in ingresso con quelli in uscita al fine di poterla, successivamente, riutilizzare per altri modelli;
- l'**apprendimento non supervisionato** (o **Unsupervised Learning**), dove l'algoritmo analizza solo set di dati in input, senza alcuna indicazione sui risultati desiderati. L'obiettivo è far sì che il sistema individui dei modelli o delle relazioni logiche tra i dati. Un esempio di questa modalità di apprendimento è il *clustering* dove i dati possono essere raggruppati in base alla presenza di caratteristiche similari;
- l'**apprendimento semi-supervisionato**, nel quale l'algoritmo viene addestrato con set di dati di input incompleti in quanto solo una parte di essi risultano essere etichettati. Quindi, è una sorta di modello "ibrido" tra l'apprendimento supervisionato e quello non supervisionato, dove l'obiettivo è sempre quello di trovare delle relazioni logiche tra i dati per risolvere dei problemi specifici. Generalmente, questa modalità di apprendimento viene utilizzata quando quello supervisionato risulta essere troppo costoso;
- l'**apprendimento con rinforzo**, si tratta di una sorta di modello a "ricompense" e "punizioni" dove l'algoritmo non riceve set di dati di addestramento predefiniti, ma interagisce con un ambiente dinamico per raggiungere un obiettivo, al termine del quale ottiene una "ricompensa". La peculiarità è che tale sistema impara anche dagli sbagli ("punizioni") che gli permettono di migliorare le proprie prestazioni. Il gioco a scacchi ne rappresenta un esempio [80].

A sua volta, l'applicazione più importante del machine learning è rappresentata dal **Deep Learning**, ovvero delle tecniche di simulazione dei processi di apprendimento del cervello umano tramite reti neurali artificiali stratificate. Ciò permette la risoluzione di problemi complessi senza effettuare la fase di pre-processamento dei dati, solitamente svolta nei tradizionali algoritmi di machine learning [81]. Le **Reti Neurali** sono un gruppo specifico di algoritmi utilizzati per l'apprendimento automatico

che modellano i dati utilizzando grafi di neuroni artificiali. Questi neuroni sono un modello matematico che "imita, approssimativamente, come funziona un neurone nel cervello".

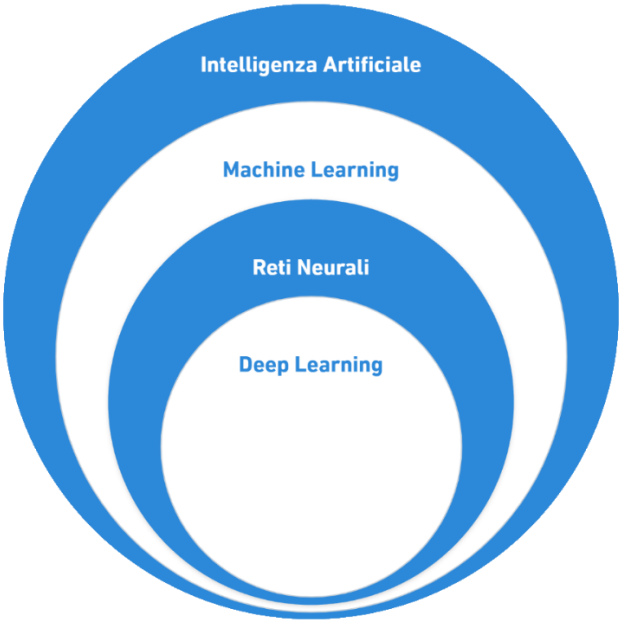


***Figura 2.16**: Rappresentazione della relazione tra Intelligenza Artificiale, Machine Learning, Reti Neurali e Deep Learning.*

Come emerso precedentemente, l'intelligenza artificiale è una combinazione di numerose varietà di metodi e fenomeni. Questo progresso è stato possibile grazie alla moderna potenza di calcolo delle unità di elaborazione grafica (GPU). Questa potenza di calcolo ha permesso alle reti neurali di imitare il funzionamento del cervello umano, facilitando l'IA a imparare a svolgere compiti complessi attraverso una grande quantità di dati di apprendimento. In cima a questo sviluppo ci sono anche i grandi giganti della tecnologia come: Google, Amazon, Apple, Intel, Microsoft, Facebook, Salesforce, IBM, Toshiba, UBTech e altri che hanno iniziato la loro ricerca nell'intelligenza artificiale attraverso l'accumulo di enormi quantità di dati da elaborare per erogare i loro servizi. Grazie allo sviluppo di strategie dominanti (come la collaborazione e gli accordi tra le aziende), questi grandi giganti sono riusciti ad accrescere il portafoglio di prodotti nel mercato globale dell'intelligenza artificiale. Ad esempio, nel novembre 2018, Apple ha acquisito Silk Labs, una startup di intelligenza artificiale che si è focalizzata sulla creazione di un "software abbastanza leggero da adattarsi all'hardware di consumo, come le telecamere" [82]. La tecnologia DeepMind di Google, nata nel 2014, ha dimostrato al mondo intero la velocità con cui le macchine possono imparare compiti complessi, aprendo infinite possibilità nell'apprendimento automatico. In pochi anni, la tecnologia DeepMind si è fatta strada sia attraverso compiti semplici (come la revisione di documenti e la categorizzazione di e-mail di spam), sia attraverso compiti complessi (come il riconoscimento di oggetti, la costruzione del contesto e la comprensione della scena). Nel 2015, la tecnologia DeepMind ha iniziato a imparare a giocare attraverso una tecnica chiamata *Reinforcement Learning* e nel 2016, l'AI Alpha Go addestrata da DeepMind ha sconfitto un giocatore professionista di Go (gioco da tavolo cinese) con le sue mosse strategiche e imprevedibili. Questo evento ha permesso a scienziati, ricercatori e futuristi di credere alla possibilità di una nuova rivoluzione industriale guidata

dall'intelligenza artificiale, addestrabile tramite l'analisi di dati massicci. Alla fine, Google ha reso l'IA disponibile al grande pubblico attraverso l'offerta dei suoi prodotti e servizi. Il riconoscimento vocale sviluppato da Google è stato realizzato grazie a enormi dati di apprendimento, sviluppati su 16.000 computer e distribuiti attraverso cento miliardi di connessioni tecnicamente chiamate "Google Brain". L'era delle auto a guida autonoma si è evoluta tramite la collaborazione di NVIDIA con Google (Esther Francis). NVIDIA, essendo una grande casa produttrice di unità di elaborazione grafica (GPU), è stata fondamentale come risorsa computazionale per lo sviluppo della guida autonoma tramite l'uso dell'intelligenza artificiale. L'IA è stata addestrata per analizzare ed elaborare grandi quantità di dati, messe a disposizione da Google, relative alle differenti viste stradali e di veicoli. Secondo l'Organizzazione Internazionale dei Produttori di Autoveicoli (OICA), la produzione globale di automobili tra il 2000 e il 2017 è aumentata di circa il 25% grazie all'utilizzo dell'IA. Anche se l'intelligenza artificiale è un campo in continua evoluzione, Google, Facebook e altri giganti tecnologici hanno continuato a investire in essa, utilizzandola anche in combinazione con i Big Data. Questa nuova ondata di IA ha catturato l'attenzione di numerosi economisti e investitori in termini di possibilità infinite nel business. Dal 2010 al 2015, gli investimenti in aziende basate sull'intelligenza artificiale sono quadruplicati a più di 8 miliardi di dollari. In questo scenario, l'***IA specifica*** per un compito si trasforma gradualmente in ***IA generale***, attraverso strategie di apprendimento e di intelligenza acquisita attraverso i dati. Molte startup di IA presenti sul mercato hanno investito in campo medico. Alcune di esse sono state in grado di prevedere con successo casi di tumori maligni nei pazienti, visualizzando la tomografia computerizzata (CT) dei polmoni. Questa applicazione ha superato il radiologo umano, non solo attraverso il suo tasso di falsi positivi del 50% caso migliore, ma anche tramite il superamento di test su specifici scenari complessi, dove i radiologi umani avevano lasciato che l'8% dei pazienti positivi passasse inosservato. Con l'aumento delle startup in IA, i progressi delle industrie in tutto il settore pubblico e privato cresceranno a un ritmo rapido nel prossimo decennio. Ciò può essere osservato nella Figura 2.17 che illustra l'analisi concettuale effettuata dall'istituto globale McKinsey & Company riguardo alla priorità e alla portata potenziale dell'introduzione dell'intelligenza artificiale in vari campi [83].

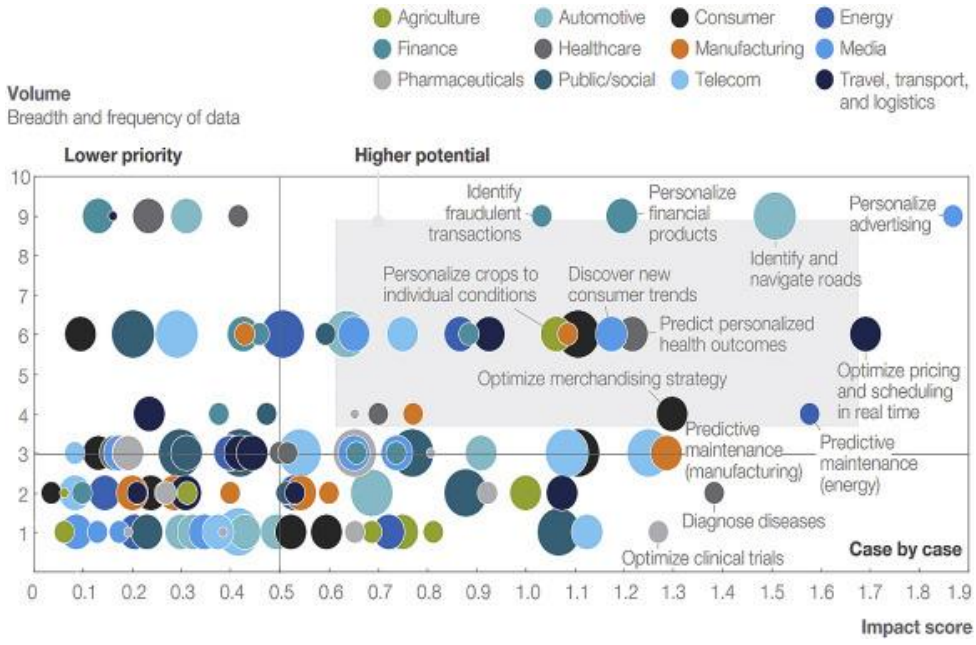


Figura 2.17*: Casi d'uso degli scenari di applicazione dell'intelligenza artificiale in vari campi* [83].

2.3.2 Mercato globale dell'intelligenza artificiale

Oggi, il mondo è in un'epoca di cambiamenti fondamentali che per alcuni sono considerati la quarta rivoluzione industriale o anche indicati come l'era cognitiva. L'intelligenza artificiale è al centro di questo sviluppo a pieno titolo. L'IA ha il potenziale per sconvolgere ogni settore dell'economia e tutti gli aspetti della vita umana entro i prossimi 20-50 anni. Così, la crescente domanda di IA in vari settori industriali è proiettata per guidare il mercato globale dell'intelligenza artificiale [84].
Nel luglio 2017, il Consiglio di Stato della Cina ha rilasciato il piano di sviluppo dell'intelligenza artificiale di prossima generazione che delineava l'approccio strategico e la politica del Paese per l'IA fino al 2030. Nel 2018, ha effettuato un finanziamento governativo di circa 430 milioni di dollari per progetti di ricerca legati all'IA. Inoltre, ha istanziato 2,1 miliardi di dollari in un parco tecnologico da costruire a Pechino entro il 2030, con l'utilizzo dell'intelligenza artificiale. La Cina è proiettata a massimizzare il potenziale dell'intelligenza artificiale come strategia nazionale per la sua crescita economica. Secondo un report pubblicato da PwC (PricewaterhouseCoopers) [85], l'IA dovrebbe aumentare la crescita del PIL di questo Paese, entro il 2030, del 26,1%. Il presidente francese Emmanuel Macron, invece, ha annunciato investimenti governativi di oltre 1,5 miliardi di dollari per il suo Paese. Il mercato globale dell'intelligenza artificiale sanitaria, secondo IP Pragmatics, è destinato a una forte crescita e si prevede raggiungerà più di sei miliardi di dollari entro quest'anno. Quindi, tutti questi fattori stanno influenzando positivamente la crescita del mercato globale dell'intelligenza artificiale con, però, un forte rischio per i dipendenti come la perdita di lavoro.
Sulla base della tecnologia, il mercato globale dell'intelligenza artificiale è ampiamente segmentato tra le tecnologie di machine learning, riconoscimento vocale, assistenza virtuale, computer vision, elaborazione delle immagini e altri. Tra tutti questi, il machine learning ha rappresentato la principale quota di mercato nel 2018. Si prevede, inoltre, come gli assistenti virtuali cresceranno ad un alto CAGR (Compound Annual Growth Rate). Infatti, l'Assistente Google e Siri di Apple fanno già parte del mainstream del mercato dei consumatori. Pertanto, la crescita delle vendite di dispositivi di assistenza virtuale dovrebbe guidare il mercato globale dell'intelligenza artificiale.
Secondo uno studio condotto da PwC [85], la più grande opportunità commerciale nell'economia in cambiamento oggi è rappresentata dall'intelligenza artificiale. Quest'ultima porterà, entro il 2030, a un aumento del PIL globale pari al 14% con un contestuale aumento di 15,7 trilioni di dollari del volume d'affari mondiale.
Un'analisi condotta da Gartner [86] ha dimostrato come anche la tecnologia Blockchain, entro il 2030, darà un forte impatto all'economia globale di un valore pari a 3,1 trilioni di dollari portando così a un aumento del PIL mondiale fino al 3%.
Tuttavia, Accenture Institute for High Performance in collaborazione con Frontier Economics, ha effettuato uno studio al fine di valutare l'impatto dell'intelligenza artificiale su 12 Paesi economicamente sviluppati che insieme generano più del 50% della produzione economica mondiale [87]. La ricerca ha esaminato due scenari:

1. **scenario di base**, nel quale è stata analizzata la crescita economica prevista secondo le condizioni attuali al fine di prevedere la dimensione dell'economia di ogni Paese nel 2035;
2. **scenario di intelligenza artificiale**, nel quale viene dimostrata la crescita prevista una volta che l'impatto dell'IA è stato assorbito nell'economia.

È emerso come l'IA produrrà maggiori benefici economici per gli Stati Uniti, aumentando il suo tasso di crescita annuale dal 2,6% al 4,6% entro il 2035. Ciò si traduce in un ulteriore 8,3 trilioni di dollari in valore aggiunto lordo (VAL). Nel Regno Unito, l'IA potrebbe portare all'economia altri 814 miliardi di dollari entro il 2035, aumentando il tasso di crescita annuale del VAL dal 2,5% al 3,9%. Il Giappone ha il potenziale per triplicare il suo tasso annuale di crescita del VAL entro il 2035. Mentre Finlandia, Svezia, Paesi Bassi, Germania e Austria potrebbero vedere i loro tassi di crescita raddoppiare.

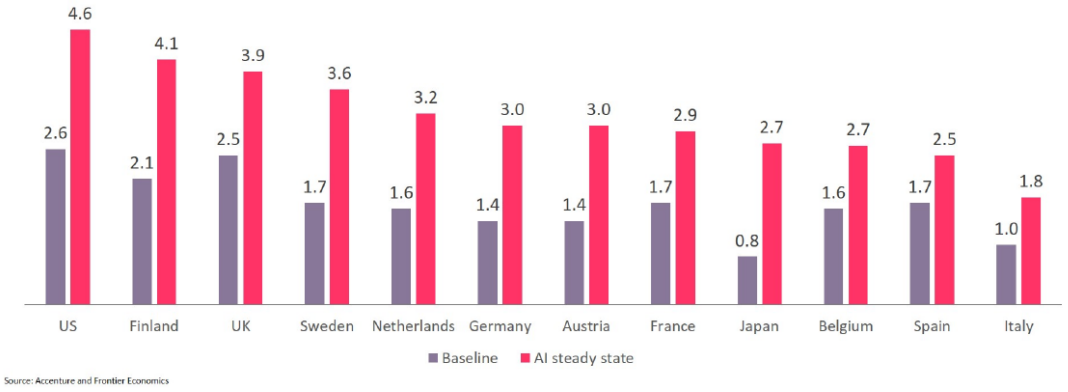


***Figura 2.18**: Tassi di crescita annuali del valore aggiunto lordo entro il 2035, confrontando lo scenario di base entro il 2035 con uno scenario di intelligenza artificiale in cui l'IA è stata assorbita nell'economia* [87].

L'utilizzo dell'IA aumenta la produttività aziendale e riduce drasticamente il numero di anni necessari per raddoppiare l'economia dei 12 Paesi analizzati precedentemente. Questo "*tempo di raddoppio*" è un indicatore di sviluppo economico e i risultati sono principalmente guidati dalla capacità di un Paese di diffondere le innovazioni tecnologiche nella sua infrastruttura.

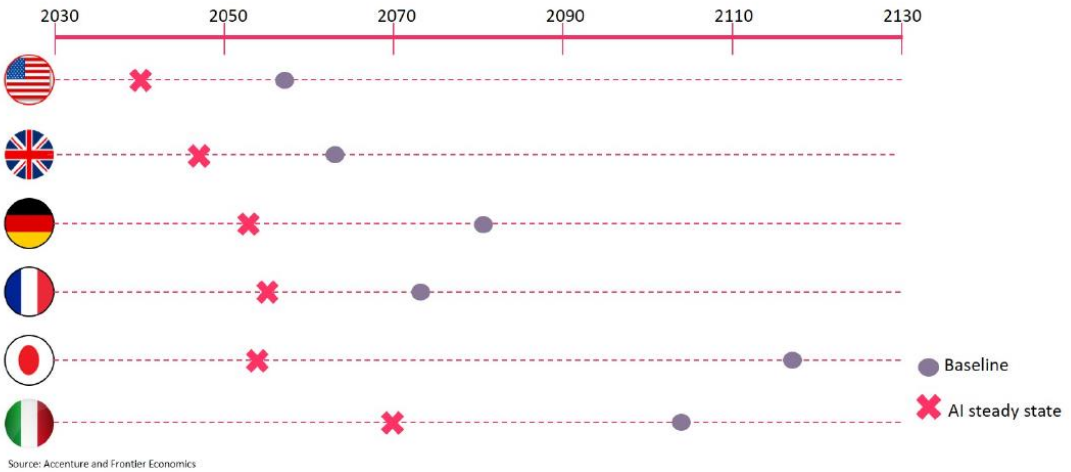


***Figura 2.19**: Rappresentazione del numero di anni necessari per la crescita di base e per la crescita con l'intelligenza artificiale* [87].

Oggi le imprese, attraverso strumenti di intelligenza artificiale, hanno la possibilità di ottenere importanti indicazioni sulle opportunità di crescita nel mercato sia regionale che mondiale.
Uno degli strumenti attualmente utilizzati dalle imprese è la *Worldwide Artificial Intelligence Spending Guide*. In particolare, si tratta di un database che effettua un'esaminazione della tecnologia dal punto di vista dei casi d'uso, del settore e della geografia. Questo database completo, fornito tramite lo strumento di interrogazione Customer Insights di IDC, permette all'utente di estrarre facilmente informazioni significative sui segmenti di mercato dei sistemi di intelligenza artificiale, visualizzando le tendenze future e le relazioni tra i dati [88]. Utilizzando l'analisi dei dati e le capacità dell'Intelligenza Artificiale, le aziende di tutti i settori possono ottimizzare e automatizzare i loro processi per aumentare la redditività.
L'uso dell'intelligenza artificiale porterà alle imprese dei guadagni in termini di:

- ottimizzazione della produttività determinata da processi più automatizzati;
- incremento della domanda di prodotti e/o servizi, grazie a una maggiore qualità e personalizzazione dell'offerta.

2.3.3 Intelligenza artificiale: analisi del mercato manufatturiero italiano

Secondo i risultati dell'Osservatorio Intelligenza Artificiale del Politecnico di Milano [89], tra i settori industriali che sono stati maggiormente impattati dall'intelligenza artificiale in Italia (vedasi Figura 2.20) vi è il settore bancario e finanziario (25%), il settore manifatturiero (13%), il settore dell'utility (13%) e il settore delle assicurazioni (12%).

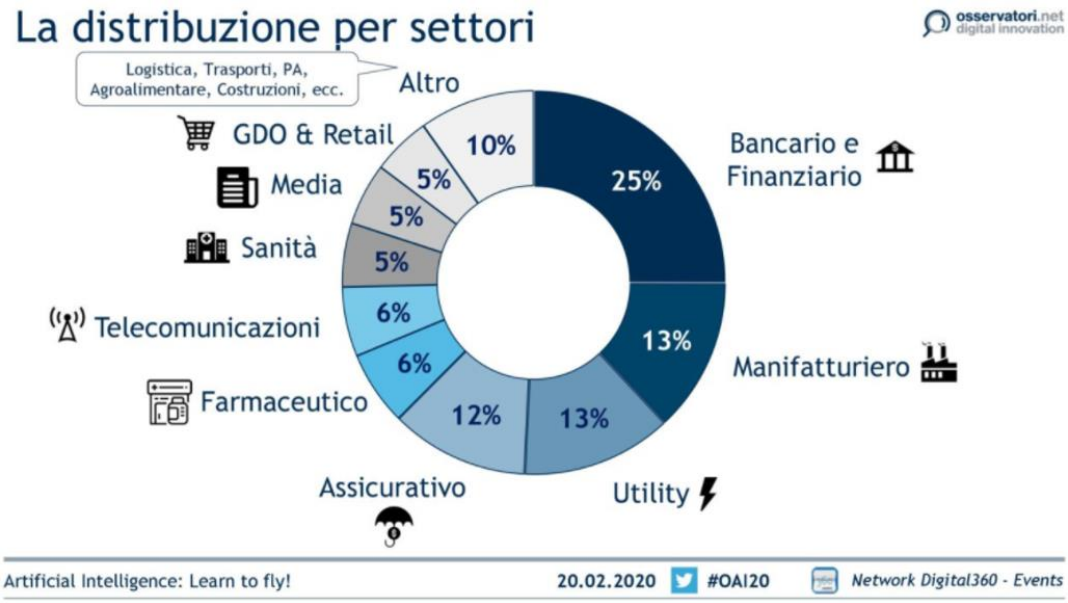


***Figura 2.20**: Diagramma a torta dell'impatto in Italia dell'intelligenza artificiale sui settori industriali* [89].

In particolare, nel settore manifatturiero l'IA ha permesso di potenziare l'automazione nei vari processi e ottimizzare le linee produttive, grazie all'emergere di un nuovo paradigma: lo "smart manufacturing" [90]. Quest'ultimo viene definito dal National Institute of Standards and Technology (NIST) come "*un sistema collaborativo di produzione completamente integrato che risponde in tempo reale al fine di soddisfare le esigenze e le condizioni in fabbrica, nella rete di fornitura e nelle*

necessità dei clienti" [91]. Sostanzialmente, lo smart manufacturing permette di poter accedere, tutte le volte in cui si ha la necessità, alle informazioni sui processi produttivi tramite la connessione tra le macchine e i sistemi informatici. In questo modo, nascono i sistemi di intelligent manufacturing che permettono di creare macchinari con capacità cognitive e di apprendimento grazie alla forte unione che si genera tra le tecnologie di intelligenza artificiale e la manifattura avanzata. Ciò consente di ottimizzare il monitoraggio e l'auto-correzione dei processi manifatturieri, incrementando così la produzione in base anche all'esigenze del cliente.

L'industria alimentare è stata fortemente migliorata dall'influenza dell'intelligenza artificiale. I metodi di allevamento, coltivazione, produzione e lavorazione delle colture sono cambiati con l'introduzione di sistemi e macchine guidate dall'intelligenza artificiale. Oggi, i computer non sono solo in grado di visualizzare le immagini del cibo, ma possono anche identificare e rivelare informazioni nutrizionali di quel prodotto. L'introduzione del machine learning e del deep learning ha creato uno spazio per il ***computer vision*** nell'espandere le sue possibilità oltre i limiti, raggiungendo il picco del progresso tecnologico nei compiti come il rilevamento di oggetti, il loro tracciamento, il riconoscimento facciale, e così via. Già all'inizio del 2016, l'intelligenza artificiale del Massachusetts Institute of Technology (MIT) è stata in grado di prevedere gli ingredienti e i valori nutrizionali del cibo che veniva mostrato. Questa tecnologia ha impiegato non più di pochi mesi per raggiungere il grande pubblico come applicazione mobile.

L'intelligenza artificiale aiuta l'industria alimentare a promuovere i suoi prodotti per raggiungere il mercato in modo molto efficiente attraverso strategie e pianificazione delle tendenze alimentari globali.

La combinazione di computer vision con la robotica ha formulato un nuovo approccio innovativo per l'agricoltura attraverso indagini periodiche del terreno e l'ispezione dei dati. Le recenti innovazioni nella gestione delle colture in uno specifico sito includono i droni e i sistemi aerei senza equipaggio per l'imaging delle colture. Questi droni sono dotati di sensori multispettrali e facilitano gli agricoltori a sorvegliare la loro terra, a prendere decisioni come la necessità di irrigazione e a ispezionare la fertilità del loro suolo. Fino al 2010, gli agricoltori dovevano fare affidamento sull'imaging satellitare che impiega due settimane di tempo per recuperare le immagini morfologiche del terreno. Queste ultime non risultano nemmeno chiare e nitide in situazioni metereologiche avverse, come può essere la presenza delle nuvole. Attraverso l'imaging sensoriale a infrarossi, gli agricoltori possono identificare gli organismi vegetali colpiti da malattie. La tecnologia utilizza la biologia delle piante per erogare queste informazioni, infatti le piante malate tendono a diminuire la produzione di clorofilla responsabile della loro tonalità verde e, a sua volta, la riflessione delle onde infrarosse dalle foglie diminuisce significativamente. L'IA permette di ridurre lo spreco di acqua, fornendo informazioni utili al coltivatore. Sono stati registrati casi in cui la resa delle colture è rimasta la stessa anche diminuendo l'utilizzo dell'acqua.

Molte aziende e start up sfruttano le tecnologie di apprendimento automatico e le tecniche di computer vision già presenti in vari settori, come: l'agricoltura, la trasformazione alimentare, il bestiame, ecc. (vedasi Figura 2.21).

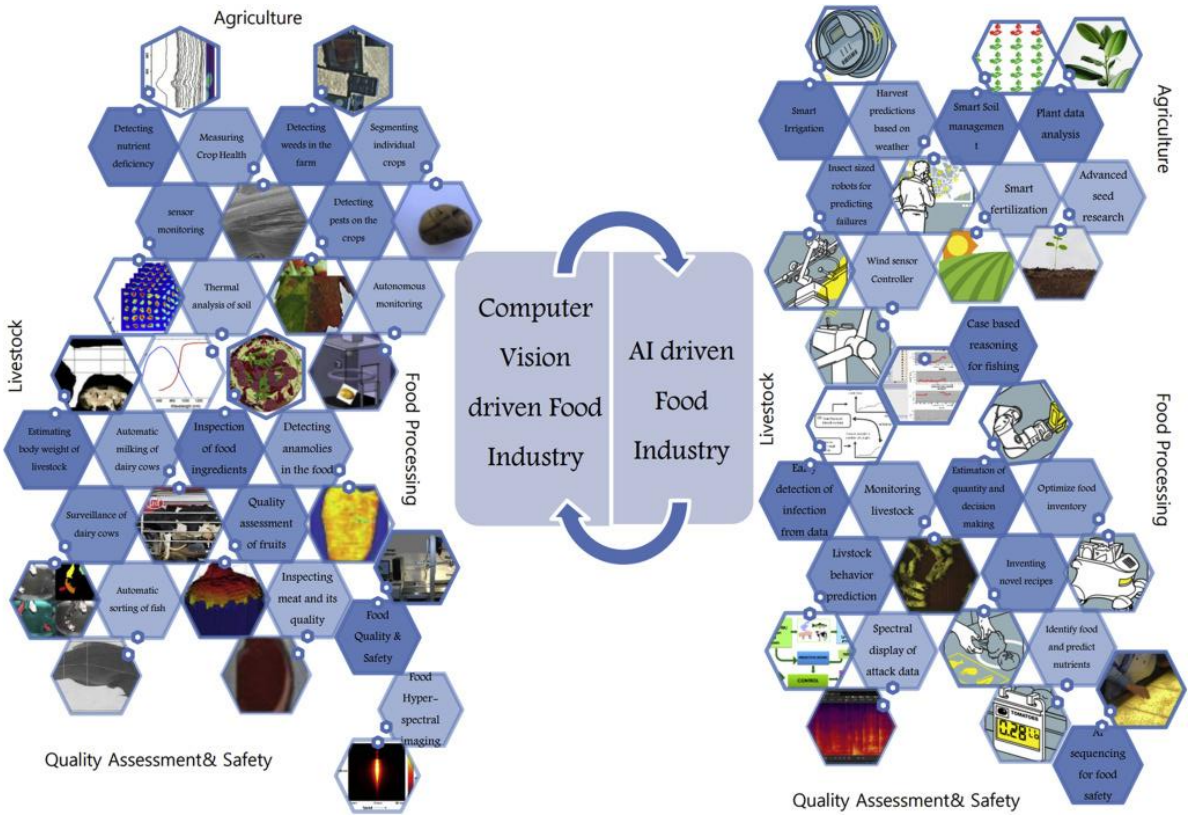


***Figura 2.21**: L'industria alimentare e i suoi portafogli guidati dall'intelligenza artificiale e dal computer vision* [82].

2.3.4 Come migliorare e rafforzare la tracciabilità tramite l'intelligenza artificiale

All'interno di una supply chain, è di fondamentale importanza avere continua visibilità dello stato di avanzamento di un prodotto lungo tutta la sua fase di lavorazione. Già nel processo di approvvigionamento delle materie prime, è essenziale avere la sicurezza che queste ultime arrivino nei tempi prestabiliti, in quanto un ritardo in questa prima fase genera ripercussioni che si protraggono dalla fase di produzione fino all'arrivo del prodotto sul mercato. La fase di approvvigionamento risulta avere una maggiore importanza per una catena "*just in time*" con scorte di magazzino limitate che implicano un approvvigionamento costante e regolare. Per questa ragione, un KPI (indicatore di performance aziendale) prioritario, da tenere sempre sotto controllo, è la *media dei giorni di ritardo*. Ugualmente importante nel "track and trace" risulta essere la *verifica di qualità delle merci* in maniera tale da poter intervenire tempestivamente se un prodotto non risulta conforme alle specifiche richieste. In uno scenario, come quello odierno in cui la pandemia da Covid-19 ha costretto molte imprese a bloccare la propria attività, si può comprendere ancora di più l'importanza di avere a disposizione KPI differenti in modo da consentire alle imprese di:

- tenere costantemente sotto controllo le performance aziendali;
- stimare in maniera esatta le perdite per poter pianificare una strategia che le attutisca nel breve termine.

In questo scenario, le aziende che meglio sono riuscite ad affrontare in maniera immediata la crisi sono quelle che utilizzano soluzioni innovative integrate con l'intelligenza artificiale. Molte aziende utilizzano tecnologie per l'acquisizione digitale dei dati nelle varie fasi di produzione e di trasporto del prodotto, al fine di alimentare i KPI di controllo della supply chain e dell'operations managements [92]. A questo proposito, la blockchain consente non solo la trasparenza dei dati acquisiti ma li rende anche immodificabili nel tempo, così da avere il controllo sulla qualità dei prodotti forniti. In un post su Medium, **Orlovsky Maxim** (esperto a livello internazionale nel campo delle neuroscienze) afferma che la blockchain non potrà progredire senza l'intelligenza artificiale, come il linguaggio scritto non si sarebbe potuto evolvere senza il pensiero umano (cambiamento che ha segnato il passaggio dalla preistoria alla storia).
Nella blockchain, spesso, molti registri distribuiti replicano il loro contenuto a tutti i nodi della rete (es. blockchain Bitcoin) in modo tale da avere traccia di tutte le transazioni validate ed effettuate dalla creazione del primo nodo [93]. Pertanto, la blockchain può raffigurare eccezionali basi di conoscenza che, affidate a opportune reti neurali, possono essere vantaggiosamente utilizzate da appositi algoritmi di intelligenza artificiale. Ad esempio, quelli utilizzati per tracciare la velocità dei treni merci o i valori di inquinamento emessi in atmosfera dalle industrie.
Dunque, la blockchain esprime il massimo delle sue potenzialità se utilizzata insieme alle tecnologie che permettono di garantire la precisione dei dati. In uno studio effettuato nel 2019 dall'Osservatorio Smart Agrifood, la blockchain rappresenta una delle principali soluzioni innovative per la tracciabilità dei prodotti alimentari, passando da una percentuale del 43% fino ad aumentare al 110% nell'ultimo anno. Anche le soluzioni di "*track and trace*" basate sull'IoT hanno avuto un incremento del 63%, mentre quelle che utilizzano la data analytics restano ferme al 34% [94]. Tuttavia, molte delle applicazioni della blockchain utilizzano l'IoT e la maggior parte di queste si basa sulla sensoristica per la tracciabilità alimentare.

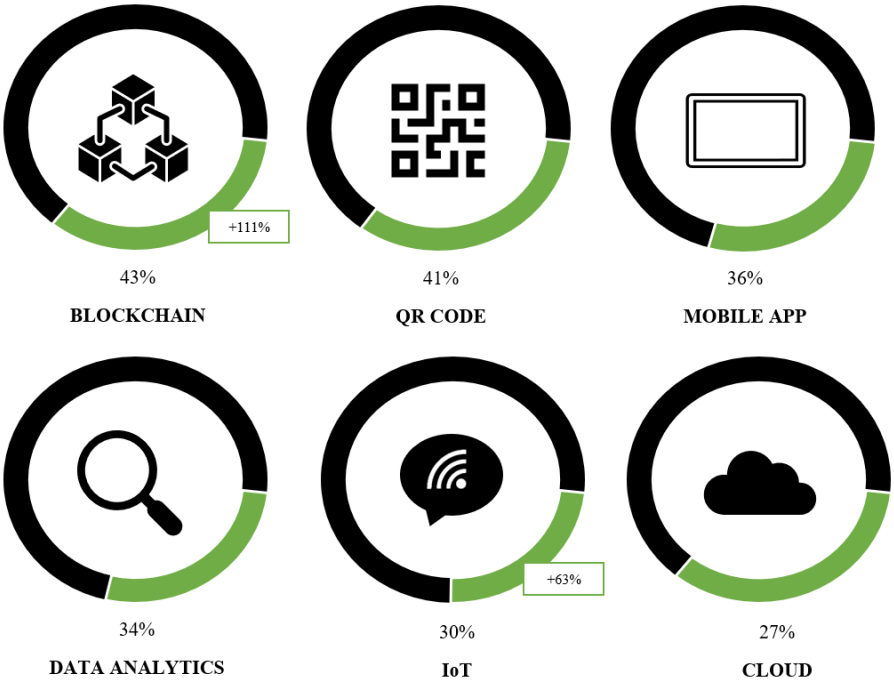


***Figura 2.22**: L'offerta delle tecnologie innovative per la tracciabilità agroalimentare in Italia* [94].

La prospettiva futura è quella di rendere le tecnologie innovative ***interoperabili*** al fine di poter sfruttare a pieno le potenzialità dell'intelligenza artificiale e tracciare i prodotti alimentari in maniera ottimale, garantendo la continuità del legame tra il prodotto fisico e quello virtuale.
Tra gli SDG (Sustainable Development Goals) dell'ONU c'è come obiettivo la sostenibilità ambientale nel settore agroalimentare, la quale può essere raggiunta attraverso l'uso combinato di soluzioni basate sull'intelligenza artificiale, l'Internet of Things e la blockchain.
Il 28 febbraio 2020 a Roma è stato firmato dalla Pontifical Academy for Life, Microsoft, IBM, FAO e il Ministero Italiano dell'Innovazione la "***Call for an AI Ethics***", documento per promuovere un approccio etico all'intelligenza artificiale. L'idea di fondo è quella di diffondere un senso di responsabilità condivisa tra organizzazioni internazionali, governi, istituzioni e settore privato nel tentativo di creare un futuro in cui l'innovazione digitale e il progresso tecnologico garantiscano la centralità dell'uomo. Indicando una nuova etica, i firmatari si sono impegnati a richiedere lo sviluppo di un'intelligenza artificiale che:

- sia al servizio del genio e della creatività umana e, quindi, sostenga ogni persona e l'umanità nel suo insieme;
- rispetti la dignità della persona umana, in modo che ogni individuo possa beneficiare dei progressi della tecnologia;
- non abbia come unico obiettivo un maggiore profitto o la graduale sostituzione delle persone sul posto di lavoro.

Questo può rappresentare un incoraggiamento per le aziende che in Italia stanno sviluppando soluzioni basate su queste tecnologie, raggiungendo così la sicurezza alimentare in maniera sostenibile. In un periodo di crisi come quello attuale, questi strumenti aiutano a prevedere carestie e risolvere i problemi, permettendo anche di salvare vite umane. Oggigiorno, molte aziende utilizzano l'IA per la sicurezza alimentare, ottimizzando la produttività e migliorando, di conseguenza, la gestione e la pianificazione delle risorse.
Nel settore agricolo, i principali ambiti di utilizzo sono:

- la robotica agricola;
- il monitoraggio del suolo e delle colture;
- l'analisi predittiva.

A tal proposito, la FAO ha avviato due progetti:

- il **portale WaPOR**, il quale monitora e fornisce informazioni sulla produttività dell'acqua in Africa e nel Medio Oriente;
- l'**ASIS** (Sistema di Indice di Stress Agricolo), il quale attraverso la tecnologia satellitare permette di fornire un valido indicatore per il monitoraggio veloce delle aree agricole con alta probabilità di siccità e stress idrico.

Trattandosi, però, di soluzioni digitali (open e online) bisogna colmare le disparità analogiche tra i vari Paesi del mondo. Infatti, oggi ci sono 6 miliardi di persone senza banda larga, 4 miliardi senza internet, 2 miliardi senza telefoni cellulari. Secondo le ricerche condotte dall'Osservatorio Smart Agrifood, in Italia c'è un urgente bisogno di figure professionali in questo settore con competenze adeguate ai nuovi trend tecnologici, in modo da permettere all'innovazione di progredire.

2.3.5 Ottimizzazione dei costi e riduzione delle emissioni di CO_2 attraverso l'intelligenza artificiale

Tra i benefici offerti dall'intelligenza artificiale, vi è la capacità di automatizzare i processi, ottimizzandoli e riducendo i costi complessivi dell'azienda [95]. L'automatizzazione non solo permette un risparmio sui tempi, ma anche una migliore qualità dei servizi offerti. In questo modo, è possibile incrementare la percezione del cliente che il prodotto abbia raggiunto o addirittura superato le proprie aspettative (*customer satisfaction*). Alcuni esempi di automazione dei processi possono essere:

- gli algoritmi di ***text analysis*** che consentono di effettuare un'analisi approfondita sui messaggi scritti tra azienda e cliente, classificando i contenuti in funzione del contesto aziendale e avviando le procedure di risposta;
- gli strumenti di ***Speech Analysis***, i quali permettono di comprendere i contenuti di una conversazione telefonica e indirizzare così le attività dell'operatore;
- gli ***strumenti NLP*** che costituiscono il meccanismo base del funzionamento degli assistenti virtuali e delle chatbot.

Per di più, altre di queste applicazioni garantiscono l'ottimizzazione dei workflow attraverso l'individuazione di inefficienze operative. Dunque, consentono di effettuare un'analisi predittiva e prescrittiva, riuscendo così ad avvisare anticipatamente l'azienda su eventuali situazioni di crisi o guasti del sistema e proponendo azioni correttive per evitare blocchi all'attività operativa aziendale. Tutto ciò permette di ottimizzare le tempistiche su azioni inutili e di poco valore, in modo tale che l'utente possa concentrarsi sulle fasi più complesse e importarti per il business.
Un altro aspetto molto importante è l'emissione dei gas serra (GHG) prodotto dalle imprese. Questa tematica sta diventando sempre più importante sia per consumatori che per regolatori e investitori, i quali reputano fondamentale regolare l'impatto che le aziende hanno sul clima. In questo contesto, l'intelligenza artificiale può cambiare le carte in tavola, offrendo una strada promettente per accelerare la trasformazione sostenibile e ridurre le spese aziendali. Poiché l'IA da accesso a enormi set di dati, le grandi aziende possono beneficiare del suo potere. Secondo il *Carbon Disclosure Project*, le emissioni globali di gas serra attualmente ammontano a circa 53 giga tonnellate di biossido di carbonio equivalente (CO2e). Gli studi effettuati dalla Boston Consulting Group (BCG) nel report *"Reduce carbon and costs with the power of AI"* dimostrano che l'impatto complessivo dell'applicazione dell'IA alla sostenibilità aziendale ammonta a un valore compreso tra 1,3 e 2,6 trilioni di dollari, generato attraverso entrate aggiuntive e risparmi sui costi entro il 2030. Si tratta di una cifra compresa tra 2,6 e 5,3 giga tonnellate di CO_2 [96].
La principale forza dell'IA, secondo la BCG, risiede in tre componenti chiave che le aziende devono tenere in considerazione:

1. **monitoraggio delle emissioni**: le aziende possono usare l'ingegneria dei dati alimentata dall'intelligenza artificiale per tracciare le emissioni in maniera automatica. Possono raccogliere i dati da ogni parte della catena del valore, anche dai fornitori di materie prime e componenti, dai trasportatori e persino dagli utenti a valle dei loro prodotti. L'IA può sfruttare i dati da nuove fonti come i satelliti e, stratificando l'intelligenza su questi ultimi, può recuperare approssimazioni di dati mancanti e stimare il livello di certezza dei risultati;

2. **prevedere le emissioni**: l'IA predittiva permette di anticipare le future emissioni di un'azienda in relazione alle nuove metodologie di riduzione del carbonio e alla domanda futura. Di conseguenza, è possibile impostare, regolare e raggiungere gli obiettivi di riduzione in modo più accurato;
3. **ridurre le emissioni**: attraverso una visione dettagliata di ogni aspetto della catena del valore disponibile tramite l'IA predittiva, è possibile migliorare l'efficienza nella produzione e nel trasporto, riducendo così le emissioni di carbonio e tagliando i costi.

In breve, l'intelligenza artificiale può aiutare le grandi aziende a ridurre il loro impatto ambientale, alleviando allo stesso tempo la pressione finanziaria che affrontano mentre emergono dalla crisi del Covid-19.

2.4 La Data Visualization

Il valore di un'azienda risiede nella capacità di estrarre e analizzare i dati in maniera ottimale. L'informazione generata è enormemente preziosa e deve essere resa fruibile all'utente finale in tempo reale, in maniera facilmente interpretabile. La chiave delle strategie di successo per le imprese risiede nella corretta lettura e interpretazione dei dati. La **Data Visualization** consente di concretizzare set di dati in informazioni comprensibili dal punto di vista logico e grafico. In questo modo, risulta più facile interpretare fenomeni e trend non così chiaramente individuabili da una prima analisi.
La data visualization fa parte del processo di ***data science***, il quale afferma che dopo la raccolta, l'elaborazione e la modellazione dei dati è necessario avere una loro visualizzazione per trarre le dovute conclusioni. Inoltre, include al suo interno una grande quantità di tecniche di visualizzazione e a ogni set di dati associa metodi di rappresentazione differenti come: tabelle, istogrammi, grafici a torta, diagrammi, mappe e cruscotti. La data visualization è una forma d'arte in quanto deve avere la capacità di catturare l'attenzione dell'utente con grafici informativi non banali, ma neanche troppo complessi.
Le caratteristiche di questo approccio risiedono in:

- **comprendere**: un'immagine ben progettata dà informazioni immediate e comprensibili rispetto a un testo scritto. In poche parole, permette la cosiddetta "lettura intelligente". Ad esempio, in un grafico è immediato capire se il trend delle vendite risulta essere positivo o negativo;
- **prevedere**: è possibile avere rappresentazioni più interattive che permettono, relazionando tra loro diversi set di dati, di esplorare le cause alla base di un determinato trend e analizzare le opportunità future;
- **decidere**: l'immediata comprensione e visualizzazione delle immagini aiuta le aziende a prendere decisioni guidate dalla concretezza dei dati analizzati alla base;
- **scoprire**: attraverso la data visualization è possibile individuare nuovi input d'analisi che stimolano ulteriori punti di vista per innovare prodotti, processi, servizi e ottenere così nuove possibilità di crescita.

Viviamo in un'era in cui le informazioni visive giocano un ruolo importante in ogni momento della nostra vita. Uno studio condotto da *SH!FT Disruptive Learning* ha dimostrato che il tempo con cui un uomo elabora le immagini risulta essere 60.000 volte più veloce del tempo che si impiegherebbe

nell'elaborare una tabella o un testo. Per di più, il cervello umano riesce a memorizzare queste informazioni e ricordarle a lungo termine. La stessa ricerca ha rilevato come, dopo tre giorni, i soggetti analizzati avevano conservato il 65% delle informazioni visive rispetto a un valore compreso tra il 10% e il 20% delle informazioni scritte o parlate. La mente umana può vedere un'immagine per soli 13 millisecondi e memorizzare l'informazione, a condizione che sia associata a un concetto. I nostri occhi possono ricevere 36.000 messaggi visivi all'ora. C'è da considerare che il 40% delle fibre nervose sono collegate alla retina [97]. Tutto ciò indica che gli esseri umani sono più bravi ad elaborare le informazioni visive, che sono alloggiate nella nostra memoria a lungo termine. Di conseguenza, una rappresentazione visiva che utilizza immagini è un modo molto più efficace per comunicare informazioni rispetto al testo o a una tabella. Questo significa che le immagini dei dati sono più attraenti, più semplici da assimilare e più facili da ricordare e, a parità di spazio con un testo scritto, forniscono più informazioni.
È possibile racchiudere l'essenza di ciò che sta dietro alla data visualization attraverso un'osservazione fatta da Edward Tufte: "*L'eccellenza grafica è quella che dà allo spettatore il maggior numero di idee nel minor tempo con il minor inchiostro nel minor spazio*".
Enrique Rodríguez, un'analista di dati presso DataNauta, una volta ha spiegato in un'intervista che: "*Un buon grafico è quello che sintetizza e contestualizza tutte le informazioni necessarie per capire una situazione e decidere come andare avanti*".
Esistono due tipologie di dati che possono essere analizzati all'interno di un'azienda:

1. **quantitativi**, ovvero dati che possono essere quantificati e misurati. Questa categoria di dati può essere ulteriormente suddivisa in: discreti (numeri interi) e continui (numeri che possono assumere qualsiasi valore all'interno di un intervallo);
2. **qualitativi**, basati su caratteristiche non numeriche. Si possono suddividere in: ordinali (che seguono un ordine o una sequenza; per esempio, l'alfabeto o i mesi dell'anno) e categorici (che non seguono un ordine fisso; per esempio, la varietà di prodotti venduti).

Il panorama della data visualization è in costante evoluzione. Gli strumenti e i software permettono di scoprire risorse grafiche illimitate e sviluppare nuove strutture per comunicare e trasmettere idee.
Le tecniche e i metodi di rappresentazione visiva dei dati progrediscono ogni giorno, mentre la tecnologia si evolve insieme alla crescita di nuove conoscenze teoriche. Con la data visualization vengono offerte esperienze di navigazione ricche di oggetti visivi avanzati, aggiornati in tempo reale e visualizzabili su qualsiasi dispositivo, nel pieno rispetto delle regole di profilazione della sicurezza e attraverso la piattaforma tecnologica scelta in funzione delle esigenze e del tipo di utente.
Una dashboard è un esempio concreto di tutto ciò, infatti rappresenta un'interfaccia utente grafica che, in base all'obiettivo o al processo aziendale, fornisce diverse viste degli indicatori di prestazioni più rilevanti per un'azienda.
Molte aziende per poter meglio tracciare i propri prodotti, tenendo sotto controllo i dati raccolti lungo la supply chain, spesso utilizzano questi strumenti di data visualization in quanto consentono in modo tempestivo ed efficace di comprendere possibili criticità nel sistema e poter intervenire in maniera immediata, riuscendo anche a captare nuove opportunità di progresso.

CAPITOLO 3

3. CASO STUDIO: AZIENDA TORINESE PRODUTTRICE DI CAFFE' TOSTATO

L'obiettivo di questo capitolo è studiare la tracciabilità del prodotto-lotto su un caso reale al fine di comprendere nel concreto la sua importanza. Il caso studio è stato incentrato su un'azienda torinese produttrice di caffè tostato per la quale ho lavorato durante il mio tirocinio presso Cluster Reply.
Al fine di comprendere la vastità e l'importanza mondiale del settore in cui l'azienda opera, sono partita da una panoramica sulle **origini del caffè** e sul suo **mercato globale**. Ciò ha permesso di avere un'idea di come la tracciabilità del prodotto-lotto per un'azienda che opera in un mercato internazionale sia complessa, ma allo stesso tempo necessaria per guadagnare un vantaggio competitivo rispetto alla concorrenza e fidelizzare sempre più i consumatori. Infatti, un'azienda che effettua la tracciabilità dei propri prodotti può garantire la trasparenza sull'intera filiera (dall'approvvigionamento delle materie prime fino alla vendita al consumatore finale), assicurando così la qualità del prodotto offerto.
Nel secondo paragrafo ho elaborato:

- l'**analisi PEST**, per comprendere i fattori che garantiscono la prosperità dell'industria del caffè;
- il **modello di Hamel e Prahalad**, per capire le competenze principali dell'azienda torinese;
- l'**analisi delle cinque forze di Porter**, per inquadrare il contesto competitivo in cui l'azienda opera e la sua stabilità nel mercato.

Successivamente, dai **macro-blocchi** che compongono una **filiera produttiva**, ho analizzato le fasi principali in cui è essenziale raccogliere tutte le informazioni sui prodotti e sugli attori coinvolti, al fine di poter rintracciare facilmente il prodotto in qualunque fase esso si trovi. A questo punto, entrando nel vivo del caso studio, ho elaborato una **soluzione** che andasse a risolvere la necessità dell'azienda torinese di implementare un nuovo sistema di tracciabilità dei prodotti. Ho illustrato in dettaglio l'intera soluzione (realizzata con Power BI) per spiegarne la potenzialità e il valore offerto all'azienda.
Per concludere, sono stati analizzati i **limiti** di Power BI per l'azienda torinese e sono state delineate alcune **opportunità** offerte dalle nuove tecnologie di intelligenza artificiale. Queste ultime, se opportunamente integrate con la soluzione sulla tracciabilità, consentono all'azienda di ottenere un nuovo modo, più veloce ed efficace, per tracciare il prodotto-lotto lungo l'intera filiera.

È fondamentale sottolineare che alcuni dati presenti all'interno delle figure contenute in questo capitolo e riguardanti l'implementazione delle dashboard e dei report per la tracciabilità del prodotto-lotto sono stati censurati per questioni di riservatezza e privacy aziendale. Tuttavia, ciò non compromette la comprensione dei vari *visual* di Power BI rappresentati.

3.1 Le origini del caffè e il suo mercato globale

Il caso studio che seguirà sarà incentrato su una famosa azienda di torrefazione torinese che è tra i principali leader di mercato, non solo a livello italiano ma anche mondiale. Prima di addentrarci nel vivo del caso studio, è opportuno comprendere le origini del caffè e il suo mercato globale.

Secondo una leggenda, fu un pastore in Etiopia a scoprire il caffè, nell'850 dopo Cristo.
Il caffè è una bevanda naturale a base di caffeina, molto apprezzata in tutto il mondo tanto da diventare la seconda bibita (dopo il thè) più consumata. Si tratta di una pianta tropicale, originaria dell'Etiopia, ormai ampiamente diffusa nei Paesi tropicali e sub-tropicali. Ha i suoi vantaggi economici in quanto fornisce reddito estero e ha una quota significativa nell'economia generale di diversi Paesi in via di sviluppo. Come il barile è l'unità di misura mondiale per il petrolio, così il sacco è l'unità di misura mondiale del caffè: ci si riferisce al sacco di juta naturale che contiene circa 60 chilogrammi di caffè verde in chicchi. Il caffè è la seconda merce più scambiata al mondo dopo il petrolio. Ogni giorno, vengono bevute circa 2,6 miliardi di tazze di caffè.
Il mercato globale del caffè è destinato a crescere grazie all'aumento della popolazione che consuma caffè anche fuori casa, del reddito disponibile e delle vendite al dettaglio e-commerce. Le tendenze chiave di questo mercato includono la crescente penetrazione dei negozi di caffè premium, la preferenza di caffè gourmet in America e l'aumento della domanda di caffè verde nei Paesi emergenti. Tuttavia, ci sono alcuni fattori che possono ostacolare la crescita del mercato tra cui: incertezze climatiche, consolidamenti al dettaglio e regolamenti rigorosi.
Le due specie di caffè con maggiore importanza a livello economico-commerciale sono: la **Coffea Arabica** (distinta in *Colombian milds*, *Other milds* e *Brazilian Naturals*) e la **Coffea Canephora**, conosciute nel commercio rispettivamente come ***Arabica*** e ***Robusta***. Queste ultime presentano grandi differenze nelle caratteristiche agronomiche, nella composizione chimica e nelle proprietà organolettiche. Le coltivazioni di Robusta sono tipiche delle regioni di pianura, mentre l'Arabica cresce negli altopiani. I chicchi di Robusta contengono più caffeina e presentano un gusto forte, corposo e amaro. Mentre, la varietà Arabica presenta basso contenuto di caffeina e minore acidità che gli conferisce un aroma delicato. Infatti, le bevande derivanti dai chicchi di Arabica sono molto apprezzate in tutto il mondo al punto da costituire i ¾ del caffè mondiale dal gusto intenso. Sul mercato mondiale, secondo le statistiche riportate sul sito dell'ICO (*International Coffee Organization*), il prezzo del caffè Arabica è circa più del doppio di quello della Robusta [98].

I cambiamenti nei gusti dei consumatori con una maggiore preferenza per i chicchi di caffè artigianali, quindi al caffè di qualità rispetto quello istantaneo, hanno modellato il mercato del caffè permettendo la crescita nel corso degli anni delle aziende di nicchia focalizzate sulla produzione di caffè "speciale", ovvero di qualità.
Il caffè di qualità è definito, dalla Specialty Coffee Association of America (SCAA), come una bevanda caratteristica dalle proprietà sensoriali uniche e distinte, derivante da chicchi di caffè verde privi di difetti primari che presentano uniformità nella dimensione. Alcune marche di caffè, come *Starbucks Coffee* e *Nespresso AAA Sustainable Quality*, puntano sulla qualità del prodotto finale per regalare proprietà sensoriali irripetibili. Pertanto, i produttori di caffè devono adottare una corretta gestione post-raccolta per ottenere le specifiche desiderate e soddisfare il requisito dello standard di alta qualità imposto dall'attuale mercato internazionale.

La lavorazione del chicco del caffè coinvolge quattro fasi principali: raccolta, lavorazione, essiccazione e torrefazione. Lo sviluppo asincrono dei chicchi del caffè causa la presenza di diversi stadi di maturazione durante il raccolto, cioè la presenza simultanea di chicchi di caffè immaturi, maturi e troppo maturi. Per la produzione del caffè di qualità, la raccolta selettiva dei chicchi maturi viene effettuata con la raccolta a mano selettiva o con la cernita. Poi, gli strati esterni dei chicchi (buccia, polpa e strato mucillaginoso) vengono rimossi con il metodo di lavorazione post-raccolta al ***naturale*** (o ***a secco***), ***lavato*** (o ***a umido***) e ***miele*** (o ***semi-umido***), riducendo il contenuto di acqua al 12%. L'ultima fase consiste nella rimozione del pergamino (strato più coriaceo che protegge il seme) e nella standardizzazione delle dimensioni dei chicchi (i chicchi verdi sono selezionati per rimuovere quelli imperfetti e difettosi).
Nel trattamento ***a secco***, i chicchi interi sono allocati in terrazze di cemento per l'essiccazione al sole o in essiccatori meccanici, fino a raggiungere lo stato di essicazione desiderato. Poiché l'essiccazione viene effettuata con il frutto intero, la rimozione della buccia viene effettuata nella fase successiva.
Nella lavorazione ***a umido***, i chicchi di caffè appena raccolti vengono immersi in acqua per separare i chicchi maturi da quelli immaturi che galleggiano sulla superficie dell'acqua. Successivamente, vengono spappolati meccanicamente e riposti in grandi vasche d'acqua per promuovere una rimozione biologica della mucillagine rimasta aderente ai chicchi (fermentazione microbica che generalmente richiede dalle 8 alle 72 ore di riposo) e, successivamente, vengono essiccati su terrazze di cemento o in essiccatori meccanici.
La lavorazione a ***semi-umido*** è una combinazione tra la lavorazione a secco e quella a umido. Infatti, dopo la rimozione della buccia e della polpa, i semi vengono direttamente essiccati su terrazze di cemento.
I chicchi di caffè possiedono una composizione chimica ricca e complessa, con più di mille composti che giocano un ruolo significativo nel gusto distintivo della bevanda di caffè. La presenza e la concentrazione di questi composti sono influenzati da diversi fattori, tra cui il genotipo dell'albero del caffè, la posizione geografica, il clima, la lavorazione post-raccolta e il processo di tostatura. Il processo di fermentazione ha un impatto importante sulla composizione del caffè associato al metabolismo di lieviti e batteri lattici. Così, di recente, i produttori hanno migliorato la qualità del caffè attraverso il controllo della fermentazione, utilizzando colture starter o bioreattori. Carvalho Neto et al. ha dimostrato che l'uso del bioreattore a serbatoio agitato e delle culture starter aumenta significativamente la qualità del caffè fino a 91,5 punti sulla scala SCAA, generando chicchi di alta qualità.

Tuttavia, la qualità del caffè non risiede solo nella tipologia di chicco ma, soprattutto, nel tipo di lavorazione a cui è stato sottoposto. Ad esempio, se un caffè è 100% Arabica, ma alla base ci sono semi crudi con dei difetti o questi ultimi sono stati iper-tostati, il caffè non sarà catalogato come "speciale" (ovvero di qualità) perché ogni aroma naturale presente nel chicco è stato coperto da un gusto troppo amaro, quasi bruciato che ne ha compromesso la qualità.
Il commercio internazionale del caffè è cresciuto notevolmente e questa crescita è stata principalmente guidata da un piccolo numero di Paesi che catturano una grande quota della catena del valore globale.
I principali produttori di caffè Arabica sono:

- il Brasile, in assoluto il principale Paese produttore di questa tipologia di caffè grazie al suo clima favorevole per la crescita della pianta;

- il Guatemala;
- l'Honduras;
- la Colombia;
- il Perù;
- l'Angola, il Burundi e il Camerun, i quali presentano un clima tropicale africano favorevole alle coltivazioni di caffè;
- l'Etiopia, dove la pianta cresce in maniera spontanea grazie al terreno e al clima adatto a questa tipologia di coltivazione.

Mentre, i principali produttori del caffè Robusta sono:

- il Vietnam, primo produttore al mondo di questa tipologia di caffè;
- l'India;
- il Congo, la Costa D'Avorio, il Madagascar e l'Uganda, sono i principali Paesi africani a esportare il caffè Robusta.

Attraverso il supporto di un report pubblicato a marzo del 2021 dall'ICO è possibile notare come la **produzione globale del caffè** per l'anno 2020/2021 è stimata in aumento dell'1,9% a 171,89 milioni di sacchi di caffè. Il principale contributo è dato dalla produzione di Arabica con una crescita del 5,2% a 101,88 milioni di sacchi di caffè. Nell'anno 2020, la produzione mondiale di Arabica è stata del 59% rispetto al 41% della produzione di Robusta (vedasi Figura 3.1). Si prevede, d'altronde una diminuzione della produzione di Robusta del 2,6% a 70,02 milioni di sacchi di caffè. L'Africa avrà un calo dello 0,8% rispetto ai sacchi venduti lo scorso anno (18,5 contro 18,7), come anche Asia e Oceania subiranno una diminuzione dello 0,4% (49,3 contro 49,5). La produzione per il Messico e l'America centrale dovrebbe rimanere uguale a quella dello scorso anno. Un aumento della produzione è previsto per il Sud America con un incremento del 4,4% (84,53 milioni di sacchi rispetto agli 80,97 milioni di sacchi del 2019/2020).

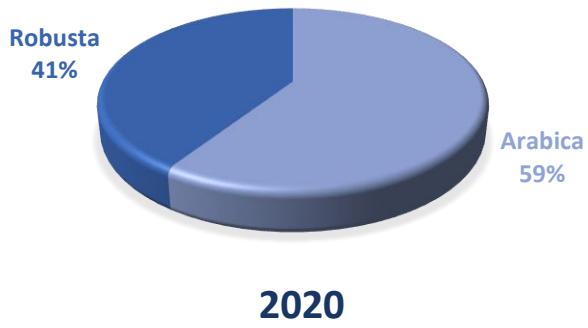


***Figura 3.1**: Produzione annua del caffè per Paese (anno 2020). Rielaborazione fonte: ICO* [99].

Mentre, nell'anno 2020, il **consumo globale del caffè** è rimasto più o meno in linea con quello dell'anno 2019 (vedasi Figura 3.2). Nello specifico, però, è possibile notare come tra il 2017 e il 2020 si è registrata una lieve crescita di circa 2 punti percentuali che ha portato a una vendita di circa 9

miliardi di sacchi di caffè in più. Era stata stimata una maggiore crescita nell'anno 2020, ma il Covid-19 ha influito negativamente soprattutto sull'approvvigionamento delle materie prime, causando così la chiusura di alcune filiere logistiche. Per tale ragione, nel primo semestre del 2020 si è registrato un calo del 9% della produzione, mentre nel secondo semestre, grazie ad alcune strategie adottate dalle imprese, si è osservato un netto incremento. Invece, tra il 2018 e 2019 si può notare un calo di trend di 1,5 milioni di sacchi, 600.000 dei quali in Europa.

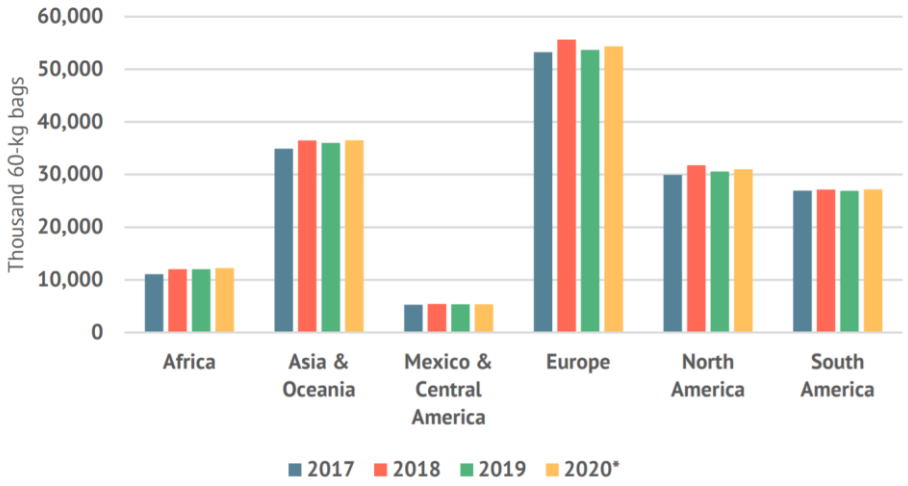


***Figura 3.2**: Il consumo del caffè all'anno* [98].

Si prevede come il consumo globale del caffè per l'anno 2020/2021 dovrebbe aumentare dell'1,3% a 166,6 milioni di sacchi rispetto l'anno 2019/2020 anche se l'economia globale si dovesse riprendere a un ritmo lento. Il consumo in Africa dovrebbe aumentare dell'1,8% a 12,2 milioni di sacchi, mentre in Asia e Oceania aumenterà dell'1,4% a 36,5 milioni di sacchi di caffè.
Le esportazioni verdi dei Brazilian Naturals sono aumentate del 18,2% nell'anno 2020/2021 rispetto all'anno precedente (vedasi Figura 3.3). I Colombian milds hanno registrato un aumento solo dello 0,3%. Le esportazioni del caffè verde di Other milds sono diminuite del 12,3%, come anche quelle di Robusta al 5,6%.

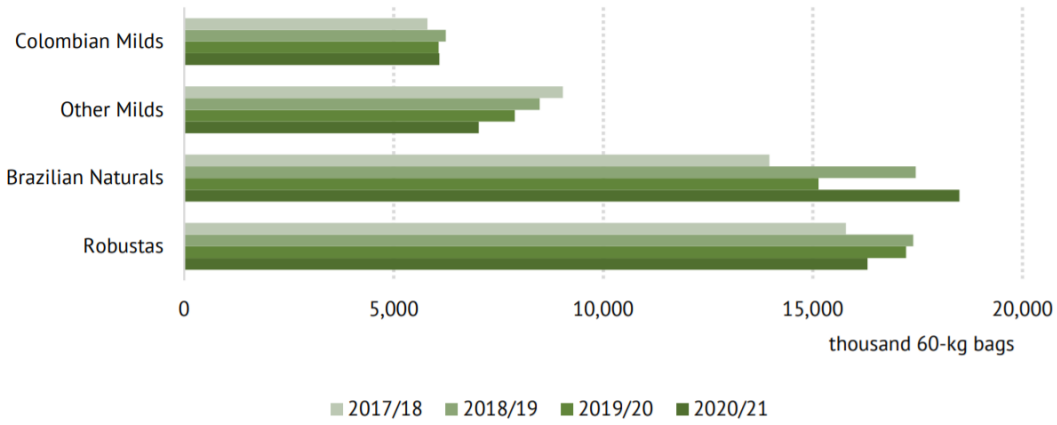


***Figura 3.3**: Statistiche mensili (periodo ottobre-febbraio) delle esportazioni del caffè verde. Fonte: ICO* [99].

Al fine di avere una panoramica dettagliata, sempre analizzando le statistiche riportate dall'ICO confrontando febbraio 2020 con febbraio 2021 (vedasi Figura 3.4), si può notare come i maggiori produttori/esportatori del caffè sono in ordine di quantità esportata: Brasile, Vietnam, Colombia. A seguire, con indici variabili in base alle annate, ci sono: Indonesia, Honduras, Uganda, India, Guatemala, Messico, Etiopia, Perù.

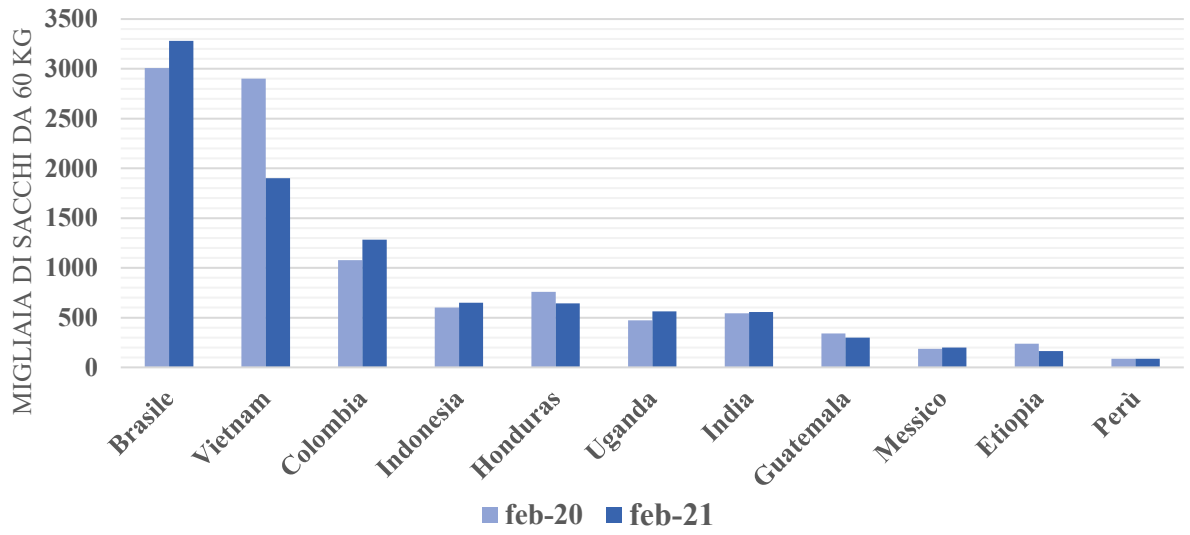


***Figura 3.4**: Rielaborazione delle statistiche dell'ICO delle esportazioni annuali del caffè* [99].

In generale, le esportazioni globali hanno totalizzato 10,47 milioni di sacchi di caffè nel febbraio 2021 rispetto agli 11,16 milioni di sacchi del febbraio 2020.
Come si evince dalla figura 3.4, ci si potrebbe domandare come mai il settore del caffè sia in rialzo nel 2021 in alcuni Paesi, soprattutto in Brasile, nonostante la catena del valore del caffè sia interconnessa e un blocco in una parte di essa si potrebbe ripercuotere sull'intero processo. In particolare, il Brasile (primo produttore mondiale di caffè) ha avuto questa risalita grazie all'abbondantissimo raccolto dell'anno precedente che gli ha permesso in parte di recuperare le perdite subite nel 2020. Sebbene il periodo di pandemia da Covid-19 non abbia favorito le esportazioni del caffè ma, anzi, abbia generato una maggiore esposizione agli shock oltre a quelli legati agli effetti del cambiamento climatico (ad esempio, mancanza di acqua o vulnerabilità del raccolto), molte aziende hanno puntato su strategie di diversificazione dei canali, rinnovando i siti web e raggiungendo così un pubblico più ampio. Inoltre, essendo molto diffusa la cultura del caffè si è puntato a promuoverla come momento conviviale. Ciò ha contribuito a far crescere il mercato, riducendo la pressione promozionale e aumentando il prezzo al kg dovuto anche alla spinta dei segmenti di più alto valore. L'aumento del consumo domestico ha compensato la riduzione del consumo fuori casa, causato dalle misure di distanziamento sociale.
Starbucks, concorrente diretto dell'espresso, ha trovato una terza via che, dopo il Covid-19, potrebbe diventare il modello per consumare il caffè nel mondo: il bicchierone di carta adatto all'asporto che, con l'aggiunta dell'app per prenotarlo e passarlo a ritirare nei punti vendita, potrebbe risollevare le sorti del consumo del caffè.
Invece, in questo scenario, una perdita notevole l'ha avuta il Vietnam in calo del 34,5% rispetto al 2020 con appena 2 milioni di sacchi di caffè imbarcati a febbraio 2021. Anche l'Honduras ha

registrato un calo del 15,4%, il Guatemala del 12,4% e l'Etiopia del 31,4%. Piccola discesa anche per il Perù con un calo del 1,8%.

Secondo l'Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico (OCSE), il 70% del commercio internazionale oggi coinvolge le catene del valore globali in quanto servizi, materie prime, parti e componenti attraversano i confini in un modo o nell'altro. Le catene del valore globali sono caratterizzate da:

- iper-specializzazione (disaggregazione dei processi produttivi in singoli compiti svolti in diversi Paesi);
- operazioni ad alta efficienza produttiva;
- relazioni tra imprese più strette e durature che consentono il trasferimento di conoscenze e tecnologie attraverso i confini.

La parte iniziale della catena (la produzione agricola, la raccolta e il post-raccolta) è ad alta intensità di lavoro, mentre la componente manifatturiera è piuttosto ad alta intensità di capitale. In seguito alla crescente globalizzazione del lavoro e all'incremento del consumo del caffè in diverse aree geografiche, la distinzione tra Paesi "esportatori/produttori" e "importatori/consumatori" è diventata meno netta. Inoltre, la liberalizzazione agricola e commerciale e le politiche di ristrutturazione nei Paesi produttori, compresa la riforma del suolo e della funzione delle commissioni (di commercializzazione) del caffè, hanno aperto nuove opportunità per i coltivatori di raggrupparsi e integrarsi nelle catene di fornitura internazionali e di accedere ai mercati tradizionali e ai nuovi mercati emergenti di consumo del caffè al fine di aumentare i loro margini di profitto.

3.2 Analisi PEST - Modello di Hamel e Prahalad - Analisi delle cinque forze di Porter

Il settore del caffè è tra i mercati più importanti in Italia, infatti ci sono oltre 800 aziende che lavorano principalmente con il caffè. Le grandi aziende del settore italiano (come Lavazza, Nestlè Italia, Illy, Kimbo, Segafredo Zanetti e Monedelz Italia) assorbono circa il 70% delle quote di mercato.
Il caso studio si è incentrato sul sistema di tracciabilità di una grande azienda di torrefazione torinese. Prima però di entrare in merito all'analisi del processo di tracciabilità, è importante comprendere il contesto in cui l'azienda si trova ad operare al fine di poter avere una visione più ampia dell'ambiente circostante e dell'intera filiera produttiva.
Come primo approccio al caso studio, ho effettuato un'analisi PEST per comprendere quelli che sono i fattori politici, economici, sociali e tecnologici che assicurano la prosperità di questa industria.

***Figura 3.5**: Analisi PEST.*

Invece, attraverso il modello di Hamel e Prahalad (vedasi Figura 3.6), è possibile analizzare quali sono le competenze principali dell'azienda torinese, tra cui:

- la ricerca di nuovi prodotti;
- la sperimentazione delle varie miscele;
- l'evoluzione e l'innovazione per essere sempre in grado di soddisfare i bisogni dei clienti.

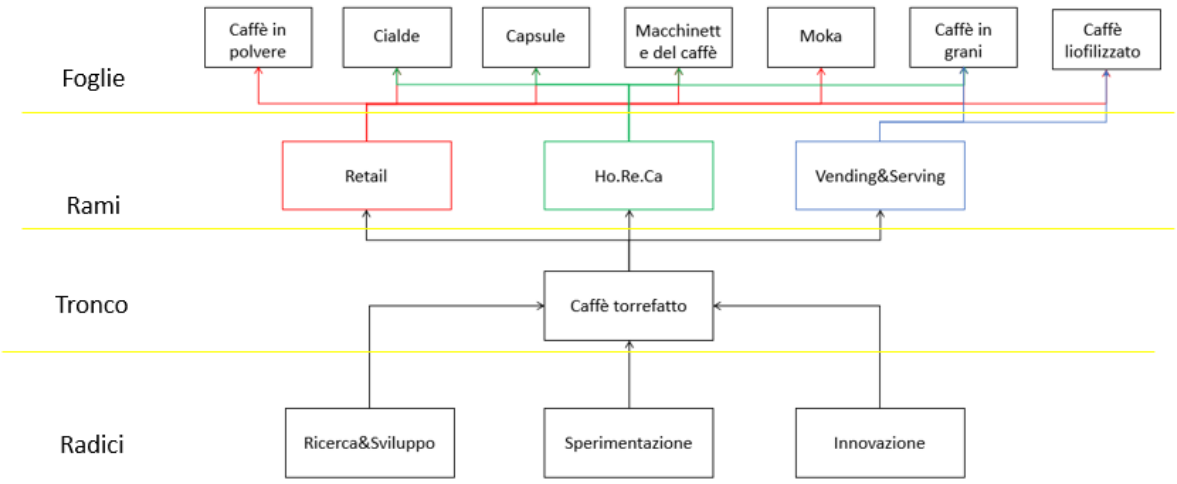


***Figura 3.6**: Modello di Hamel e Prahalad.*

Per quanto riguarda la ricerca, il dipartimento di **Ricerca&Sviluppo** è costituito da un gruppo di esperti che grazie alla loro passione selezionano la materia prima, le macchine, i sistemi e il packaging. L'acquisto della materia prima segue precisi standard di qualità per ogni singola origine di caffè e tutte le caratteristiche vengono accuratamente valutate prima di essere acquistate. La miscelazione, la torrefazione e la macinatura sono il cuore del processo produttivo del caffè e per questo i macchinari e i sistemi adibiti a questi compiti sono tra i più sviluppati e controllati.
L'azienda presenta, inoltre, un laboratorio dove si **sperimentano** nuove combinazioni di gusti e si disegnano strumenti per la preparazione e il servizio del caffè. La creazione delle miscele è controllata dagli esperti, dal sistema informativo e da intenditori che assaggiano le singole miscele per garantire ogni anno lo stesso risultato di qualità e lo stesso gusto per ogni miscela.
L'**innovazione** è perseguita ogni giorno, grazie a un'analisi e uno studio continuo che mirano a:

- diversificare sempre più l'offerta ai consumatori attuali e a quelli potenziali;
- integrare la sostenibilità ambientale nei propri prodotti e processi.

Un lavoro che viene svolto attraverso:

- un'attività di ricerca, effettuata dalla costante collaborazione tra le diverse Direzioni interessate;
- un'innovazione "aperta" che si concretizza nell'analisi di tutte le fonti esterne che possono apportare spunti di miglioramento e nuove idee da sviluppare.

L'azienda ha avviato anche una serie di attività finalizzate a misurare la percezione dei consumatori in relazione agli aspetti di sostenibilità. Una di tali ricerche si è concentrata proprio sulla capsula compostabile, dove sono stati evidenziati ottimi risultati di vendita per l'azienda.
Anche le informazioni sulle collaborazioni istaurate con i fornitori e i distributori sono di estrema importanza e vengono valorizzate con investimenti di lungo periodo. Il continuo sviluppo dell'azienda è reso possibile grazie al lavoro degli operatori che indagano sui diversi processi. Le conoscenze all'interno dell'azienda vengono trasferite dal personale più esperto ai nuovi collaboratori

attraverso un processo strutturato tramite la definizione di percorsi e di strumenti per la formazione e l'aggiornamento professionale. Tali percorsi sono progettati attraverso un'analisi accurata dei fabbisogni formativi con il coinvolgimento diretto dei manager e delle persone sin dalla fase di analisi. La capacità principale dell'azienda è l'utilizzo del **metodo Kaizen**, ovvero l'insieme delle tecniche che permettono di pensare, analizzare e migliorare continuamente, attraverso le persone e l'efficacia operativa. Al metodo Kaizen è associato il concetto che il miglioramento si ottiene sul "campo" osservando gli sprechi e definendo i miglioramenti necessari. Proprio in questo ambito, l'azienda si è concentrata principalmente nello sviluppo e nel consolidamento di professionalità polivalenti e polifunzionali. Per ogni stabilimento produttivo è stata individuata una figura responsabile dell'attività di miglioramento continuo e sono stati coinvolti operatori esperti per le attività di semplificazione e risoluzione dei problemi. I problemi individuati vengono affrontati in gruppo tramite l'analisi dettagliata della problematica riscontrata, l'individuazione della relativa causa, la scelta della soluzione da adottare, l'implementazione della stessa e la misurazione dei risultati ottenuti. L'analisi delle problematiche riscontrate è facilitata tramite l'utilizzo dello strumento Power BI (il quale verrà descritto dettagliatamente nei successivi paragrafi) che semplifica l'individuazione delle relative cause e agevola la scelta della migliore soluzione da adottare.

Al fine di inquadrare il contesto competitivo in cui l'azienda opera e quindi la sua stabilità sul mercato, ho effettuato un'analisi delle cinque forze di Porter. Queste ultime consentono ad un'azienda di prevenire e contrastare situazioni che potrebbero intaccare la sua redditività nel lungo periodo. Il quadro competitivo in cui un'azienda opera dipende, per l'appunto, dall'interazione di cinque forze.

1. **Minaccia beni sostituti**.
   La principale componente del caffè è la caffeina, responsabile dell'effetto stimolante ovvero della capacità di "restare svegli". Sotto tale aspetto, tuttavia, esistono numerose bevande che consentono di ottenere lo stesso requisito. Dunque, possibili beni sostituti del caffè possono essere tutte le bevande energizzanti, gli integratori alimentari, il tè e così via. In realtà, il caffè è anche molto utilizzato come bevanda nei momenti di ritrovo o break durante la giornata. In questo scenario, i beni sostituti possono essere: le sigarette, l'aperitivo, il gelato. Anche se le proprietà organolettiche del caffè spingono i consumatori a ridurne la frequenza di assunzione all'interno della giornata in favore di altri beni, complessivamente la **minaccia di beni sostituti nel settore del caffè non è molto elevata** se si considera la radicata cultura per cui il caffè in Italia rappresenta la bevanda per eccellenza nei momenti di "pausa". Tale cultura piano piano sta prendendo spazio anche a livello internazionale, anche se ancora la strada da percorrere è molto lunga. Perciò, nei Paesi esteri la minaccia di beni sostituti risulta essere leggermente più elevata.
2. **Minaccia nuovi entranti**.
   In generale, la **minaccia di nuovi entranti può considerarsi bassa nel settore del caffè** e questo ne **aumenta la profittabilità e l'attrattività**. In particolare:
   - per quanto riguarda i requisiti patrimoniali, la necessità in termini di capitale investito è alta in quanto servono enormi investimenti per costruire gli impianti di torrefazione e i macchinari necessari alla produzione del caffè;
   - sono presenti economie di scala dal momento che la grande produzione di caffè, per le aziende già all'interno del settore, consente di distribuire i costi raggiungendo la

scala efficiente minima: dove l'azienda può operare in modo efficiente e produttivo al minor costo unitario possibile;

- sono presenti economie di apprendimento: le imprese sul mercato hanno già investito e continuano ad investire in ricerca e sviluppo, aumentando così le proprie capacità e rendendo sempre più difficile ai nuovi entranti riuscire ad allinearsi con le conoscenze del settore. Per tale motivo, le nuove aziende si troverebbero a dover affrontare un'impresa ardua dovendo sostenere ingenti investimenti in ricerca e sviluppo per poter fronteggiare la concorrenza;
- l'importanza del brand è molto elevata e, nonostante il settore sia caratterizzato da una certa sensibilità al prezzo, rappresenta un fattore discriminante nelle scelte del consumatore. Inoltre, per le aziende del settore, la fidelizzazione del cliente è stata acquisita nel tempo tramite campagne pubblicitarie e sponsorizzazioni del marchio per accentuare la brand loyalty. I nuovi entranti devono sostenere ingenti costi di marketing e pubblicità per farsi conoscere e questo costituisce una barriera all'ingresso;
- per quanto riguarda l'accesso alle materie prime, le imprese già presenti nel settore hanno contratti con grossi fornitori in Paesi esteri e, in ogni caso, trovano facilità a procurarsele, avendo una serie di conoscenze. Al contrario, i nuovi entranti devono saper selezionare i fornitori, anche in base alla qualità, e organizzare gli ordini;
- anche per quanto riguarda l'accesso ai canali di distribuzione le imprese dentro il mercato hanno delle agevolazioni come il fatto che molti bar/locali sono convenzionati con loro oppure la presenza di una posizione di rilievo all'interno degli scaffali del supermercato, dal momento che gli assortimenti sono basati quasi esclusivamente sulle marche più note.

3. **Rivalità interna al settore**.
   La concentrazione del mercato è elevata in quanto poche grandi imprese occupano la maggioranza delle quote di mercato. Nel territorio italiano, le principali imprese (Lavazza, Nescafè, Nestlè, Illy, Kimbo, Caffè Hag, Segafredo, Mauro, ecc.) sono in grado di soddisfare l'intera domanda di mercato. Inoltre, negli ultimi anni il settore è stato caratterizzato da un notevole numero di fusioni e acquisizioni che hanno diminuito la competizione di prezzo, anche grazie all'utilizzo da parte delle imprese di simili processi di produzione. Ciò ha permesso di rendere il settore profittevole. Per quanto riguarda la differenziazione di prodotto, questa è principalmente orizzontale, in quanto le scelte dei consumatori dipendono dalle loro preferenze. Nello specifico, per alcuni consumatori il caffè d'eccellenza è quello di qualità "Arabica", altri preferiscono quello di qualità "Robusta" e accusano il primo di avere un gusto poco deciso. Dunque, la differenziazione di un prodotto dipende dalle preferenze del consumatore. Il settore del caffè è caratterizzato dalla presenza di elevati costi fissi rispetto ai costi variabili, molto più contenuti. Le imprese sono quindi tentate a tagliare i prezzi per aumentare i volumi di vendita e spalmare i costi fissi su più unità. In ogni caso, questo settore risulta essere sempre più in crescita, non solo nel territorio italiano ma anche all'estero. In generale, è possibile dire che **la competizione di prezzo è bassa** e questo comporta **una bassa rivalità interna al settore aumentandone**, a sua volta, **la profittabilità**.
4. **Potere contrattuale degli acquirenti**.
   Tra gli acquirenti sono presenti:

- RETAIL, ovvero la distribuzione al dettaglio, il quale alimenta il consumo di caffè domestico. Essendo aumentato il grado di concentrazione nella grande distribuzione, tali acquirenti hanno un elevato potere contrattuale e sono in grado di influenzare fortemente il prezzo impostato dai torrefattori;
- HOTEL, RISTORANTI E CAFÈ che presi singolarmente hanno un basso potere contrattuale ma unendosi nel Consorzio Nazionale Ho.Re.Ca. (termine commerciale che si riferisce al settore dell'ospitalità, ristorazione e catering) acquistano un maggiore potere contrattuale. Tuttavia, la concentrazione dell'offerta e della domanda risulta essere ancora bassa in quanto il consumatore mantiene alta la fedeltà al punto vendita. Quindi, i margini di profitto per i torrefattori sono alti;
- VENDING & SERVING, il quale rappresenta il canale delle aziende che si occupano della gestione dei distributori automatici e dei sistemi per cialde e capsule. Con il termine "vending" ci si riferisce alla distribuzione automatica, ovvero all'attività di somministrazione e vendita di alimenti e bevande (tra cui il caffè) tramite macchine distributrici con le quali il consumatore può interagire in maniera autonoma, senza la presenza di intermediari. Per "serving" ci si riferisce a un sistema a cialde monodose, diffuso non solo in ambito domestico ma anche in quei luoghi che presentano un "coffee corner" al loro interno (come università, musei, ospedali, ecc.) per migliorare la customer journey del cliente. Tale canale, inoltre, alimenta trasversalmente un po' tutti i mercati (Ho.re.ca., OCS, famiglie). Qui, la concorrenza tende a essere in aumento, anche se ancora limitata. Infatti, gli acquirenti sono sensibili al prezzo e la competizione è basata principalmente su di esso in quanto i fattori critici di successo sono: la qualità della materia prima (fondamentale per la qualità della produzione), la velocità di preparazione, la facilità d'uso e la pulizia della macchina istallata. Dal momento che la competizione nel mercato degli acquirenti è molto elevata, vi è anche un'elevata sensibilità al prezzo. In altri termini, considerando che gli acquirenti sono sensibili al prezzo, **il loro potere contrattuale è elevato** e questo ha un impatto **negativo sulla profittabilità del settore.**

5. **Potere contrattuale dei fornitori**.
   I principali fornitori sono i coltivatori delle piantagioni di caffè. Essendo questi numerosi e dislocati in Paesi con basso costo del lavoro e con poche informazioni sul mercato, il loro **potere contrattuale** è **basso**, e così la sensibilità al prezzo. Questo comporta un **impatto positivo sulla profittabilità**.
6. Esiste una sesta forza rappresentata dai: **Beni complementari**.
   Tra i beni complementari sono presenti beni alimentari come lo zucchero e il latte, e beni di altro genere che ne permettono la fruibilità come le caffettiere, le macchinette del caffè e le tazzine. Essendo numerosi, generano valore e **aumentano la profittabilità del settore**.

Dall'analisi delle forze di Porter emerge che la profittabilità e quindi l'attrattività del settore è elevata:

FORZA	POTERE	EFFETTO SULLA PROFITTABILITÀ'
Minaccia di beni sostituti	Basso	Aumenta
Minaccia nuovi entranti	Basso	Aumenta
Rivalità interna	Basso	Aumenta
Potere contrattuale degli acquirenti	Elevato	Diminuisce

Potere contrattuale dei fornitori	Basso	Aumenta
Beni complementari	Elevato	Aumenta

Figura 3.*7: Tabella riassuntiva dei risultati emersi dall'analisi delle cinque forze di Porter.*

3.3 Caso studio: problematica e soluzione

In un settore, come quello del caffè, le aziende devono avere la capacità di monitorare scrupolosamente il mercato e rispondere velocemente alle aspettative dei loro clienti e dei loro partner, al fine di non rimanere indietro rispetto alla concorrenza. Proprio in questo contesto, la strategia aziendale deve essere supportata da informazioni chiare e affidabili per soddisfare le esigenze dei clienti che richiedono sempre più prodotti alimentari salubri e trasparenti. Il problema principale risiede nella modalità con cui queste informazioni vengono identificate, raccolte e presentate alle persone che si devono occupare del tracciamento dei prodotti. È importante fare presente che le grosse aziende sono sopraffatte da una notevole quantità di dati e che spesso i sistemi che hanno a disposizione non sono efficienti nell'elaborare questa enorme mole di informazioni. È proprio in questo contesto che l'azienda di torrefazione torinese ha riscontrato la necessità di aggiornare le proprie tecnologie a disposizione per efficientare e ottimizzare il proprio lavoro.

La descrizione del contesto (analizzato in precedenza) in cui l'azienda opera, è importante per comprendere come risulti essenziale in questo settore possedere un vantaggio competitivo rispetto ai competitors per avere maggior quota di mercato e soddisfare l'esigenza dei clienti sulla qualità del prodotto offerto. Questo è possibile anche grazie a un buon sistema di tracciabilità dei prodotti. All'interno del caso studio, ci focalizzeremo sullo strumento con cui si possono raccogliere, centralizzare e visualizzare le informazioni per tracciare il prodotto lungo l'intera filiera. Questo strumento consente di poter costantemente monitorare i prodotti ed effettuare analisi predittive, permettendo così all'azienda di intervenire in caso di problematiche.
L'azienda utilizzava il software SAS per digitalizzare i dati di tracciabilità dei prodotti. Si tratta di un software nato come sistema dedicato all'analisi statistica, costituito da un insieme di prodotti software integrati che permettono di eseguire sofisticate analisi matematiche e di pianificazione, risolvere problemi complessi di gestione del rischio e così via. Nello specifico, l'azienda si basava su un report SAS per estrarre i dati che poi elaborava in un documento Excel. Successivamente essa ha riscontrato la necessità di trasformare tecnicamente tutti i programmi realizzati sulla piattaforma SAS e migrare i report presenti in un'altra piattaforma, a seguito di:

- obsolescenza dello strumento che non garantiva più i livelli di prestazione richiesti;
- difficoltà nel reperire know-how relativo a SAS sul mercato;
- scelte architetturali non compatibili con la strategia definita per il Data Center aziendale.

Dunque, il nuovo strumento utilizzato per soddisfare quest'esigenza e generare report legati alla tracciabilità è stato **Power BI**. Quest'ultimo fa convergere al suo interno procedure importanti per l'azienda che consistono in:

- acquisizione dei dati;
- integrazione dei dati da diverse fonti;
- creazione di modelli dati;

- trasformazione dei dati;
- analisi dei dati attraverso diverse visual;
- fruizione dei dati attraverso desktop e piattaforma di tipo Service;
- gestire gli accessi degli utenti tramite Active Directory.

Dunque, consente di creare report dinamici e dare un maggior utilizzo dei grafici, offrendo la possibilità di consultare i dati in mobilità e ridurre così la manipolazione dei dati Excel. Inoltre, attraverso questo strumento, viene data la possibilità di avere un maggiore slancio verso la sostenibilità ambientale andando a ridurre l'utilizzo di stampa su carta.

Si tratta di uno **strumento di analisi che fornisce informazioni dettagliate in tutta l'organizzazione**, permettendo di:

- essere **connessi a centinaia di origini di dati**, anche eterogenee per tipologia, promuovendo analisi ad hoc e generando report;
- avere una **protezione permanente dei dati** anche in caso di condivisione all'esterno dell'organizzazione;
- esportare **i report in altri formati**, ad esempio Excel, PowerPoint e PDF;
- ottenere il **massimo dagli investimenti per i Big Data** grazie alla connessione a tutte le origini dati con la scalabilità necessaria per analizzare, condividere e promuovere le informazioni dettagliate nell'intera organizzazione, mantenendo al tempo stesso l'accuratezza, la coerenza e la sicurezza dei dati.

Nel dettaglio, è possibile partire dalla modellizzazione dei dati relazionandoli tra di loro al fine di creare delle metriche aziendali, dei report e delle dashboard attraverso l'uso delle varie visual di Power BI. L'utilizzo di questo strumento permette di valutare le prestazioni del sistema di tracciabilità dei prodotti del cliente, al fine di comprendere al meglio gli obiettivi concreti di riferimento e interpretare i valori dei KPI derivanti da tale sistema.

Attraverso il seguente caso studio, sarà possibile:

1. risolvere la problematica, centralizzando i dati raccolti lungo la filiera produttiva ed efficientando il sistema con alti livelli di prestazione;
2. monitorare costantemente i dati sul prodotto ed effettuare analisi predittive per incrementare e migliorare la propria strategia di business al fine di soddisfare le esigenze dei consumatori.

In sostanza, questo strumento garantisce un efficiente sistema di tracciamento dei prodotti, permettendo all'azienda di compiere le proprie analisi in modo più veloce ed efficace, senza dispersione di dati aziendali sensibili e assicurando la fiducia dei consumatori grazie alla trasparenza dei processi.

Prima di descrivere nello specifico la soluzione del caso studio, è opportuno delineare quelli che sono i macro-blocchi di una filiera produttiva del caffè. Ciò consentirà di comprendere tutti gli step in cui è essenziale raccogliere le opportune informazioni per tracciare un prodotto in maniera completa.

3.4 I macro-blocchi di una filiera produttiva

Per entrare sempre più nel vivo del caso studio e comprendere la soluzione proposta, è opportuno prima analizzare quali sono i macro-blocchi di una filiera produttiva che permettono di avviare una tracciabilità completa del prodotto. Infatti, per garantire la tracciabilità, è fondamentale possedere un sistema che permetta di registrare e seguire l'intero iter di un prodotto, dalla spedizione da parte dei fornitori alla sua distribuzione al cliente finale. Questo processo consente la raccolta e la memorizzazione di tutte le informazioni sul prodotto, come: le materie prime coinvolte, i fornitori, i risultati del Controllo Qualità, ecc.
In sostanza, sono **quattro** le **fasi principali** di questo processo:

1. **approvvigionamento delle materie prime** che comprende la fase di raccolta, trasporto ed eventuale deposito nel magazzino iniziale. In questa fase, vengono memorizzati i dati riguardanti tutte le informazioni sulle materie prime che saranno coinvolte nell'intero processo di realizzazione di un prodotto;
2. **produzione**, costituita dall'insieme di tutte quelle fasi che consentono la lavorazione e la trasformazione delle materie prime in prodotto finito. In questa fase, avviene la raccolta di blocchi di dati che memorizzano tutte le trasformazioni effettuate dai prodotti nelle diverse fasi di lavorazione;
3. **trasporto al magazzino** è la fase in cui il prodotto viene trasportato dal sito di produzione al magazzino, prima della distribuzione del prodotto finito al cliente finale. Qui avviene il monitoraggio dei dati sui movimenti dei prodotti ai magazzini in base alle tendenze di produzione, ai livelli di prodotto e agli ordini dei clienti;
4. **vendita**, ovvero l'ultima fase del "viaggio" di un prodotto dal magazzino al sito di destinazione del cliente finale. In questa fase, vengono raccolti i dati dei prodotti finiti, dei prodotti venduti e dei clienti.

Nonostante l'importanza del caffè, la sua catena di approvvigionamento ha ancora diverse sfide da affrontare davanti a sé, come la produzione frammentata, il cambiamento climatico e l'instabilità del mercato. Per non parlare dell'emergente trasformazione digitale per cui, tecnologie innovative come l'Intelligenza Artificiale, l'Internet delle cose, i Big Data e il Cloud Computing, dovrebbero essere implementate in tutte le industrie che vogliono migliorare la trasparenza e la tracciabilità nei processi.
La catena produttiva del caffè è costituita da una complessa rete di relazioni tra torrefattori, commercianti, trasformatori, agricoltori, consumatori, ecc. Include informazioni sul prodotto, sulle parti interessate e sui costi. Queste informazioni richiedono una fase di raccolta dei dati, una fase di valutazione e l'utilizzo di strumenti di *intelligence* per la fase di analisi. Nella prima fase è importante identificare tutte le parti coinvolte nella catena di approvvigionamento per rintracciarne i dati alla fonte. Mentre la seconda fase permette ai fornitori di comunicare con i clienti e condividere i dati per soddisfare richieste di trasparenza. Le altre fasi coinvolgono l'analisi e la tracciabilità delle informazioni tra i vari attori.
Tuttavia, rintracciare l'origine dei prodotti in una filiera produttiva complessa richiede un'infrastruttura di metadati trasparente e a prova di manomissione, che deve essere affidabile per tutte le parti coinvolte e adattabile ad ambienti e regolamenti mutevoli.

Nei prossimi paragrafi, verrà effettuata un'analisi più dettagliata di ogni singolo macro-blocco, per descrivere la soluzione proposta all'azienda torinese sulla tracciabilità dei propri prodotti e comprendere come essa può essere ottimizzata e ampliata anche ad altre imprese.

3.5 Analisi del caso studio

Per realizzare una soluzione in grado di supportare l'azienda torinese nel tracciare i propri prodotti, il primo passo è stato quello di dimostrarne la fattibilità di un PoC (*proof of concept*), ovvero la bozza di progetto basata sull'ottimizzazione del sistema di tracciabilità dei prodotti.
Come accennato precedentemente, la soluzione proposta all'azienda è basata sull'utilizzo di **Power BI** come strumento per effettuare le analisi e il monitoraggio delle informazioni raccolte sulla **tracciabilità dei prodotti**.
Power BI è un insieme di servizi software che consentono, attraverso l'aggregazione di diverse origini dati non correlate, di avere un insieme di informazioni coerenti. In questo modo è possibile creare un **dataset**, il quale costituisce il cuore pulsante del modello di funzionamento di Power BI. Si tratta di un modello semantico che rappresenta il data mart[11] in cui sono raccolti i dati di interesse di una determinata area di business. È composto da: dati, misure (dette anche misure DAX), colonne calcolate e relazioni. Inoltre, un dataset può essere alimentato da un **data flow**: questo è l'output ottenuto dall'utilizzo dello strumento di ETL[12] Power BI Data Flow che permette la trasformazione del dato tramite il linguaggio di Power Query. Può essere utile per mettere a fattor comune delle trasformazioni ricorrenti in più dataset. Inoltre, non può contenere misure ma solamente colonne calcolate.
Considerando che nella catena del valore del caffè sono coinvolti attori (come fornitori e consumatori) collocati in Paesi diversi e quindi molto distanti tra di loro, l'azienda presenta la necessità di raccogliere dati derivanti da differenti sistemi sorgente. La principale sorgente dati utilizzata è il sistema ***Oracle***. Sono presenti anche dati provenienti da:

5. tracker locali *Oracle*;
6. anagrafiche da *SAP HANA*;
7. informazioni di dettaglio SSCC (Serial Shipping Container Code) da *SQL Server*;
8. rielaborazioni dati *Oracle* fatte su *SAP HANA*.

Power BI è composto da tre principali elementi che interagiscono tra di loro:

1. **Power BI Desktop**: applicazione desktop Windows, utilizzata in questo caso studio per elaborare i dati e realizzare un sistema efficiente di monitoraggio e analisi delle informazioni sulla tracciabilità dei prodotti;
2. **Power BI Service**: servizio SaaS (*Software as a Service*) online, utilizzato per rendere fruibile la soluzione proposta attraverso il web ai vari utenti, sempre nel pieno rispetto dei ruoli ricoperti presso l'azienda di torrefazione torinese;

[11] Un **data mart** è un database strutturato contenente esclusivamente informazioni pertinenti a una determinata area aziendale. Spesso rappresenta una sezione del Data Warehouse aziendale.
[12] **ETL** (**Extract, Transform & Load**) è un software in grado di estrapolare dati da più sorgenti per trasformarli e caricarli in un unico repository o Data Warehouse.

3. **Power BI App**: per dispositivi mobili Windows, iOS e Android, utilizzato per permettere all'azienda di poter consultare la soluzione offerta in qualunque momento.

Attraverso l'utilizzo di Power BI Desktop, è stato possibile importare le tabelle provenienti dai diversi sistemi sorgente, ripulirli e relazionarli tra di loro al fine di generare uno schema a stella (vedasi Figura 3.11). Prima di caricare i dati, è possibile trasformare o modificare la query nell'editor di Power Query nel caso in cui fosse necessario.
Per relazionare le tabelle tra di loro è importante individuare le "chiavi di join" al fine di evitare dati ridondanti. Perciò è necessario individuare la "chiave primaria" o la colonna che permette d'identificare univocamente ogni riga di una tabella con un campo in un'altra tabella. La colonna nell'altra tabella prende il nome di "chiave esterna". Ad esempio, se si vuole tenere traccia delle vendite di ogni prodotto realizzato, si crea una relazione tra la colonna di chiave primaria (ad esempio: COD_PROD) nella tabella "Prodotto" e una colonna di chiave esterna chiamata COD_PROD nella tabella "Vendite".
Le relazioni tra le tabelle possono essere di tre tipi:

1. **relazione uno-a-molti**: a una riga di una tabella (detta "tabella primaria") corrispondono una o più righe di un'altra tabella (detta "tabella secondaria"). Questa è il tipo di relazione più utilizzata. Ad esempio, a un singolo cliente possono corrispondere uno o più ordini o a una tipologia di prodotto possono corrispondere più pallet spediti (vedasi Figura 3.8);

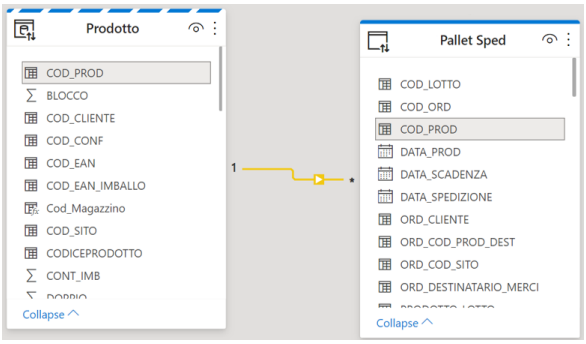


***Figura 3.8**: Estratto dal dataset di Power BI come esempio di relazione uno-a-molti.*

2. **relazione molti-a-molti**: a una riga di una tabella corrispondono più righe di un'altra tabella e viceversa. Questo tipo di relazione, in realtà, è preferibile non utilizzarla per evitare di creare ridondanza tra i dati. Per ovviare a questo problema è consigliabile utilizzare due tipi di relazioni del tipo uno-a-molti con la presenza di una terza tabella (detta "tabella associativa") che funge da intermediaria tra le due. Nell'esempio riportato in Figura 3.9, PRODOTTO_LOTTO rappresenta la chiave primaria della tabella "Anagrafica Lotto Sped" e identifica in modo univoco ogni prodotto associato al lotto. COD_LOTTO è, invece, la chiave primaria della tabella "LottoDist" e identifica in modo univoco ogni lotto. La tabella associativa "Pallet Sped" contiene le chiavi esterne PRODOTTO_LOTTO e COD_LOTTO.

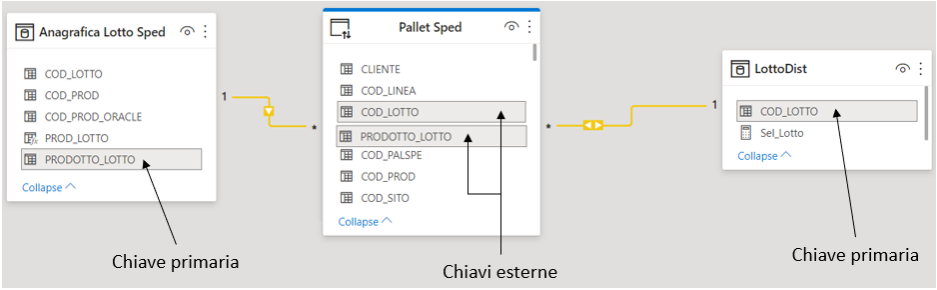


***Figura 3.9**: Estratto dal dataset di Power BI come esempio di relazione molti-a-molti.*

3. **relazione uno-a-uno**: a una riga di una tabella corrisponde esclusivamente una riga di un'altra tabella e viceversa (vedasi Figura 3.10). In entrambe le tabelle, le chiavi sono considerate primarie. Questa tipologia di relazione è molto rara; viene utilizzata quando, ad esempio, si vuole dividere una tabella con molte colonne o archiviare dati di breve durata che potrebbero andare persi all'eliminazione della tabella.

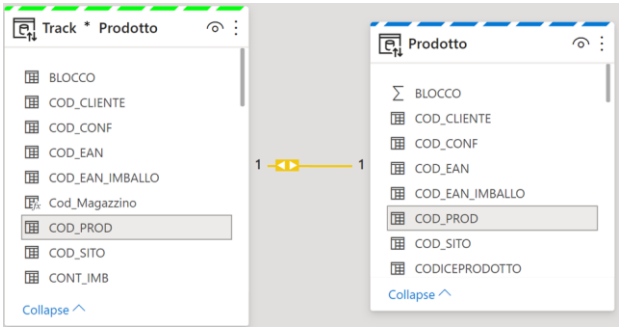


***Figura 3.10**: Estratto dal dataset di Power BI come esempio di relazione uno-a-uno.*

Affinché il dataset creato performi bene deve essere costruito in una logica di modellazione, secondo uno schema a stella. Si tratta di un approccio alla modellazione dove si ha una classificazione delle tabelle del modello come *dimensioni* (tabelle che descrivono le entità aziendali, ovvero gli elementi modellati) o *fatti* (tabelle in cui sono archiviate osservazioni o eventi, come ordini di vendita, tassi di cambio, ecc.).

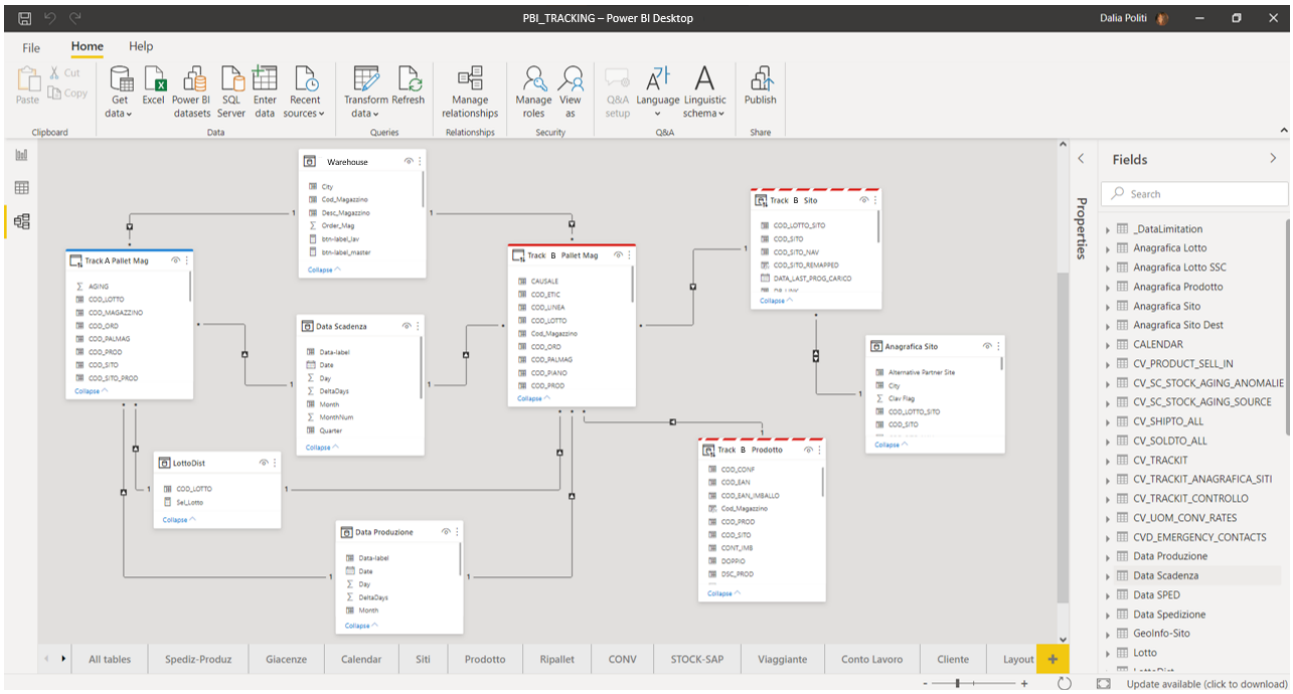


***Figura 3.11**: Estratto del dataset di Power BI: tabelle di diversi sistemi sorgente relazionate tra di loro tramite le "chiavi di join".*

Il dataset generato può essere usato più volte in una o più aree di lavoro e può essere utilizzato in report diversi. Proprio per questo, rappresenta la base dati necessaria a creare report o dashboard, ma anche a fare analisi (Self-service BI).

Dunque, l'ulteriore passo è stato quello di creare delle colonne calcolate e misure per relazionare tra loro i dati e generare l'analisi. Le **colonne calcolate**, contenute in un dataset, sono il risultato di una formula, ovvero un'azione di calcolo che lavora sulla base di altre colonne presenti nella stessa tabella o in tabelle correlate. Queste ultime lavorano riga per riga e permettono di aggiungere nuovi dati a una tabella già presente nel modello. Infatti, anziché caricare da un'origine dati, i valori della colonna vengono definiti mediante formula DAX[13]. Un esempio può essere quando si sceglie di concatenare i valori di due colonne diverse in due tabelle diverse ma correlate; oppure eseguire addizioni o estrarre sottostringhe. Le colonne calcolate sono simili alla misura perché si basano su formule DAX, ma si distinguono per le modalità d'uso in quanto vengono utilizzate come nuovi campi in righe. Invece, le **misure** contenute in un dataset calcolano un risultato a partire da una formula espressa. Si tratta di una formula scritta in DAX che consente la generazione di riepiloghi, ad esempio somme, medie, minime, massime e conteggi. Le espressioni di misura utilizzano spesso funzioni di aggregazione DAX (come sum, min, max, average) per generare un risultato di valore scalare in fase di query (valori non archiviati nel modello). La funzione utilizzata produce un risultato in base a un contesto, cioè il risultato dei calcoli nelle misure cambia in base ad altri campi o ad altre espressioni nella formula.

[13] Con **formula DAX** si intende il linguaggio di espressione delle formule da usare con dati relazionali. Esiste una libreria con funzioni, operatori, costrutti mediante i quali è possibile creare nuove informazioni in base ai dati già presenti nel modello (sintassi, funzioni, contesto). All'interno di un dataset di Power BI è possibile lavorare utilizzando formule DAX per creare misure.

Tutto ciò permette di generare report e dashboard. Nello specifico, una **dashboard** di Power BI è una singola pagina costituita da KPI (cross dataset) e dagli elementi visivi più importanti per dare una vista business di alto livello. Contiene, per l'appunto, solo gli elementi fondamentali a raccontare una storia. È dedicata a figure executive ed è pensata per prendere decisioni in modo tempestivo (non ci devono essere tabelle o drill down). Può collezionare informazioni provenienti da più report appartenenti allo stesso workspace. Invece, un **report** di Power BI si basa su un singolo set di dati ed è un insieme di oggetti visivi che costituiscono conclusioni e approfondimenti. Gli oggetti visivi in un report rappresentano singole parti di informazioni. Dunque, un report consente di visualizzare un set di dati da più punti di vista attraverso rappresentazioni visive. Può essere composto da più pagine ed è basato su un unico dataset.
Nel caso studio, la maggior parte dei dati presenti in dashboard sono **direttamente connessi a report**, per cui l'aggiornamento dei dati presenti in essa è fatto al momento in cui si accede ai vari report. Anagrafiche e rielaborazioni SAP sono, invece, aggiornati quotidianamente tramite schedulazione automatica.

Per riassumere quanto detto, di seguito uno schema (Figura 3.12) che raffigura come i diversi "artefatti" descritti precedentemente si relazionano tra di loro all'interno di Power BI. Il dataset è il cuore pulsante dell'intero modello ed è la base su cui viene costruito un report. Ci possono essere i data flow che alimentano il dataset. Mentre, i report alimentano le dashboard per cui una dashboard può essere alimentata anche da più report.
La soluzione proposta all'azienda di torrefazione torinese è stata elaborata attraverso Power BI Desktop e poi resa fruibile tramite Power BI Service e Power BI App.
È importante sottolineare come, attraverso Power BI Desktop, è possibile configurare la sicurezza a livello di riga (Row-Level Security) per i modelli di dati importati in Power BI. Questa funzionalità consente di limitare l'accesso ai dati per specifici utenti. In questo modo, quando il report viene pubblicato su Power BI Service, i singoli utenti (come possono essere diversi manager di multinazionali) potranno visualizzare dati diversi connettendosi allo stesso report, in quanto il dato è filtrato in base ai ruoli aziendali delineati su Power BI Desktop. Dunque, il report sarà lo stesso ma le informazioni visualizzate varieranno in base agli utenti che vi accedono (come, ad esempio, dati americani/italiani/francesi). In tal modo, si garantisce la sicurezza del dato.
Si può anche impostare la sicurezza a livello di riga nei set di dati che usano Direct Query, ad esempio SQL Server.

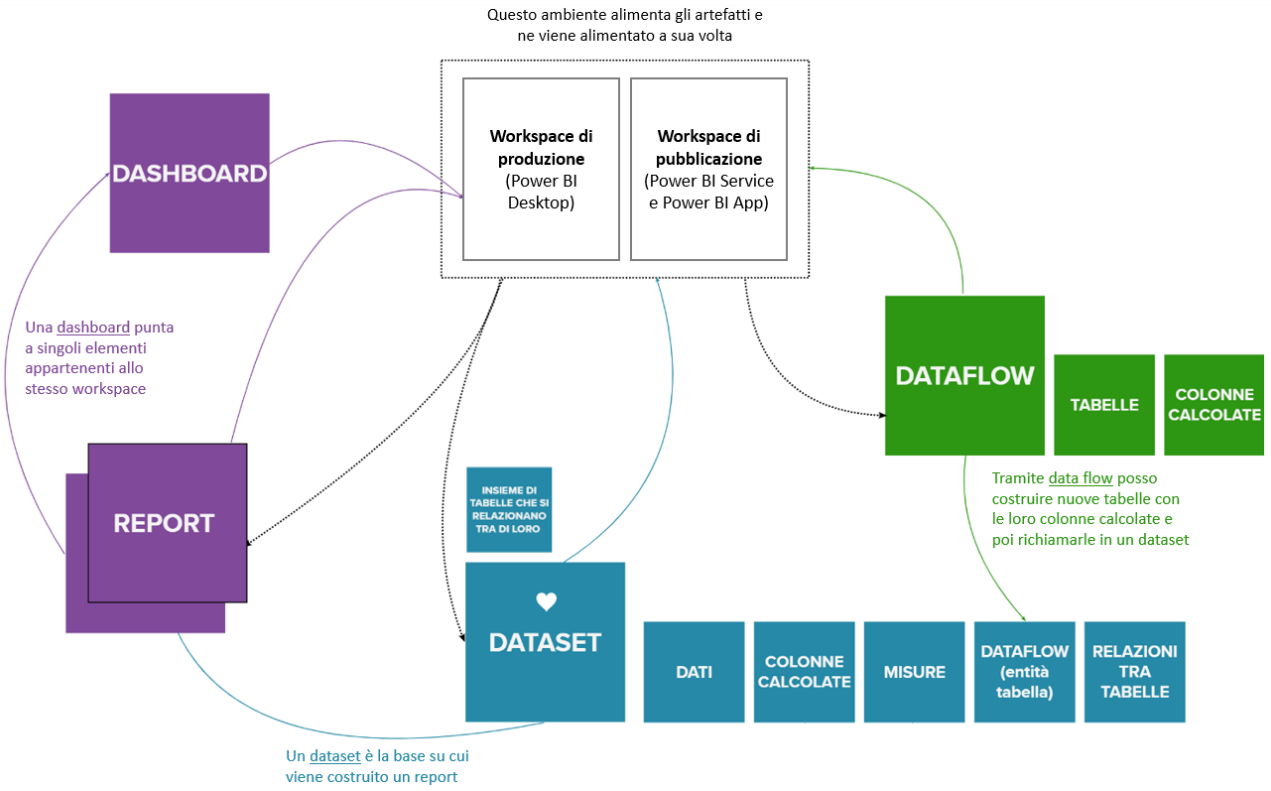


***Figura 3.12**: Schema riassuntivo delle relazioni esistenti tra gli "artefatti" di Power BI.*

Lo scopo dei report SAS era quello di verificare la bontà della tracciabilità controllando che quanto è stato prodotto sia effettivamente uscito dal magazzino o sia in giacenza. Mantenendo lo stesso obiettivo richiesto dall'azienda, è stato mitigato il programma SAS adibito a leggere le tabelle della Tracciabilità ed a fare un bilanciamento tra le quantità prodotte e quelle in uscita a livello di prodotto e di lotto. Inoltre, sono stati sviluppati report di maggiore dettaglio per offrire una soluzione più completa ed efficiente rispetto alla precedente.
In ogni dashboard, attraverso l'utilizzo di colonne calcolate e misure, sono stati lavorati i dati alla base per generare diversi KPI e metriche utili per ottenere ulteriori informazioni sulla tracciabilità del prodotto.
Di seguito un riepilogo di quanto era precedentemente implementato sulla piattaforma SAS e di quello che adesso è stato prodotto tramite l'utilizzo di Power BI Desktop.

AS-IS		TO-BE		
Paragraph/use case	**Sub section**	**Dashboard Section**	**Dashboard path**	**PBI Report Note**
Tracciabilità Distributiva	***Produzione Effettuata***	*Tracciabilità Distributiva su singolo prodotto - lotto*	*Home > Cerca Prodotto > Produzione*	*Disponibile per singolo Prodotto-Lotto*
Tracciabilità Distributiva	***Giacenza magazzino***	*Tracciabilità Distributiva su singolo prodotto - lotto*	*Home > Cerca Prodotto > Giacenza*	*Disponibile per singolo Prodotto-Lotto*
Tracciabilità Distributiva	***Viaggiante***	*Tracciabilità Distributiva su singolo prodotto - lotto*	*Home > Viaggiante*	*Pagina dedicata: Viaggiante*
Tracciabilità Distributiva	***Spedizione interne***	*Tracciabilità Distributiva su singolo prodotto - lotto*	*Home > Cerca Prodotto > Spedizioni interne*	*Disponibile per singolo Prodotto-Lotto*
Tracciabilità Distributiva	***Fittizi***	*Tracciabilità Distributiva su singolo prodotto - lotto*		*Informazione relativa al sito*
Tracciabilità Distributiva	***Ingressi da Fornitore***	*Tracciabilità Distributiva su singolo prodotto - lotto*	*Home > Cerca Prodotto > Ingresso Fornitori*	*Disponibile per singolo Prodotto-Lotto*
Tracciabilità Distributiva	***Vendite a Cliente***	*Tracciabilità Distributiva su singolo prodotto - lotto*	*Home > Cerca Prodotto > Spedizioni*	*Disponibile per singolo Prodotto-Lotto*
Tracciabilità Distributiva	***Ripallettizzati***	*Tracciabilità Distributiva su singolo prodotto - lotto*	*Home > Ripallettizzati*	*Pagina dedicata: Ripallettizzati*
Tracciabilità Distributiva	***Conto Lavoro: Rilavorazione***	*Rilavorazioni Conto Lavoro*	*Home > Rilavorazione CLAV*	*Sezione dedicata in cui occorre fornire il composto o il componente*
Tracciabilità Distributiva	***Bilancio di massa***	*Tracciabilità Distributiva su singolo prodotto - lotto*	*Home > Cerca Prodotto > Riepilogo*	*Disponibile per singolo Prodotto-Lotto*
Stock Report New		*Situazione Corrente Stock Aging*	*Home > Generale > Stock Aging*	*Pagina dedicata da dati SAP HANA*
Trackit Audit Massivo		*Ricerca Avanzata*	*Home > Ricerca Avanzata*	*Sezione dedicata ad impostare più filtri liberi, facendo navigare le pagine solo se il risultato è entro un certo limite di dati*
Query Lotto		*Tracciabilità Distributiva su singolo prodotto - lotto*	*Home > Cerca Lotto*	*Da un lotto si possono vedere tutti i prodotti e poi vedere la tracciabilità distributiva di un singolo Prodotto-Lotto*
Query Identificativo Cialde		*Ricava SSCC*	*Home > Ricava SSCC*	*Ricerca SSCC a partire da prodotto-lotto e SKU Serial di SQL Server attraverso l'impostazione dei filtri sulla pagina*
Ricava SSCC		*Ricava SSCC*	*Home > Ricava SSCC*	*Ricerca SSCC a partire da prodotto-lotto e date di completamento ed etichettatura attraverso l'impostazione dei filtri sulla pagina*
Track Spedito Gattinara		*Ricerca Avanzata Spedizioni Sito*	*Home > Spedizioni Sito*	*Pagina dedicata estesa per tutti i siti*
Track Pallet Gattinara		*Ricerca Avanzata Spedizioni Sito*	*Home > Spedizioni Sito*	*Pagina dedicata estesa per tutti i siti*
Query Matricole per macchina originale		*Rilavorazioni Conto Lavoro*	*Home > Macchine*	*Pagina dedicata*
Query Matricole per macchina rilavorata		*Rilavorazioni Conto Lavoro*	*Home > Macchine*	*Pagina dedicata*

***Figura 3.13**: Tabella riepilogativa dell'offerta di dashboard sviluppata per il to-be rispetto a quanto precedentemente veniva utilizzato per monitorare le informazioni inerenti alla tracciabilità dei prodotti.*

La Data Visualization, analizzata nel capitolo precedente, ha permesso di comprendere l'importanza per un'azienda di interpretare i dati in maniera intuitiva e corretta. Ciò è possibile attraverso rappresentazioni grafiche che consentono di concretizzare set di dati in informazioni chiare e comprensibili dal punto di vista logico. Sfruttando le funzionalità a disposizione su Power BI, tramite una nuova veste grafica, viene data all'azienda la possibilità di analizzare correttamente i dati, monitorarli e individuare facilmente nuovi trend per rimanere sempre al passo con i tempi.

La prima dashboard implementata (vedasi Figura 3.14) è stata pensata come una sorta di "pannello di controllo" in quanto consente una migliore navigazione tra le varie pagine attraverso la selezione di specifici pulsanti che rispondono a una particolare richiesta. Dunque, questa pagina iniziale serve da indice e i pulsanti permettono di navigare nelle sezioni di dettaglio.

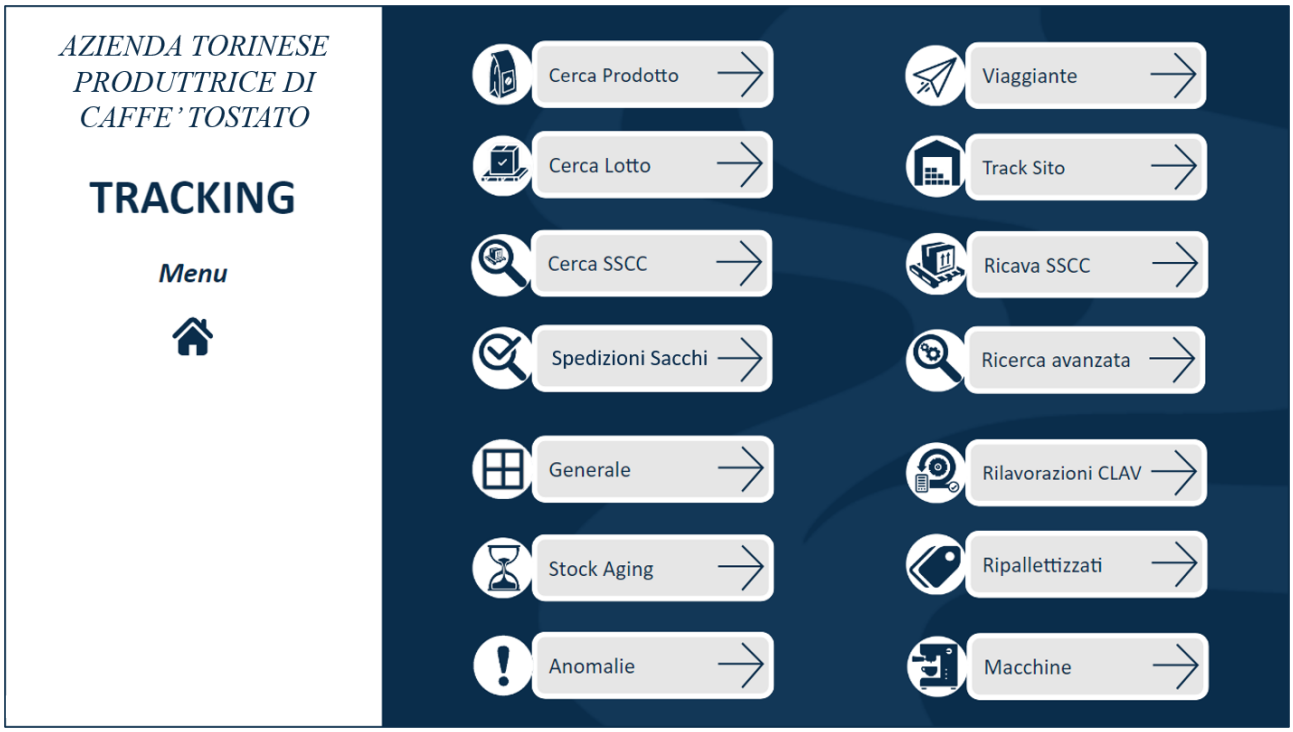


***Figura 3.14**: Dashboard rappresentante la pagina iniziale che funge da indice tra le diverse sezioni.*

Nei paragrafi successivi, descriverò nel dettaglio le singole sezioni implementate al fine di comprendere come è possibile generare soluzioni di questo tipo per analizzare le informazioni raccolte sulla tracciabilità dei prodotti.
È importante sottolineare che tutti i dati inseriti nelle dashboard vengono aggiornati in tempo reale. Ciò sta a indicare la circostanza per cui i dati d'ingresso sono i valori attuali degli stessi e che i risultati dell'elaborazione vengono aggiornati sempre nel momento in cui sono intervenute variazioni in tali valori.

3.5.1 Tracciabilità distributiva: approvvigionamento materie prime

Nel caso studio si parla di **tracciabilità distributiva** intesa come la tracciabilità di tutti i movimenti:

- in entrata, ad esempio: produzione, ingressi dei prodotti derivanti dai fornitori, ecc.;
- in uscita, ad esempio: vendita del prodotto al cliente, invio a conto lavoro, ecc.;
- giacenze a magazzino;
- trasferimenti interni tra i vari magazzini.

Solitamente quest'analisi viene fatta per singola coppia prodotto-lotto.
Partendo da un prodotto-lotto indicato, il programma produce i report relativi a tutte le sue movimentazioni, dalla produzione in stabilimento, alla giacenza presso un magazzino, fino all'eventuale vendita a cliente. Per i prodotti rilavorati, esiste anche il report che riporta le rilavorazioni effettuate e l'eventuale tracciabilità del componente o dei composti. Il risultato principale di verifica è il ***Bilancio di Massa***: il report calcola il delta tra la quantità prodotta, la giacenza e le uscite. Se la differenza tra quello che è stato prodotto e quello che è in uscita/giacenza è uguale a zero, significa che è stato tracciato il 100% del prodotto-lotto analizzato.

L'unità di misura utilizzata per conteggiare i KPI nei vari report è l'***unità di magazzino*** (***UDM***). Per comprende a quanti kg di caffè corrisponde un'unità di magazzino (UDM), in Power BI c'è una tabella proveniente dal sistema sorgente che, per ogni codice di prodotto, indica i kg di quel prodotto corrispondente a 1 UDM.

Dalla dashboard iniziale descritta nel paragrafo precedente (Figura 3.14), attraverso la selezione del pulsante "Spedizioni sacchi", si viene reindirizzati su una nuova dashboard che fornisce tutte le informazioni riguardante la **movimentazione dei sacchi di caffè dal sito di raccolta al sito di lavorazione** (vedasi Figura 3.15).

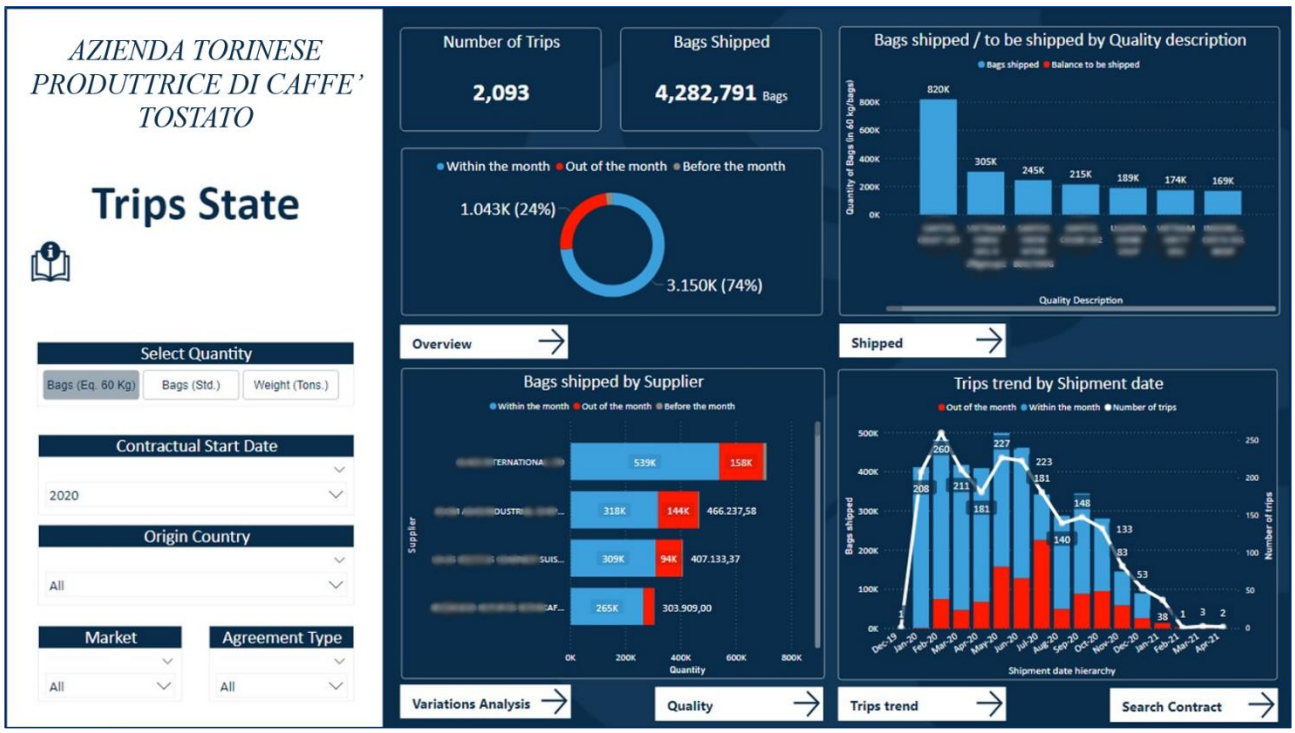


Figura 3.15*: Dashboard: Trips State.*

In questa dashboard, vengono monitorati:

- i volumi imbarcati **prima** del periodo di imbarco, ovvero prima della data prevista dal contratto ("before the month");
- i volumi imbarcati **entro** il periodo di imbarco, ovvero entro le date contrattuali stabilite ("whithin the month");
- i volumi imbarcati **oltre** il periodo di imbarco, ovvero al di fuori della data massima contrattuale stabilita ("out of the month").

Le etichette sono inserite poiché, per i "fuori mese", l'azienda deve tenere traccia dello spedizioniere (se diverso dal fornitore), delle causali e dei relativi giorni di ritardo (minimo e massimo). Nello specifico, attraverso il grafico a torta, è possibile analizzare le quantità di sacchi di caffè che vengono spediti entro, oltre e prima il periodo d'imbarco considerato. Selezionando il pulsante "Overview" presente sotto il grafico, sarà possibile analizzare queste quantità per ogni singola qualità offerta dal Paese fornitore. Attraverso lo *Stacked column chart* (grafico in alto a destra) è possibile osservare,

per ogni singola qualità richiesta, la quantità di sacchi di caffè imbarcati (in figura evidenziati di colore azzurro) e non ancora imbarcati (di colore rosso). Anche in questo caso si ha un ulteriore dettaglio dalla selezione del pulsante "Shipped". Con lo *Stacked bar chart* (grafico in basso a sinistra) si possono osservare le quantità di sacchi imbarcati (prima/entro/oltre il periodo di riferimento) per ogni singolo fornitore. Maggiori informazioni inerenti a questo grafico sono disponibili selezionando i pulsanti sottostanti la figura.
Infine, attraverso il *Line and stacked column chart* (grafico in basso a destra), è possibile osservare il trend per data di imbarco del numero totale di viaggi in base alle quantità di sacchi imbarcati entro, oltre e per il periodo analizzato. Inoltre, attraverso il pulsante "Search Contract" è possibile avere informazioni di dettaglio sui contratti stipulati con i fornitori di materie prime. In questo modo, si ha anche la trasparenza dei dati di tracciabilità inerenti ai fornitori, da consultare in caso di ritardi o eventuali problematiche (come, ad esempio, il numero di sacchi non coincidenti con quelli stabiliti contrattualmente).
Nella dashboard, sono anche presenti dei filtri che consentono di focalizzare le analisi in base:

- a una specifica quantità di sacchi di caffè (da 60 kg/standard o maggiore di 60 kg/in tonnellate);
- a un determinato anno;
- al Paese di origine da cui provengono i sacchi di caffè;
- al tipo di accordo stipulato;
- al mercato di riferimento (ad esempio: italiano, americano, ecc.).

Tramite il tasto "Quality", si viene reindirizzati al report di dettaglio sulle quantità imbarcate (shipped) per differente qualità di caffè (vedasi Figura 3.16).
Attraverso il *Line and stacked column chart* (grafico in alto a destra) si può osservare, per ogni singolo Paese fornitore e per ogni qualità di caffè, la quantità totale di caffè imbarcata e il numero totale di viaggi effettuati. La tabella rappresentata mostra l'origine da dove provengono le qualità di caffè con la possibilità di aggiungere ulteriormente il dettaglio su fornitore e spedizioniere (supplier e shipper).
Il *Decomposition tree* (grafico in basso a sinistra), permette all'utente di scegliere come visualizzare il dato e osservare le diverse qualità di caffè che compongono le quantità totali di sacchi imbarcati, specificando i corrispettivi fornitori. Si può, infatti, esplorare le quantità imbarcate per qualità e/o per origine e/o per fornitore e/o per spedizioniere e/o per anno.

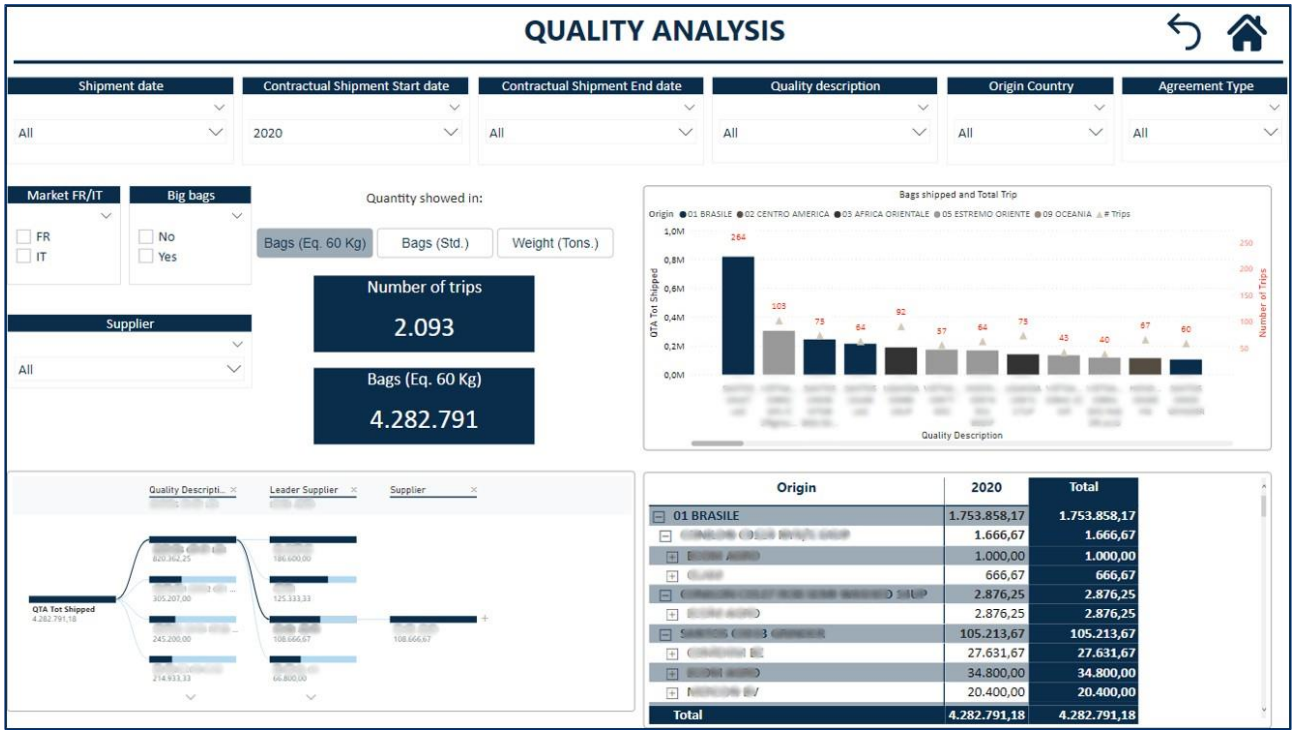


***Figura 3.16**: Report: Analisi per qualità.*

Inoltre, attraverso altri report di dettaglio, è possibile tenere traccia:

- di eventuali ritardi nelle spedizioni delle materie prime con relativa causale;
- dei giorni di sosta del prodotto;
- del luogo di sbarco del prodotto con relative informazioni su quest'ultimo (come, ad esempio: "qualità urgente" o "attesa nazionalizzazione" o "documenti mancanti");
- dei giorni totali di viaggio delle materie prime;
- della media di tempo marittimo per compagnia di navigazione;
- del numero totale di giorni fuori franchigia;
- della posizione doganale;
- della data di imbarco, arrivo nave e deposito in magazzino;
- del numero di controlli della merce fino alla messa in produzione;
- del peso in kg netti del caffè appena sbarcati, inseriti nel magazzino e spediti verso lo stabilimento.

Per concludere la sezione sull'approvvigionamento delle materie prime, bisogna considerare anche le informazioni inerenti alla loro giacenza nel magazzino iniziale, come:

- tempo medio, minimo e massimo di giacenza di un prodotto a magazzino;
- tipo di colli e di qualità di caffè censiti nel magazzino;
- data introduzione del prodotto nel magazzino;
- ultima data di estrazione dal magazzino con numero di sacchi rimanenti;
- numero di verifiche per il controllo qualità.

Selezionando uno specifico magazzino, si viene reindirizzati a un report di dettaglio che permette di osservare anche il numero di giorni fuori porto, quelli fuori magazzino e confrontarli negli anni per conoscerne il trend (vedasi Figura 3.17).

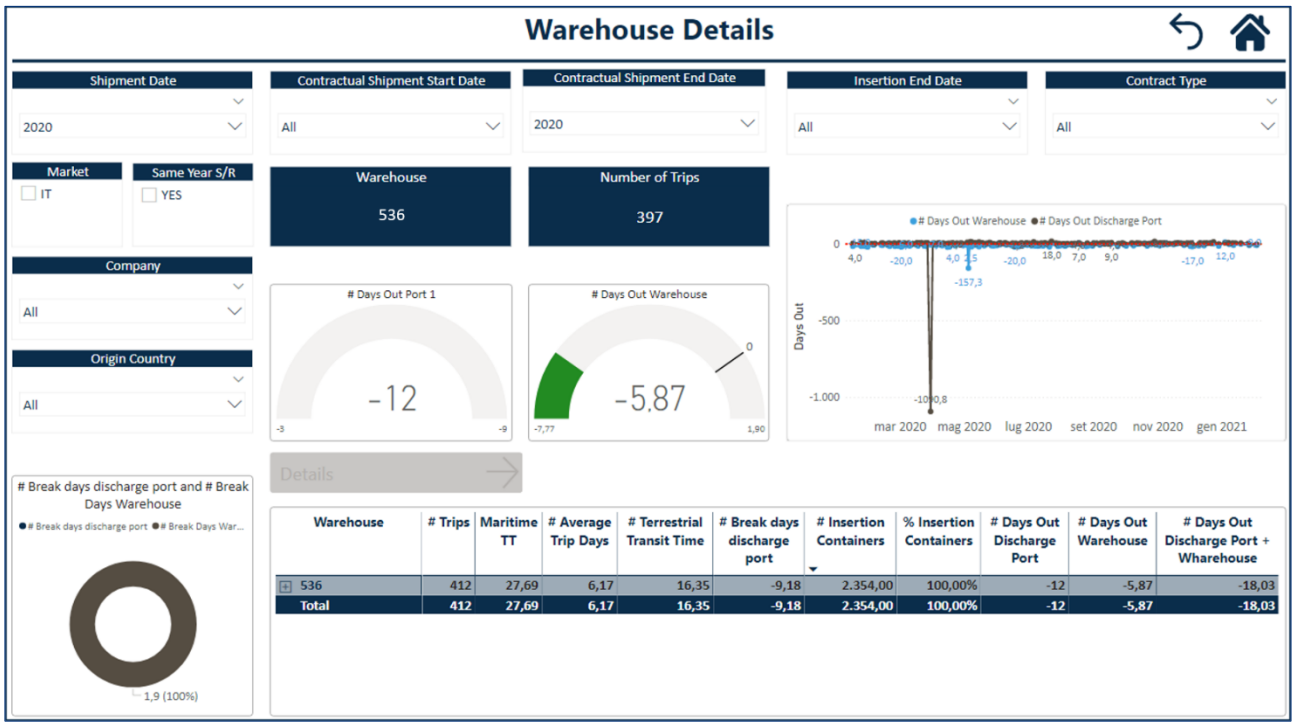


***Figura 3.17**: Report: Dettagli-Magazzino.*

3.5.2 Tracciabilità distributiva: produzione, trasporto e vendita

Dalla dashboard iniziale (Figura 3.14), tramite la selezione del pulsante "Cerca Prodotto" si verrà reindirizzati a una nuova dashboard che consente di ricercare un **prodotto** e, di conseguenza osservarne i lotti ad esso associato, facendo un'overview di tracciabilità distributiva (vedasi Figura 3.18).

***Figura 3.18**: Dashboard: Home-Prodotto.*

Pertanto, l'obiettivo di questa dashboard è quello di focalizzarsi sull'analisi del prodotto con un conseguente monitoraggio di tutti i lotti ad esso associati.
L'analisi è stata pensata secondo quattro macroaree principali:

1. **Spedizioni**: nella quale si trova una *Advance Card*[14] rappresentante un KPI di conteggio in UDM (unità di magazzino) del numero totale di prodotti spediti al cliente e un *Clustered bar chart* tramite il quale è possibile osservare, per ogni singolo lotto, le quantità di prodotti spediti al cliente;
2. **Produzioni**: nella quale si trovano due *Advance Card* rappresentanti due KPI di conteggio in UDM (una relativa al numero totale di prodotti che sono già stati realizzati e l'altra al numero totale di prodotti inviati dal fornitore nel sito di produzione) e una *Map* attraverso la quale è possibile conoscere la posizione del sito di produzione e la quantità dei prodotti-lotti realizzati in quel sito;
3. **Giacenze**: nella quale si trova una *Advance Card* rappresentante un KPI di conteggio in UDM delle quantità di prodotti in giacenza in magazzino e un *Clustered column chart* nel quale è possibile osservare, per ogni singolo magazzino dell'azienda, la quantità di prodotto-lotto in giacenza;
4. **Trasferimenti**: nella quale si trovano due *Advance Card* rappresentanti due KPI di conteggio in UDM (una relativa al numero totale di prodotti trasferiti internamente tra i vari magazzini e l'altra al numero totale di prodotti inviati a conto lavoro) e un *Sankey 2.1.3* nel quale si può osservare la quantità totale di prodotto-lotto trasferita da un magazzino all'altro.

[14] L'Advance Card è una scheda visiva presente in Power BI. Ha un'interfaccia personalizzabile dall'utente e permette di implementare al suo interno un KPI.

Invece, selezionando il pulsante "Cerca Lotto" della dashboard in Figura 3.14, si verrà reindirizzati a un'altra dashboard che consente di effettuare le analisi partendo da un **lotto** e monitorando conseguentemente tutti i prodotti ad esso associato, facendo un'overview di tracciabilità distributiva (vedasi Figura 3.19).

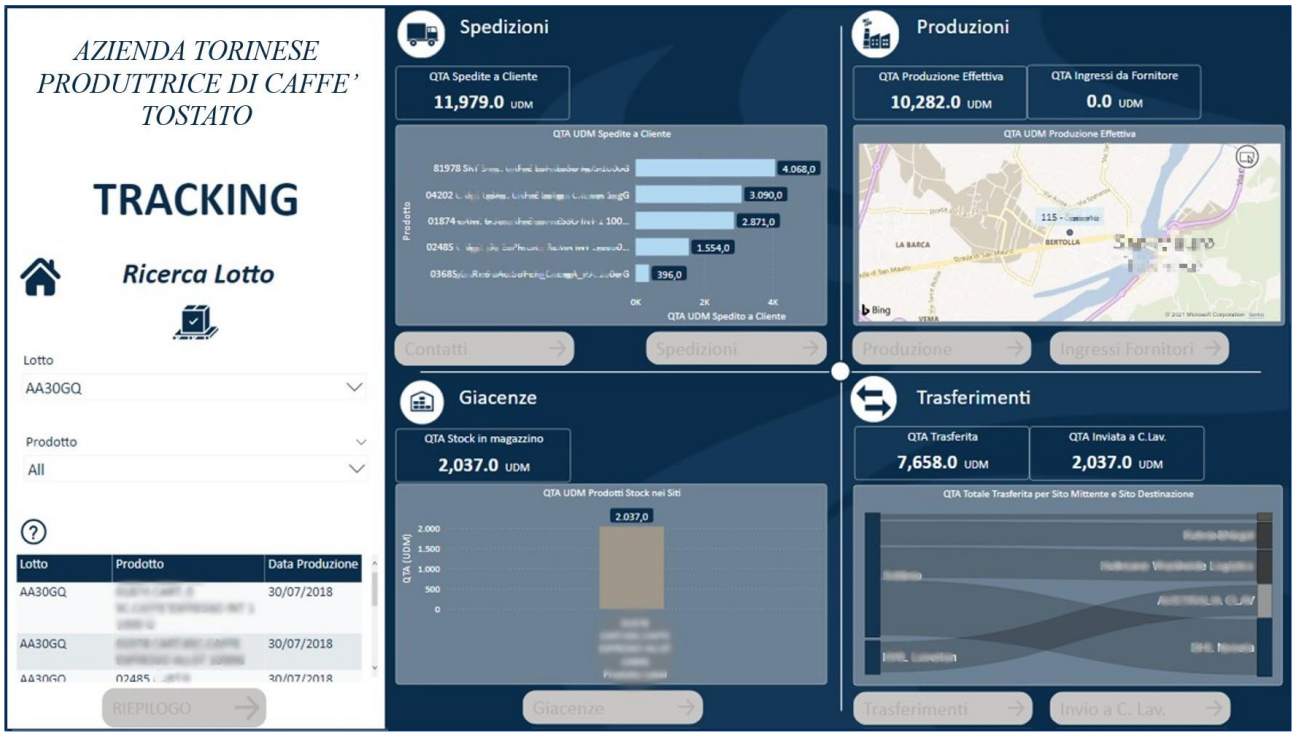


***Figura 3.19**: Dashboard: Home-Lotto.*

La struttura di questa dashboard è uguale a quella precedentemente descritta con la differenza che il focus è sul lotto, dunque i KPI conteggiati in UDM sono incentrati sul numero totale di lotti: spediti ai clienti, prodotti, inviati dai fornitori, in giacenza e traferiti tra i vari magazzini. Mentre, i grafici sono partizionati in base ai tipi di prodotto contenuti in quel determinato lotto selezionato.
In entrambe le dashboard appena descritte (Figura 3.18 e Figura 3.19), selezionando una riga delle tabelle posizionate in basso a sinistra, si attivano i pulsanti che abilitano la navigazione verso i corrispondenti report di dettaglio per la tracciabilità distributiva del prodotto-lotto selezionato.
Nello specifico, selezionando il pulsante "RIEPILOGO", è possibile essere reindirizzati in una dashboard riepilogativa che mostra il **bilancio di massa** del prodotto-lotto selezionato (vedasi Figura 3.20).

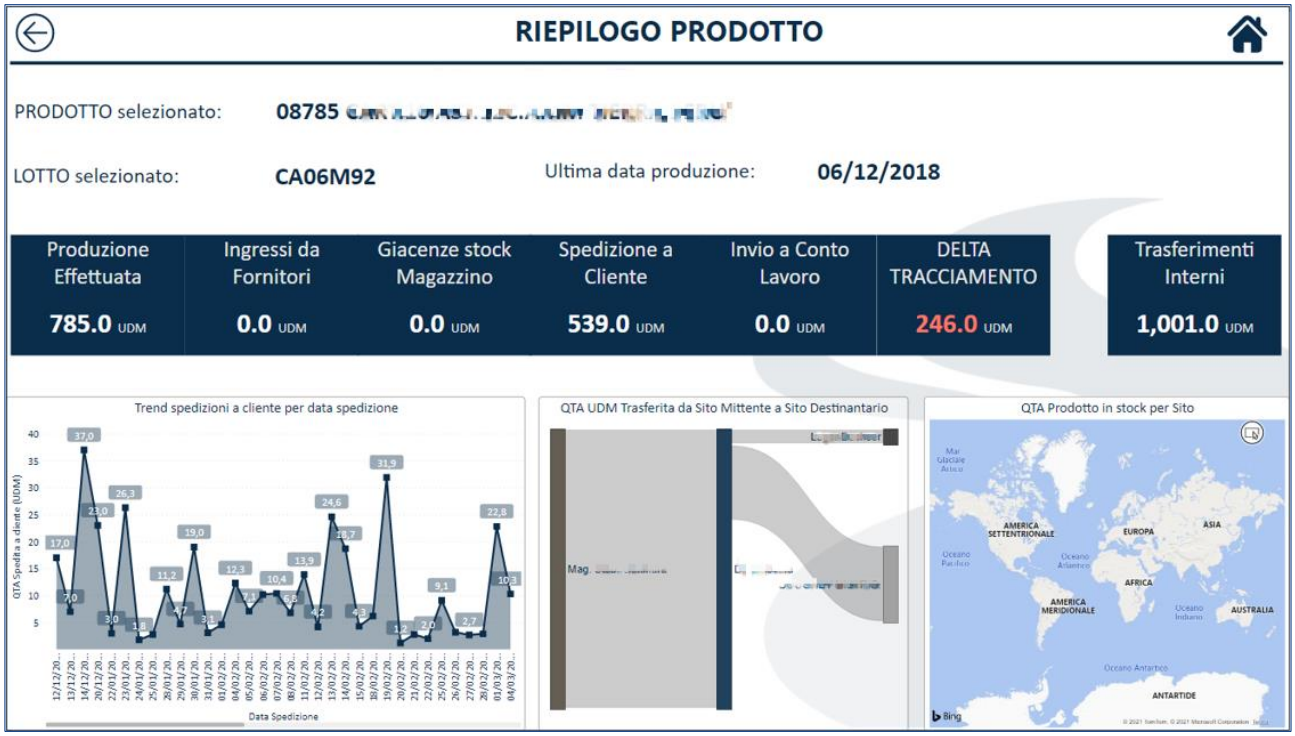


***Figura 3.20**: Dashboard: Riepilogo prodotto-lotto.*

In quest'ultima dashboard, attraverso una serie di *Advance Card,* sono stati calcolati dei KPI di conteggio in UDM del numero totale di prodotti-lotti:

- realizzati ($QTA_{UDM}Produzione$);
- spediti da parte dei fornitori nel sito di produzione ($QTA_{UDM}IngrForn$);
- in giacenza in magazzino ($QTA_{UDM}ProdStockTot$);
- spediti al cliente ($QTA_{UDM}SpedCli$);
- inviati a conto lavoro ($QTA_{UDM}ContoLav$);
- trasferiti tra i diversi magazzini dell'azienda torinese.

Tramite l'*Advance Card* "DELTA TRACCIAMENTO" viene calcolato il KPI del **bilancio di massa**, come:

$$\Delta Tracciamento_{BilancioDiMassa} = QTA_{UDM}Produzione + QTA_{UDM}IngrForn - QTA_{UDM}SpedCli - QTA_{UDM}ProdStockTot - QTA_{UDM}ContoLav$$

I grafici rappresentati nella dashboard, mostrano:

- il **trend delle spedizioni** (grafico in basso a sinistra), il quale indica l'andamento delle quantità di prodotto-lotto inviate al cliente per data di spedizione;
- i **trasferimenti** (grafico in basso al centro) del numero totale di prodotto-lotto da un sito mittente a un sito destinatario;
- la **mappa** (grafico in basso a destra) delle posizioni dei magazzini in cui le quantità di prodotto-lotto si trovano in giacenza.

Per garantire una tracciabilità del prodotto sicura, spesso le aziende raccolgono e tengono traccia dei recapiti dei fornitori e dei clienti, al fine di poterli contattare in caso di eventuali problematiche. In una complessa filiera produttiva com'è quella del caffè dove sono coinvolti molteplici attori dislocati in diversi Paesi, è fondamentale tenere traccia di ogni singolo individuo coinvolto lungo la filiera. Solo in questo modo, si può garantire la sicurezza e la trasparenza del prodotto in ogni singola fase del suo "viaggio". Per venire incontro a questa esigenza, è stato strutturato il seguente report, il quale fornisce non solo informazioni sui clienti (come telefono o e-mail), ma anche sulle spedizioni dei prodotti-lotti ad essi inviati (vedasi Figura 3.21).

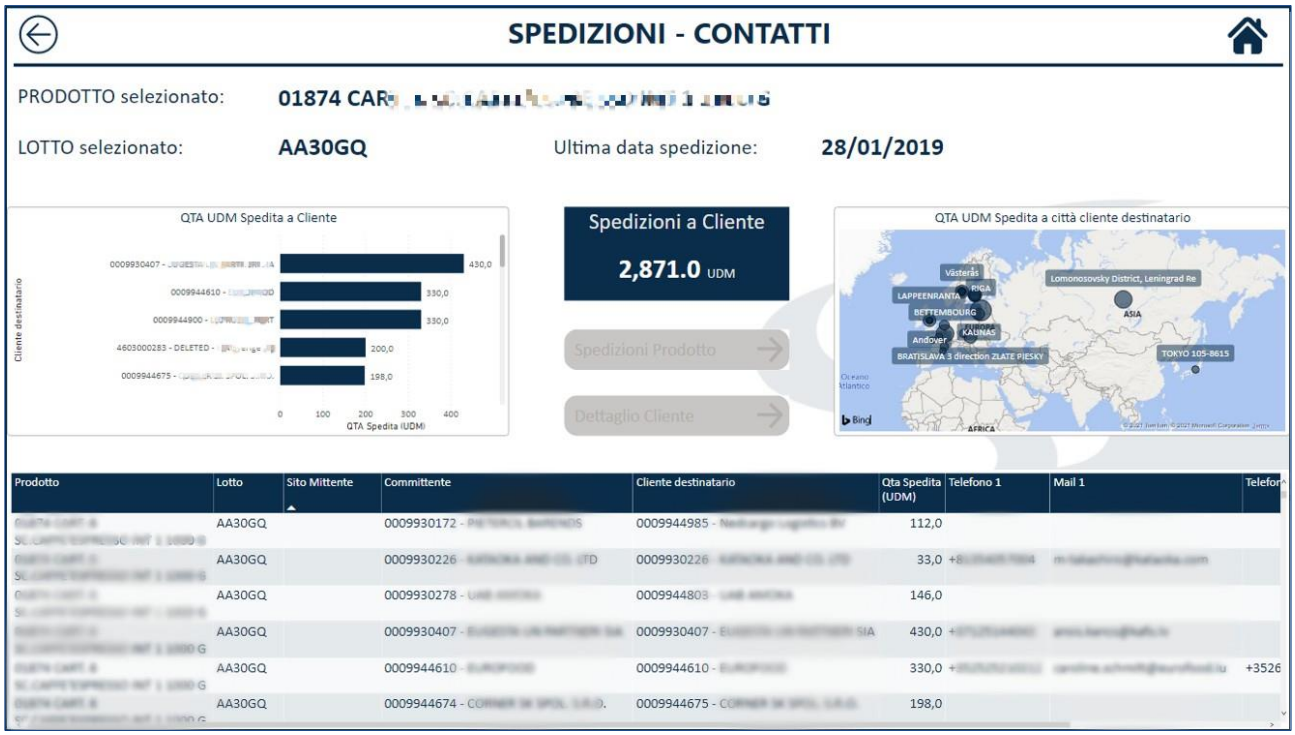


***Figura 3.21**: Report: Spedizioni-Contatti.*

Nello specifico, nell'*Advance Card* è presente un KPI di conteggio in UDM del numero totale di spedizioni effettuate al cliente per quel preciso prodotto-lotto selezionato. Inoltre, sono presenti due grafici:

1. un *Clustered bar chart* (grafico in alto a sinistra) che indica, per ogni singolo cliente, quanto di quel prodotto-lotto selezionato è stato spedito;
2. una *Map* (grafico in alto a destra) che permette di osservare la posizione delle città dei clienti destinatari con la relativa quantità di prodotto-lotto spedita (zoomando all'interno del grafico).

Anche in questo caso, selezionando una riga della tabella sottostante ai grafici, si attiveranno i pulsanti al centro della pagina che abilitano la navigazione per un ulteriore dettaglio sui clienti e sulle spedizioni del prodotto-lotto selezionato.
Attraverso la selezione del pulsante "Spedizioni Prodotto" presente in questo report, si verrà reindirizzati in un nuovo report che consente di monitorare le informazioni di dettaglio sulle spedizioni del prodotto-lotto selezionato (vedasi Figura 3.22).

***Figura 3.22**: Report: Spedizioni-Prodotto.*

Quest'ultimo presenta la stessa struttura del report precedentemente analizzato. In particolare, cliccando su una riga della tabella rappresentata, si ha la possibilità di attivare i pulsanti al centro della pagina che abilitano la navigazione sul:

- **<u>riepilogo</u> del <u>prodotto</u> selezionato** (vedasi Figura 3.23), dove si possono osservare ulteriori dati specifici a riguardo, come il sito produttivo e la quantità prodotta (in UDM). Inoltre, selezionando una riga della tabella presente in figura, si attiverà il pulsante al centro della pagina che permetterà di ritornare alla dashboard di riepilogo del prodotto-lotto selezionato (Figura 3.20);

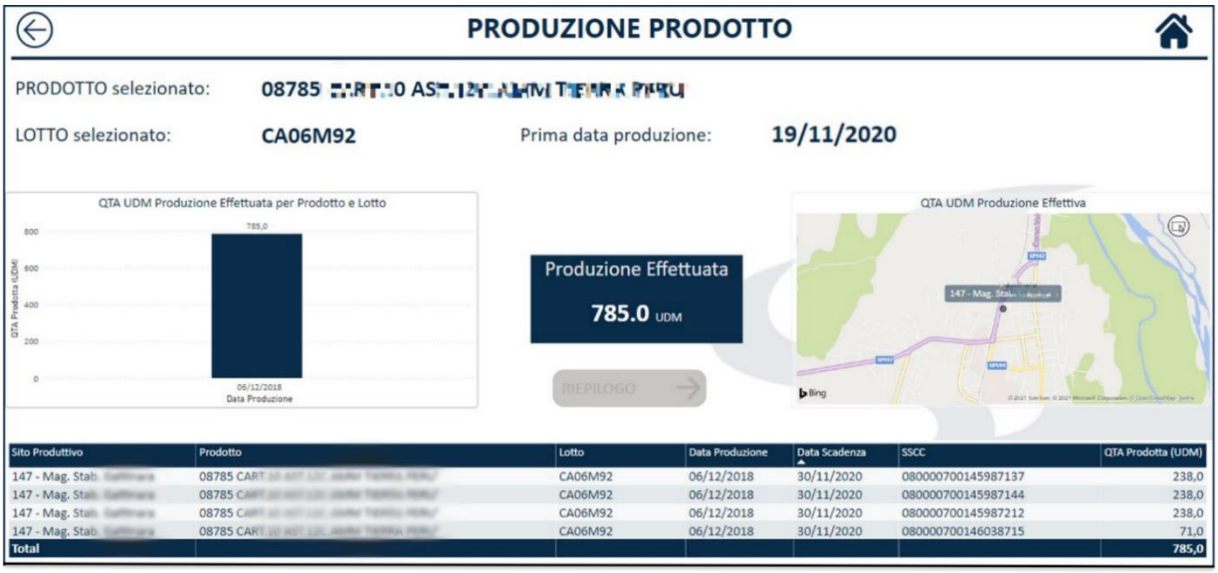


***Figura 3.23**: Report: Produzione-Prodotto.*

- **dettaglio del cliente selezionato** (vedasi Figura 3.24), il quale può anche essere raggiunto tramite il pulsante "Dettaglio Cliente" del report in Figura 3.21. In questo report, vengono visualizzate ulteriori informazioni inerenti al cliente a cui è stato venduto il prodotto-lotto selezionato, come: la quantità totale spedita, il numero di consegne per ogni sito mittente, gli SSCC e le date di spedizione, produzione e scadenza. Selezionando una riga della tabella raffigurata, verranno attivati i pulsanti al centro della pagina che consentiranno di ritornare alla dashboard "Riepilogo Prodotto" (vedasi Figura 3.20) e al report di "Spedizioni Prodotto" (vedasi Figura 3.22).

***Figura 3.24**: Report: Spedizioni-Cliente.*

È importante anche tenere traccia dei dati inerenti al prodotto spedito dal fornitore nel sito di produzione.
Tramite la dashboard in Figura 3.18 o la dashboard in Figura 3.19, dalla selezione del pulsante "Ingressi Fornitori", si verrà ricondotti a un nuovo report che consente il monitoraggio di queste informazioni (vedasi Figura 3.25).

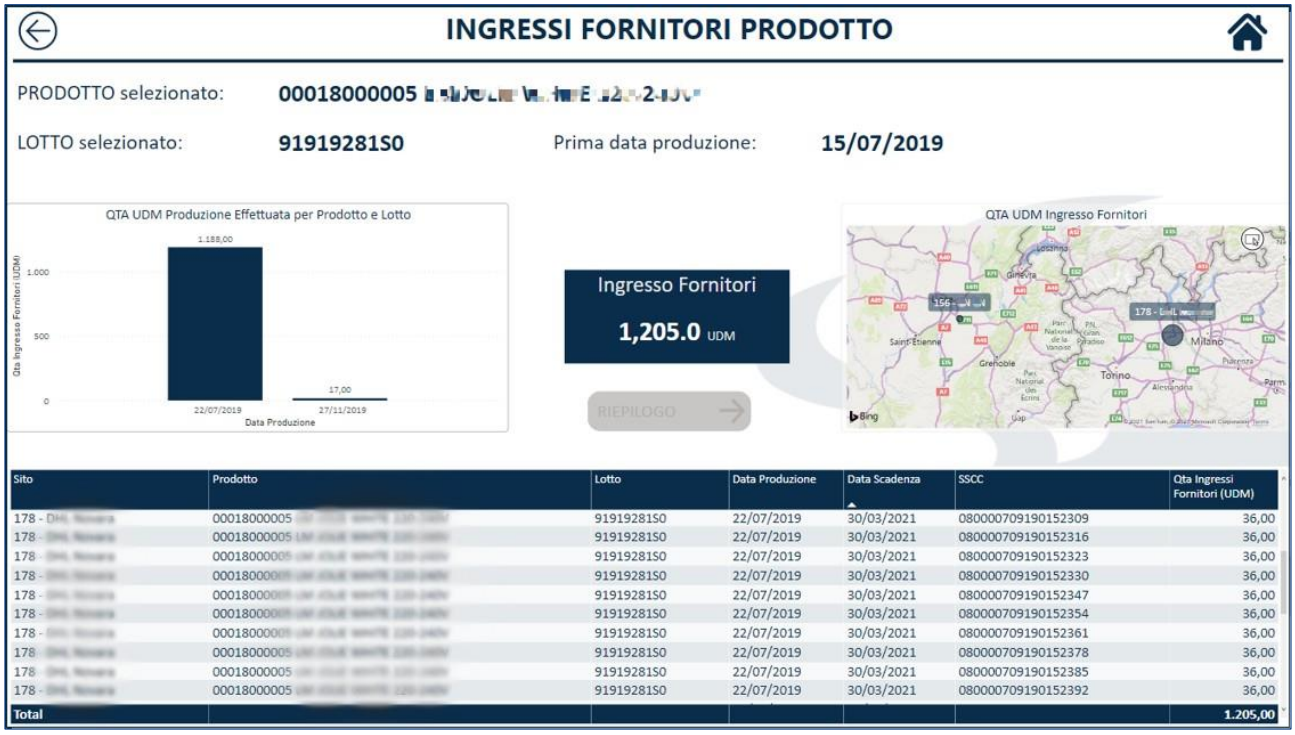


***Figura 3.25**: Report: Ingresso Fornitori-Prodotto.*

Nel report, oltre la tabella dei dati di dettaglio, sono presenti:

- una *Advance Card* che consente il conteggio, in UDM, del numero totale di prodotti inviati dal fornitore e giunti nel sito di produzione;
- un *Clustered bar chart* (grafico in alto a sinistra) che, per ogni data di produzione, indica il numero di prodotti provenienti dal fornitore;
- una *Map* (grafico in alto a destra) indicante la posizione dei siti di produzione nei quali sono giunte le quantità di prodotto-lotto selezionato, inviate dai fornitori.

Un passo importante per garantire una buona tracciabilità all'interno di un'azienda, sono le informazioni dei prodotti-lotti in giacenza nei magazzini. Attraverso il loro monitoraggio si possono effettuare diverse analisi predittive (ad esempio, sul futuro fabbisogno di merci in stock nei magazzini o sull'accumulo spropositato delle stesse) e ottimizzare la gestione dei magazzini (ad esempio: stabilendo i prodotti che devono essere spediti per primi in produzione o ai clienti, aggiornando il controllo dei prodotti presenti o assenti, ecc.).
Tramite la dashboard in Figura 3.18 o la dashboard in Figura 3.19, dalla selezione del pulsante "Giacenze", si verrà reindirizzati nel report che consente di effettuare queste analisi (vedasi Figura 3.26).

***Figura 3.26**: Report: Giacenze-Prodotto.*

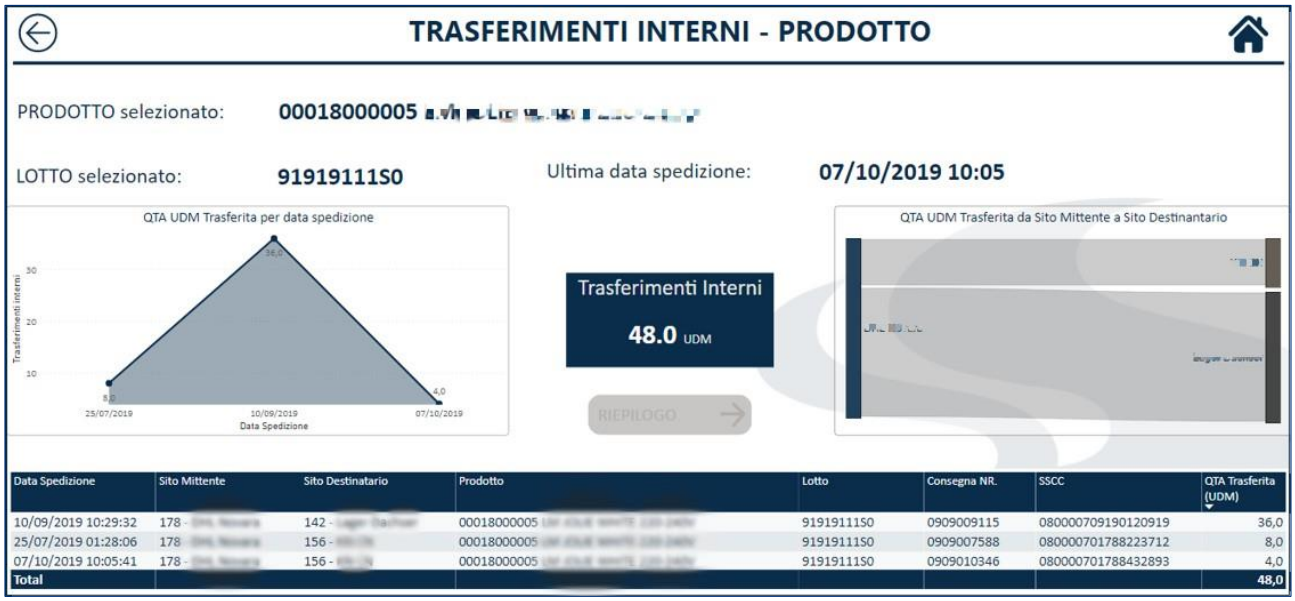
La struttura di questo report è analoga a quella precedente, ma consente di visualizzare le informazioni inerenti alle giacenze in magazzino. Oltre all'*Advance Card* (presente al centro del report) che permette di misurare la quantità totale di prodotti in giacenza nei magazzini, ci sono i grafici che consentono di capire quanto di questi prodotti sono allocati all'interno di ogni singolo magazzino e la relativa posizione di quest'ultimo nella mappa. Sono, inoltre, presenti informazioni di dettaglio in tabella, come: lo stabilimento del prodotto-lotto selezionato, il sito, la data di produzione e di scadenza, il codice identificativo del pallet, la quantità stoccata in magazzino e lo stato pallet. Quest'ultima informazione è molto importante nel processo di tracciabilità, in quanto consente di conoscere se un prodotto-lotto è in stato di:

- "Controllo qualità";
- "Libero", ovvero si riferisce a un prodotto-lotto che ha già effettuato la fase di controllo qualità ed è pronto per essere spedito nel sito destinatario di vendita;
- "Bloccato", si intende come fermo a magazzino per svariati problemi come: non ha ancora effettuato il processo di controllo qualità, presenta problemi di obsolescenza del prodotto, ecc.;
- "Picking", riferito all'attività di selezione e prelievo parziale di materiali per raggrupparli in pacchi, componenti o prodotti finiti in generale. Questi, una volta riuniti, verranno controllati e spediti;
- "No info", nel caso in cui non si è ancora aggiornato a sistema lo stato di avanzamento del prodotto-lotto a magazzino.

I tre pulsanti sopra la tabella ("Pulsante 1", "Pulsante 2", "Pulsante 3") permettono di cambiare il tracker (ovvero, il sistema che registra la tracciabilità dei prodotti).

Dalla dashboard in Figura 3.18 o dalla dashboard in Figura 3.19, tramite la selezione del pulsante "Trasferimenti Int.", si verrà reindirizzati a un nuovo report che consente di visualizzare il dettaglio

dei trasferimenti del prodotto-lotto selezionato (vedasi Figura 3.27). Anche in questo caso la struttura è la medesima rispetto a quelle precedentemente descritte, ma la visualizzazione è incentrata sulle quantità (in UDM) totali trasferite, clusterizzate per data di spedizione e specifiche da un sito mittente a uno destinatario.



Data Spedizione	Sito Mittente	Sito Destinatario	Prodotto	Lotto	Consegna NR.	SSCC	QTA Trasferita (UDM)
10/09/2019 10:29:32	178 -	142 -	00018000005	9191911150	0909009115	080000709190120919	36,0
25/07/2019 01:28:06	178 -	156 -	00018000005	9191911150	0909007588	080000701788223712	8,0
07/10/2019 10:05:41	178 -	156 -	00018000005	9191911150	0909010346	080000701788432893	4,0
Total							48,0

***Figura 3.27**: Report: Trasferimenti interni-Prodotto.*

L'azienda di torrefazione torinese, non punta solo al settore del caffè ma differenti sono gli spazi di mercato nei quali vuole operare. In particolare, è opportuno distinguere tre segmenti di mercato, in funzione dei gruppi di clienti ai quali l'azienda si rivolge:

1. RETAIL;
2. HO.RE.CA;
3. VENDING E SERVING.

Per ognuno di questi segmenti, è importante raccogliere i dati per ogni tipologia di prodotto offerto e tenerne traccia, al fine di assicurarne un controllo completo.

PRODOTTI/ACQUIRENTI	RETAIL	HO.RE.CA	VENDING AND SERVING
Caffè in polvere	X		
Cialde	X	X	
Capsule	X	X	
Macchinette del caffè	X	X	
Moka	X		
Distributori automatici			X
Caffè in grani	X	X	X
Caffè liofilizzato	X		X

***Figura 3.28**: Matrice di segmentazione.*

Ciascuno dei canali sopra illustrati costituisce di fatto un potenziale mercato con struttura e grado di attrattività profondamente differente da quello degli altri. Essendo l'azienda nata con lo scopo di concentrare le proprie attività nella lavorazione del caffè, non possiede tutte le competenze per implementare prodotti come i distributori automatici o le macchinette del caffè. Per tale motivo, ha riscontrato la necessità di espandere il proprio business e inviare i prodotti di cui non possiede le competenze adeguate, a conto lavoro. Ciò gli consente anche di ridurre i costi di produzione. La società terza si limita ad effettuare la lavorazione commissionatagli e, appena ultimata, restituisce i prodotti all'azienda di torrefazione torinese.
Per non tralasciare le informazioni raccolte lungo questo importante processo, si è implementato un report che consente di visualizzare il dettaglio sugli invii effettuati a conto lavoro del prodotto-lotto selezionato (vedasi Figura 3.29). È possibile accedere al seguente report, dal pulsante "Invio a C. Lav." della dashboard in Figura 3.18 o della dashboard in Figura 3.19. La struttura è analoga ai precedenti report descritti.

***Figura 3.29**: Report: Invio a Conto Lavoro-Prodotto.*

In tutti i report appena delineati, si ha la possibilità di essere reindirizzati alla dashboard riepilogativa del prodotto-lotto selezionato (vedasi Figura 3.20), cliccando il pulsante "RIEPILOGO" attivabile tramite la selezione di una riga della tabella presente in ciascun report.

Dato il sempre maggiore utilizzo di pallet di dimensioni standard in base a determinate categorie di prodotti, l'impresa effettua operazioni di scarico con carrelli elevatori o transpallet (che possono essere manuali o elettrici). Dopo lo scarico e il controllo, in alcuni casi, i pallet potrebbero presentare misure non conformi a quelle standard (es. di base e/o di altezza, o in generale poco stabili), allora saranno necessarie ulteriori "ripallettizzazioni". A tal proposito, è stato implementato un report che

permette di visualizzare il dettaglio dei casi in cui i **prodotti-lotti** sono **ripallettizzati** (vedasi Figura 3.30). Si accede a tale report dalla dashboard iniziale in Figura 3.14, dalla selezione del pulsante "Ripallettizzati".
Per una visualizzazione più rapida e ottimale sono stati inseriti dei filtri in alto alla pagina che consentono di focalizzarsi sulla tipologia di dettaglio desiderato. Per il resto, la struttura rimane sempre similare alle precedenti.

***Figura 3.30**: Report: Ripallettizzati.*

Infine, per concludere questa sezione, è stato realizzato un report che consente di raccogliere i dati inerenti alle spedizioni "viaggianti" da un sito all'altro (vedasi Figura 3.31).
Al momento il report è orizzontale su tutti i prodotti, ma vista la mole di dati si possono applicare i diversi filtri per ottimizzare la ricerca.

***Figura 3.31**: Report: Viaggiante.*

3.5.3 Tracciabilità delle rilavorazioni - Conto lavoro

Dal momento che alcuni dei prodotti venduti dall'azienda di torrefazione torinese (specialmente nel caso delle macchinette per il caffè) vengono prima lavorati in conto lavoro e poi assemblate con altri componenti all'interno dell'azienda, risulta importante monitorare anche queste informazioni al fine di assicurare una completa tracciabilità di ogni singolo prodotto offerto.
Per questa sezione, è stata pensata una home page che funge da overview tra le pagine sulle rilavorazioni (vedasi Figura 3.32), alla quale è possibile accedere attraverso il pulsante "Rilavorazioni CLAV" della dashboard principale in Figura 3.14. Questo report permette di selezionare a scelta i prodotti e i lotti relativi al componente (prodotto iniziale) o al composto di rilavorazione (prodotto finale rilavorato). Se il risultato ha un numero di rilavorazioni contenuto, allora si attiva il pulsante "Conto Lavoro – Rilavorazione" che abilita la navigazione verso la pagina di dettaglio delle rilavorazioni con i filtri impostati.

***Figura 3.32**: Dashboard: Home-Rilavorazioni.*

Dalla home page è possibile essere reindirizzati al report di dettaglio sulla rilavorazione con i parametri impostati nella pagina Home di provenienza (vedasi Figura 3.33). Qui è possibile visualizzare:

1. tramite l'*Advance Card*, il numero totale di rilavorazioni per il prodotto-lotto selezionato;
2. tramite la *Map*, la posizione del sito mittente. Inoltre, cliccando sulla mappa, si possono ottenere ulteriori indicazioni come: il codice sito, il sito, il Paese, la città, il tipo magazzino e la quantità di prodotto-lotto (in UDM) da cui derivano le rilavorazioni;
3. tramite lo *Sankey 2.1.3*, quali sono stati i componenti (quindi i prodotti giunti da conto lavoro) a partire dal prodotto finale rilavorato (composto);
4. tramite la tabella, ulteriori dati di dettaglio sulle rilavorazioni.

All'interno del report, è possibile restringere ulteriormente la ricerca applicando i filtri in alto.

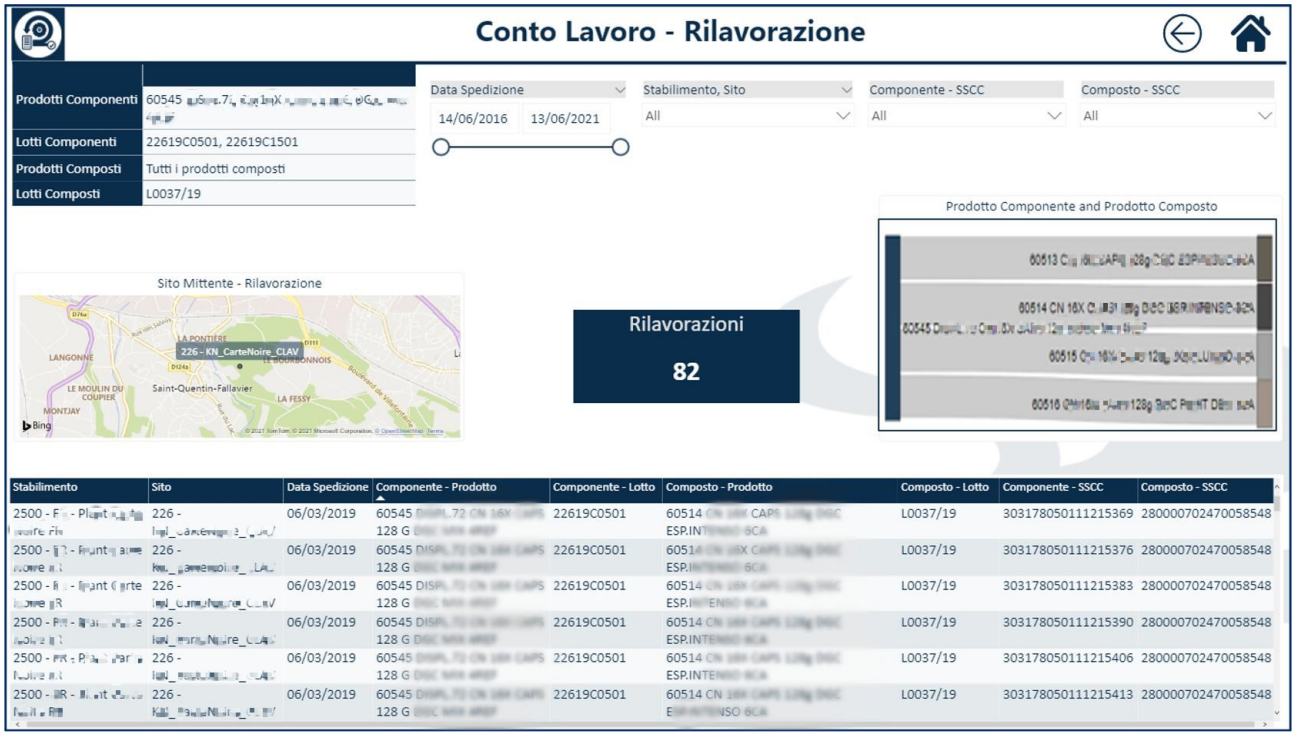


***Figura 3.33**: Report: Conto Lavoro-Rilavorazione.*

Per quanto riguarda le informazioni inerenti alle macchinette del caffè (spedite in conto lavoro), vi è un report ah hoc che permette di visualizzare il dettaglio di queste rilavorazioni. Quest'ultimo è accessibile tramite il pulsante "Macchine" della dashboard in Figura 3.14 (vedasi Figura 3.34). La struttura è similare alla precedente, ma troviamo informazioni inerenti al numero totale di codici identificativi dei pallet (SSCC), anche clusterizzati per singolo lotto. Inoltre, è possibile osservare qual è la macchina del caffè originale e quale la rilavorata con indicazioni dei componenti che la caratterizzano.

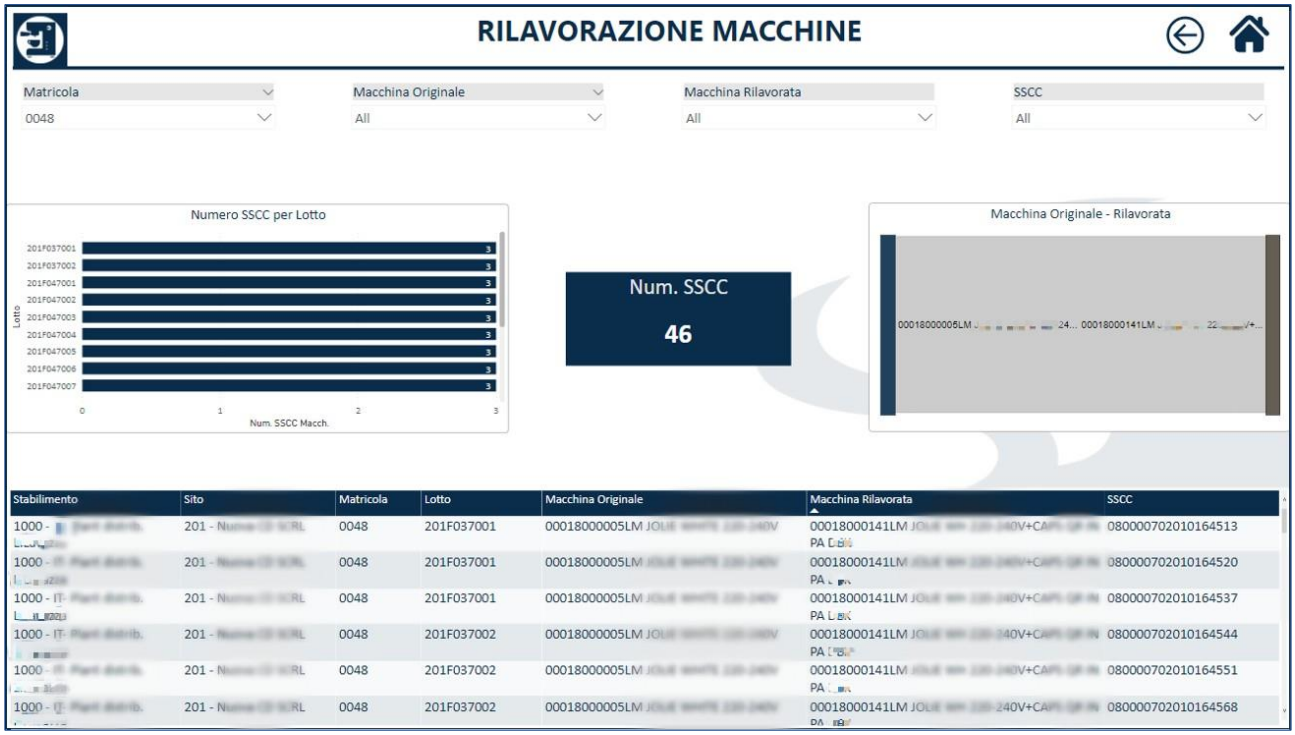


***Figura 3.34**: Report: Macchine del caffè.*

Al fine di visualizzare il report correttamente, è importante impostare una matricola del prodotto che si vuole analizzare (dal filtro in alto a sinistra). Per effettuare una ricerca approfondita su uno specifico prodotto, si possono utilizzare i rimanenti filtri di pagina.

3.5.4 Tracciabilità: situazione corrente - monitoring

Al fine di garantire un'ottima tracciabilità del prodotto-lotto, è importante avere una dashboard che permette di monitorare la situazione corrente in termini di:

- *ricezione dati* derivanti dai vari siti;
- *Stock Aging*, con evidenza dei prodotti prossimi alla scadenza;
- *anomalie*, con evidenza delle anomalie riscontrate sulla tracciabilità dei prodotti.

Si può accedere a questa pagina tramite il pulsante "Generale" presente nella dashboard principale (vedasi Figura 3.14).

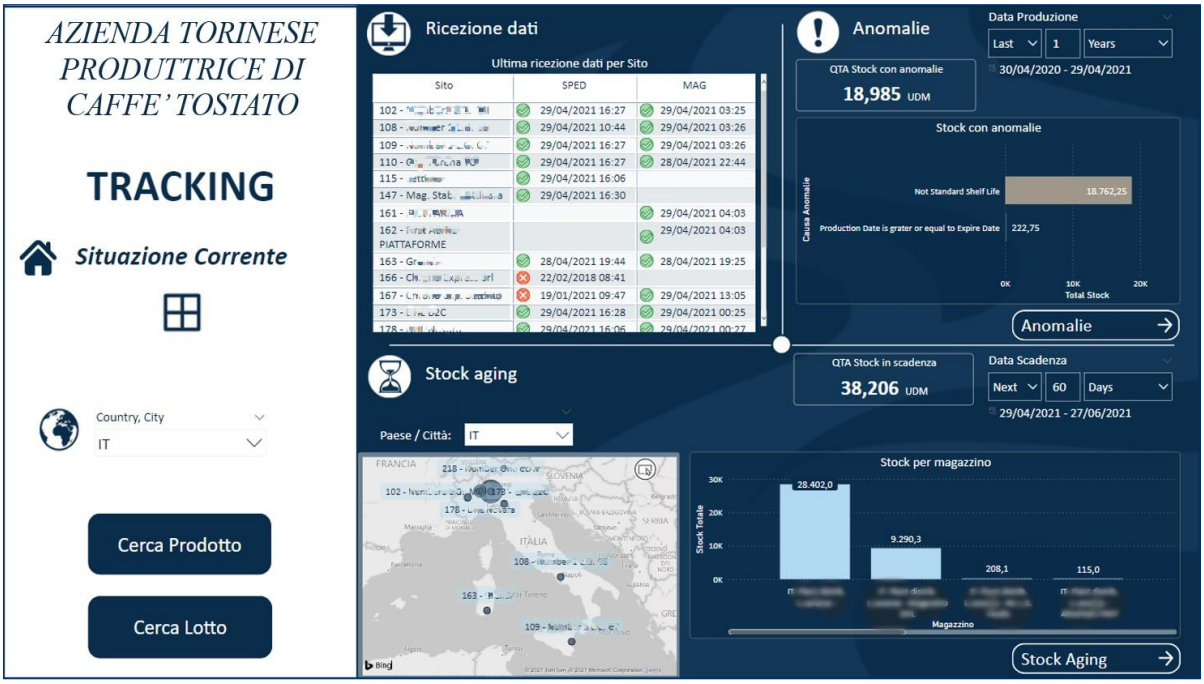


***Figura 3.35**: Dashboard: Home-Current.*

In questa dashboard sono presenti dei pulsanti che permettono di navigare nelle corrispondenti pagine di dettaglio. Infatti, cliccando "Stock Aging" (selezionabile anche dalla dashboard in Figura 3.14), si verrà reindirizzati a un report che permette di monitorare differenti dati sui prodotti in giacenza a magazzino con una particolare attenzione sui prodotti prossimi alla scadenza (vedasi Figura 3.36). È possibile osservare la distribuzione delle quantità di prodotto-lotto stoccate per macrosistema (es. R&S) e per ogni singolo magazzino. Si può affinare la ricerca utilizzando i filtri in alto e avere informazioni immediate dai grafici.

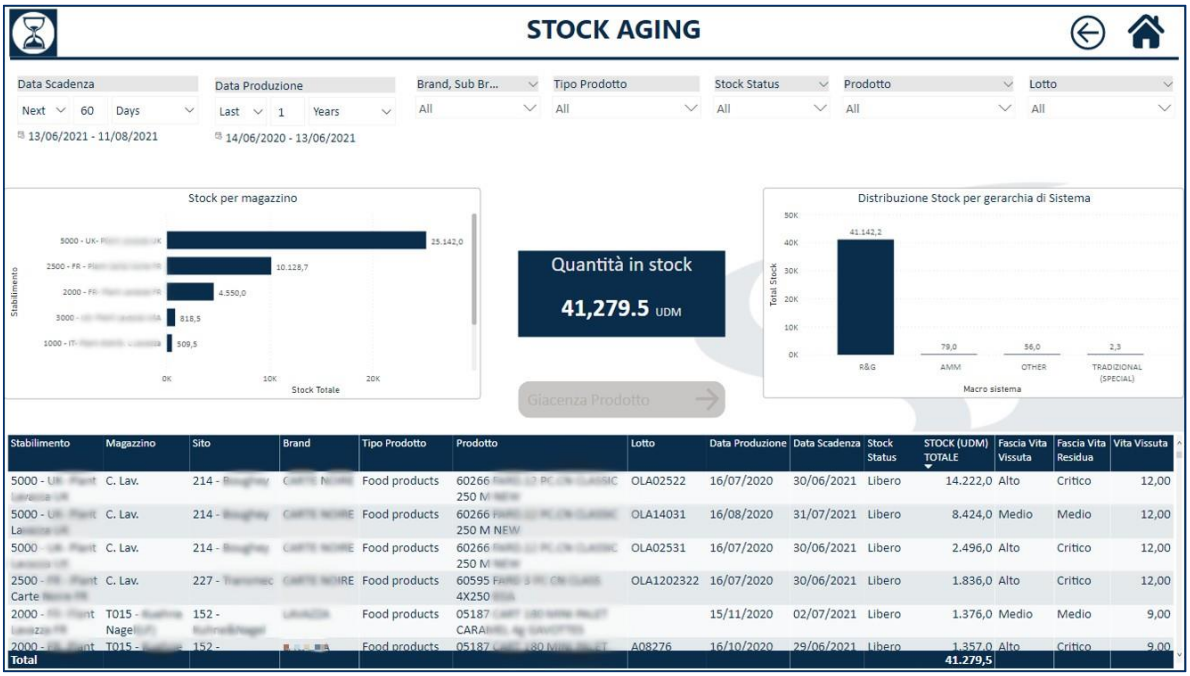
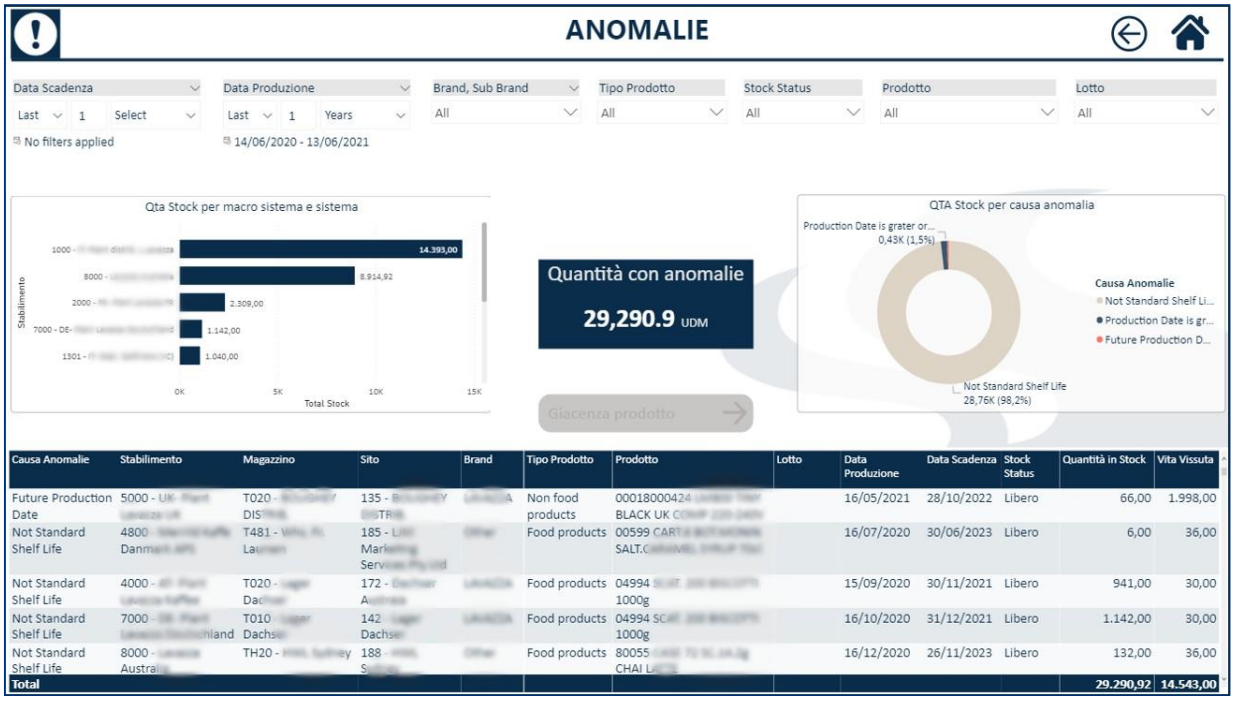


***Figura 3.36**: Report: Stock Aging.*

Per quanto riguarda le tipologie di anomalie, l'azienda di torrefazione torinese al momento riesce a monitorare solo quelle a livello sistemistico. È stato implementato un report a tal proposito (vedasi Figura 3.37), accessibile tramite il pulsante "Anomalie" presente nella dashboard in Figura 3.35 o nella dashboard in Figura 3.14. Qui, si possono analizzare i lotti anomali al fine di tenere sotto controllo il dato e aggiornarlo correttamente all'interno del sistema. Il principale scopo di questo report è quello di evidenziare i lotti anomali e capire che azioni devono essere svolte per sanarli.
Le anomalie esaminate sono le seguenti:

1. **data produzione futura**: tutti i lotti con data di produzione futura (ovvero non ancora avvenuta nel tempo) rispetto alla data odierna, vengono considerati anomali;
2. **data di produzione superiore o coincidente con la data di scadenza**: qualsiasi lotto con data di produzione coincidente o successiva alla data di scadenza, viene etichettato come anomalo;
3. **data di produzione del lotto poco significativa**: si è scelto di gestire come anomalie tutto ciò che è antecedente al 2017, in quanto troppo distante nel tempo;
4. **shelf life non standard**: tutti i lotti diventano anomali in presenza di una shelf life che non risulti mappata con le precedenti regole;
5. **missing shelf life**: nel caso in cui il campo shelf life non venga valorizzato, viene inserita questa causale al fine di considerare anomali eventuali prodotti sprovvisti di shelf life a livello anagrafico.

Quando si parla di **shelf life** si intende la "vita del prodotto" ma intesa come il periodo che intercorre dalla produzione alla vendita, durante il quale è fondamentale mantenere intatta la qualità del prodotto. Dunque, non si parla di data di scadenza ma viene identificata come il termine massimo di vendita entro il quale il prodotto è definito privo di rischi per la salute del consumatore.



Causa Anomalie	Stabilimento	Magazzino	Sito	Brand	Tipo Prodotto	Prodotto	Lotto	Data Produzione	Data Scadenza	Stock Status	Quantità in Stock	Vita Vissuta
Future Production Date	5000 - UK-	T020 - DIS	135 -		Non food products	00018000424 BLACK UK		16/05/2021	28/10/2022	Libero	66,00	1.998,00
Not Standard Shelf Life	4800 - Danmark	T481 - Laursen	185 - Marketing		Food products	00599 SALT.		16/07/2020	30/06/2023	Libero	6,00	36,00
Not Standard Shelf Life	4000 -	T020 - Dachser	172 - Dachser Austria		Food products	04994 1000g		15/09/2020	30/11/2021	Libero	941,00	30,00
Not Standard Shelf Life	7000 - Deutschland	T010 - Dachser	142 - Dachser		Food products	04994 1000g		16/10/2020	31/12/2021	Libero	1.142,00	30,00
Not Standard Shelf Life	8000 - Australia	TH20 -	188 -		Food products	80055 CHAI		16/12/2020	26/11/2023	Libero	132,00	36,00
Total											29.290,92	14.543,00

***Figura 3.37**: Report: Anomalie.*

Nello specifico, nella parte superiore del report è possibile applicare dei filtri per affinare l'analisi.
In entrambi i report appena analizzati, cliccando su una riga della tabella sottostante ai grafici, si attiva il pulsante "Giacenza prodotto" che permette di navigare sulla pagina di dettaglio del prodotto-lotto selezionato e vedere la sua giacenza in tempo reale (vedasi Figura 3.26).

Tra i prodotti venduti dall'azienda, ci possono essere: zuccheri, dolcificanti e materiali promo. Queste tipologie di prodotto presenteranno una data di scadenza pari a 31/12/9999 e, in tal caso, non saranno catalogate come "anomale" perché usate per la gestione della non scadenza di tali prodotti. Nei report, è possibile filtrare per shelf life diverse da 0 e 999 così da evitare la visione di dolcificanti o zuccheri. La regola di mappatura e controllo per questi prodotti identifica uno zucchero o dolcificante con natura (Zucchero o Dolcificante) e il tipo materiale (FOOD). Eventuali prodotti non food o materiali promo vengono gestititi per tipo materiale (NON FOOD o Promo) senza applicazione della shelf life. Infine, per prodotti finiti "food" legati a specifici brand si fa una mappatura e un controllo sul brand, tipo materiale (FOOD) e shelf life (6, 8, 12, 18, 24 o 12, 18, 25, 34, 36).
Vengono gestite tre distinti tipi di fasce di monitoraggio (se ne tiene traccia all'interno del report *Stock Aging*) al netto dell'esclusione delle anomalie definite precedentemente:

1. **fascia vita vissuta:** i mesi di vita vissuta identificano la fascia di vita in cui inserire il lotto di produzione in base alle regole di transcodifica.

$$Fascia\ Vita\ Vissuta = \frac{Differenza\ di\ giorni\ (Oggi\ - Data\ di\ Produzione)}{30}$$

dove Oggi < Data di Scadenza

In base al valore risultante, vengono attribuite le seguenti fasce di vita vissuta (visibili in Figura 3.38) compresa tra FROM (escluso) e TO (incluso), a eccezione per la prima fascia di ogni regola che sarà compresa tra FROM (incluso) e TO (incluso);

Chart | Table | Grid | HTML

FROM	TO	FASCIA
0	3	00 – 03
3	6	03 – 06
6	9	06 – 09
9	12	09 – 12
12	15	12 – 15
15	18	15 – 18
18	24	18 – 24
24	999	Scaduto

***Figura 3.38**: Caso di esempio di Fasce Vita Vissuta per un materiale food con shelf life a 24 mesi.*

2. **fascia di vita vissuta percentuale:** espressa in percentuale, è dipendente dal riconoscimento del lotto di produzione.

$$Fascia\ Vita\ Vissuta\ percentuale = \frac{Differenza\ di\ giorni\ (Oggi\ - Data\ di\ Produzione)}{Differenza\ di\ giorni\ (Data\ di\ Scadenza\ - Data\ di\ Produzione)}$$

In base al valore risultante, vengono attribuite le seguenti fasce di vita vissuta percentuale (visibili in Figura 3.39) compresa tra FROM (escluso) e TO (incluso). Tutto ciò a eccezione per la prima fascia che sarà compreso tra FROM (incluso) e TO (incluso);

FROM	TO	FASCIA
0	0,25	Fresco
0,25	0,5	Basso
0,5	0,75	Medio
0,75	1	Alto
1	999	Scaduto

***Figura 3.39**: Caso di esempio di Fasce Vita Vissuta Percentuale per un materiale food con shelf life a 24 mesi.*

3. **fascia di vita residua percentuale:** espressa in percentuale, è dipendente dal riconoscimento del lotto di produzione.

$$Fascia\ Vita\ Residua\ percentuale = \frac{Differenza\ di\ giorni\ (Data\ di\ scadenza\ - Oggi)}{Differenza\ di\ giorni\ (Data\ di\ Scadenza\ - Data\ di\ Produzione)}$$

In base al valore risultante, vengono attribuite le seguenti fasce di vita residua percentuale (visibili in Figura 3.40) compresa tra FROM (escluso) e TO (incluso), a eccezione per la prima fascia di ogni regola che sarà compresa tra FROM (incluso) e TO (incluso);

FROM	TO	FASCIA
-999	0	Scaduto
0	0,25	Critico
0,25	0,5	Medio
0,5	0,75	Basso
0,75	1	Non Critico

***Figura 3.40**: Caso di esempio di Fasce Vita Residua Percentuale per un materiale food con shelf life a 24 mesi.*

Shelf life è anche una dimensione abilitante per calcolare in modo opportuno le fasce di vita vissuta. I prodotti finiti "food" vengono gestiti con shelf life a 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 18 o 24 mesi. Ci sono però alcuni prodotti specifici che possono essere gestiti con fasce di vita vissuta di 12, 18, 24, 25, 34 e 36 mesi.
All'interno di questo sistema, però, ci sono dei limiti di tracciamento che dovrebbero presto essere superati. In sostanza, tutta la reportistica riguardante questa parte è contraddistinta dai seguenti vincoli:

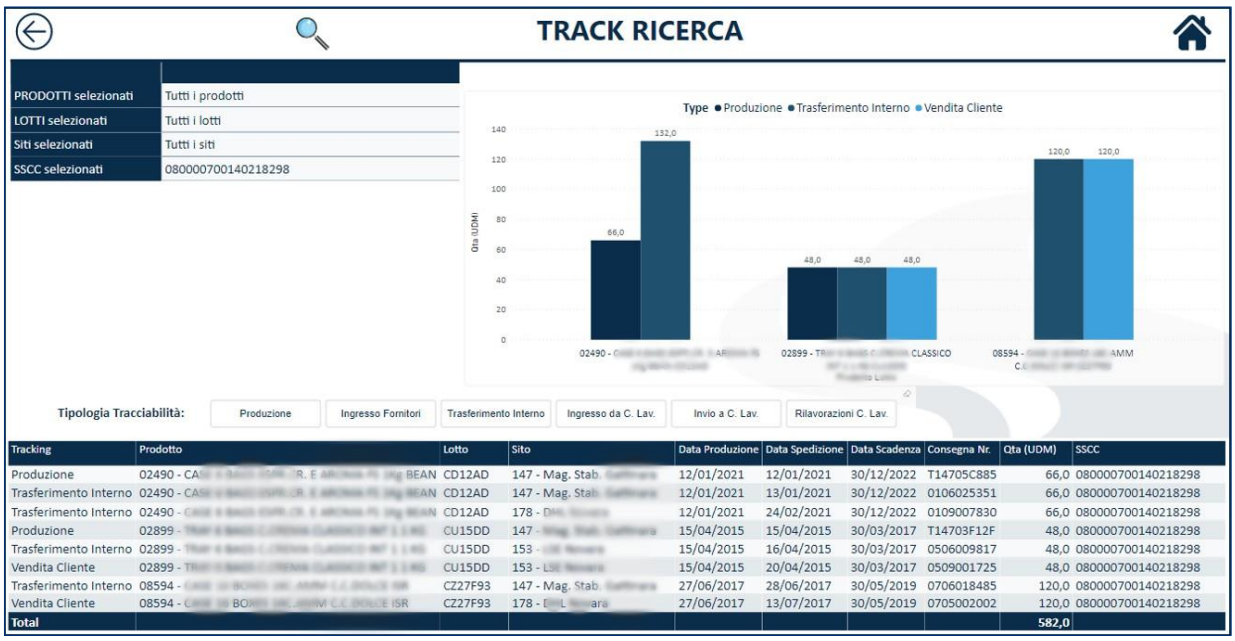
1. **sorgente dati**: le informazioni relative ai lotti di produzione in giacenza presso i magazzini dell'azienda torinese sono state prese dal flusso del sistema Oracle;
2. **quantità monitorate**: il flusso del tracciamento censisce solo lo stock ad utilizzo libero, lo stock per controllo di qualità e lo stock bloccato;
3. **storicizzazione**: il flusso del tracciamento non supporta la storicizzazione, quindi tutta la reportistica può mostrare lo stato di invecchiamento dello stock a livello giornaliero e non possono essere fatte analisi retroattive;
4. **calcolo delle fasce mensili**: in HANA non è presente una gestione del calendario, quindi è stata fatta l'assunzione che i mesi siano costituiti da 30 giorni;
5. **anomalie**: data la non scadenza di zuccheri e dolcificanti, i lotti relativi a queste tipologie di prodotti non vengono mai considerati anomali per definizione;
6. **tipo di materiale**: al momento vengono monitorati quei tipi di materiali riguardanti il Food (0000), il Non Food (0001) e le Promo (0002);
7. **magazzini**: vengono esclusi, a livello di report, tutti i lotti relativi a magazzini non significativi (es. "Not Assigned").
8. **report analitici per fasce di invecchiamento e vita residua**: in questi report, vengono esclusi i lotti anomali al fine di non inflazionare il dato con quantità di lotti non conformi alle regole espresse invece di tracciare una reportistica a parte per gestire i prodotti-lotti non conformi alle specifiche richieste;
9. **report analitico per la gestione delle anomalie**: può essere anche usato per mostrare i lotti semanticamente corretti, ma il principale scopo è per evidenziare i lotti anomali e capire che azioni devono essere svolte per sanarli.

3.5.5 Ricerca avanzata per tracciabilità distributiva

Dalla dashboard principale (Figura 3.14), tramite il pulsante "Ricerca avanzata", è possibile essere reindirizzati in una nuova dashboard che consente di effettuare una ricerca singola o multipla selezionando i seguenti campi: prodotto, lotto, sito e SSCC (vedasi Figura 3.41). Dai criteri di ricerca impostati, si attiverà il pulsante "Track-Ricerca" che permetterà di visualizzare i dettagli di tracciabilità dei contenuti selezionati.

***Figura 3.41**: Dashboard: Home-Ricerca avanzata.*

Il report di dettaglio della ricerca avanzata fornisce una panoramica di tracciabilità distributiva (vedasi Figura 3.42) delle selezioni fatte nella pagina di ricerca principale.



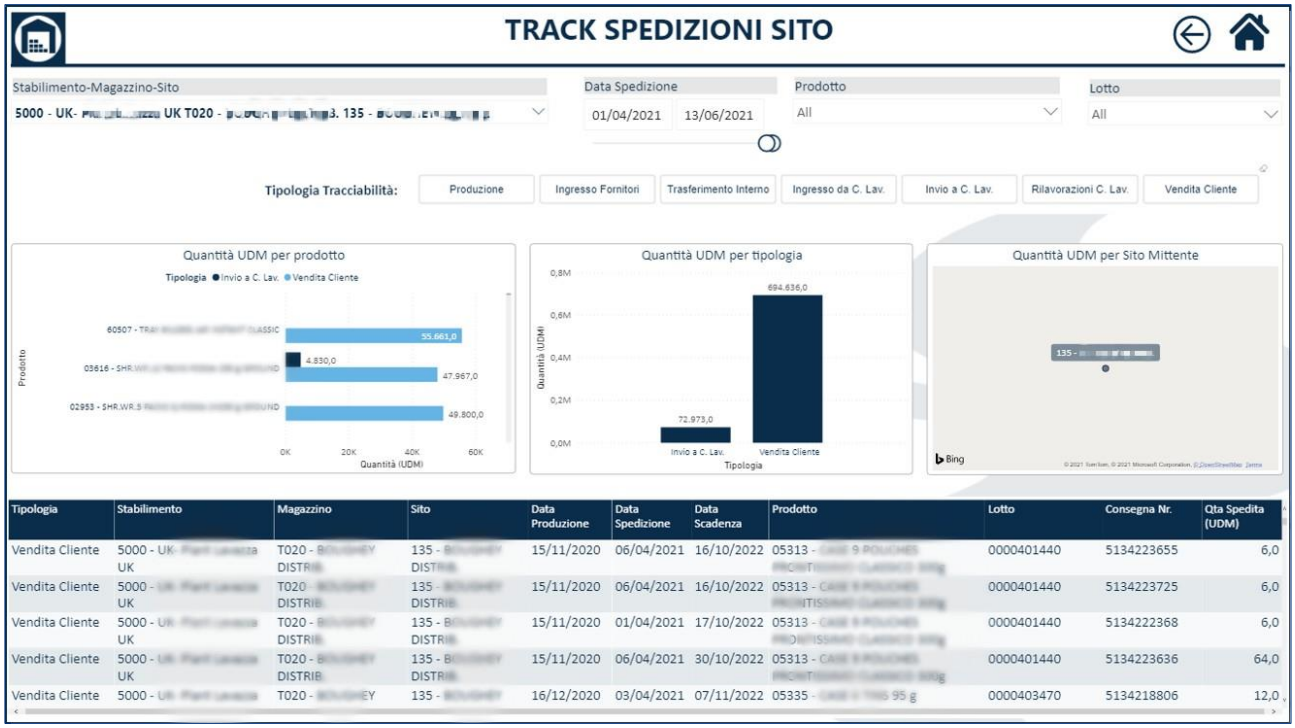
Tracking	Prodotto	Lotto	Sito	Data Produzione	Data Spedizione	Data Scadenza	Consegna Nr.	Qta (UDM)	SSCC
Produzione	02490 - CA	CD12AD	147 - Mag. Stab.	12/01/2021	12/01/2021	30/12/2022	T14705C885	66,0	080000700140218298
Trasferimento Interno	02490 - CA	CD12AD	147 - Mag. Stab.	12/01/2021	13/01/2021	30/12/2022	0106025351	66,0	080000700140218298
Trasferimento Interno	02490 -	CD12AD	178 -	12/01/2021	24/02/2021	30/12/2022	0109007830	66,0	080000700140218298
Produzione	02899 -	CU15DD	147 -	15/04/2015	15/04/2015	30/03/2017	T14703F12F	48,0	080000700140218298
Trasferimento Interno	02899 -	CU15DD	153 -	15/04/2015	16/04/2015	30/03/2017	0506009817	48,0	080000700140218298
Vendita Cliente	02899 -	CU15DD	153 -	15/04/2015	20/04/2015	30/03/2017	0509001725	48,0	080000700140218298
Trasferimento Interno	08594 -	CZ27F93	147 - Mag. Stab.	27/06/2017	28/06/2017	30/05/2019	0706018485	120,0	080000700140218298
Vendita Cliente	08594 -	CZ27F93	178 -	27/06/2017	13/07/2017	30/05/2019	0705002002	120,0	080000700140218298
Total								**582,0**	

***Figura 3.42**: Report: Track-Ricerca.*

Nel grafico (*Clustered column chart*) è possibile osservare le quantità di prodotto-lotto (in UDM) per tipologia di tracciabilità (produzione, ingresso fornitori, trasferimento interno, invio a conto lavoro, rilavorazioni conto lavoro e vendita al cliente). Nella tabella in basso al report, è possibile avere

ulteriori approfondimenti dei prodotti-lotti selezionati al fine di avere una visione completa di tutti i dati tracciabili per questa sezione. Inoltre, tramite i pulsanti presenti sopra la tabella, si può filtrare la visualizzazione del *Clustered column chart* solo sui dati riferiti alla tipologia di tracciabilità selezionata.

Un ulteriore report implementato in questa sezione è quello inerente alla tracciabilità delle spedizioni ai vari siti destinatari (vedasi Figura 3.43), accessibile tramite il pulsante "Track Sito" della dashboard principale in Figura 3.14. In alcuni magazzini, le informazioni sui prodotti inviati a spedizione vengono automaticamente mandati al gestionale grazie alla presenza di varchi logistici dotati di antenne RFID, i quali permettono di identificare al loro passaggio il contenuto dei pallet taggati, come descritto nel capitolo precedente. Nella tabella vengono monitorati anche questi dati e si hanno informazioni aggiuntive inerenti al prodotto-lotto selezionato. Inoltre, nei grafici è possibile visualizzare la quantità di prodotti (in UDM) spediti per ogni tipologia di tracciabilità e per sito mittente. Infine, grazie ai filtri presenti in alto al report, è possibile focalizzare le analisi filtrando i campi di interesse in base alle necessità.



Tipologia	Stabilimento	Magazzino	Sito	Data Produzione	Data Spedizione	Data Scadenza	Prodotto	Lotto	Consegna Nr.	Qta Spedita (UDM)
Vendita Cliente	5000 - UK- UK	T020 - DISTRIB	135 - DISTRIB	15/11/2020	06/04/2021	16/10/2022	05313 -	0000401440	5134223655	6,0
Vendita Cliente	5000 - UK- UK	T020 - DISTRIB	135 - DISTRIB	15/11/2020	06/04/2021	16/10/2022	05313 -	0000401440	5134223725	6,0
Vendita Cliente	5000 - UK- UK	T020 - DISTRIB	135 - DISTRIB	15/11/2020	01/04/2021	17/10/2022	05313 -	0000401440	5134222368	6,0
Vendita Cliente	5000 - UK- UK	T020 - DISTRIB	135 - DISTRIB	15/11/2020	06/04/2021	30/10/2022	05313 -	0000401440	5134223636	64,0
Vendita Cliente	5000 - UK-	T020 - EY	135 -	16/12/2020	03/04/2021	07/11/2022	05335 -	0000403470	5134218806	12,0

***Figura 3.43**: Report: Spedizioni sito.*

3.5.6 Tracciabilità: ricava SSCC

L'azienda ha riscontrato la necessità di dover estrarre tutti gli SSCC relativi ad uno specifico prodotto-lotto ordinati per data e ora di completamento del pallet. Per soddisfare quest'esigenza, è stata implementata una dashboard (vedasi Figura 3.44) accessibile tramite il pulsante "Cerca SSCC" della dashboard principale in Figura 3.14. La dashboard implementata permette di ricercare un **SSCC** a partire dalla selezione di un prodotto e di un lotto, in aggiunta ad altri criteri come il ***codice SKU***

(codice per identificare le cialde usato nella query su SAS). Inoltre, la tabella presente nella pagina visualizzerà tutti gli SSCC corrispondenti ai filtri impostati.
Lo scopo di questa sezione è quello di risalire al codice del pallet partendo da un determinato prodotto-lotto e orario, al fine di poter effettuare le verifiche sulla tracciabilità dei prodotti venduti. L'azienda di torrefazione torinese solitamente parte da una fotografia del prodotto (o della scatola) su cui è stato stampato il lotto e l'orario. In questo modo, può risalire al relativo pallet e capire a chi sia stato venduto, riuscendo così a effettuare le dovute analisi su un possibile mercato parallelo.

***Figura 3.44**: Dashboard: Home-SSCC.*

Cliccando su una singola riga si attiverà il pulsante "SSCC Info" che permetterà di visualizzare il report di dettaglio del codice identificativo del pallet selezionato (vedasi Figura 3.45).
Nello specifico, attraverso un *Clustered column chart*, è possibile osservare la quantità di prodotto-lotto (in UDM) per tipologia di tracciabilità. Invece, la *Map* consente di visualizzare la posizione del sito destinatario e la relativa quantità in UDM spedita. Infine, la tabella fornisce informazioni di dettaglio del codice identificativo del pallet, come: la tipologia di tracciabilità, il relativo prodotto-lotto, la data di produzione, la data di spedizione, la data di scadenza, il cliente destinatario e la quantità in UDM. Inoltre, tramite i pulsanti presenti sopra la tabella, si può filtrare la visualizzazione del *Clustered column chart* solo sui dati riferiti alla tipologia di tracciabilità selezionata.

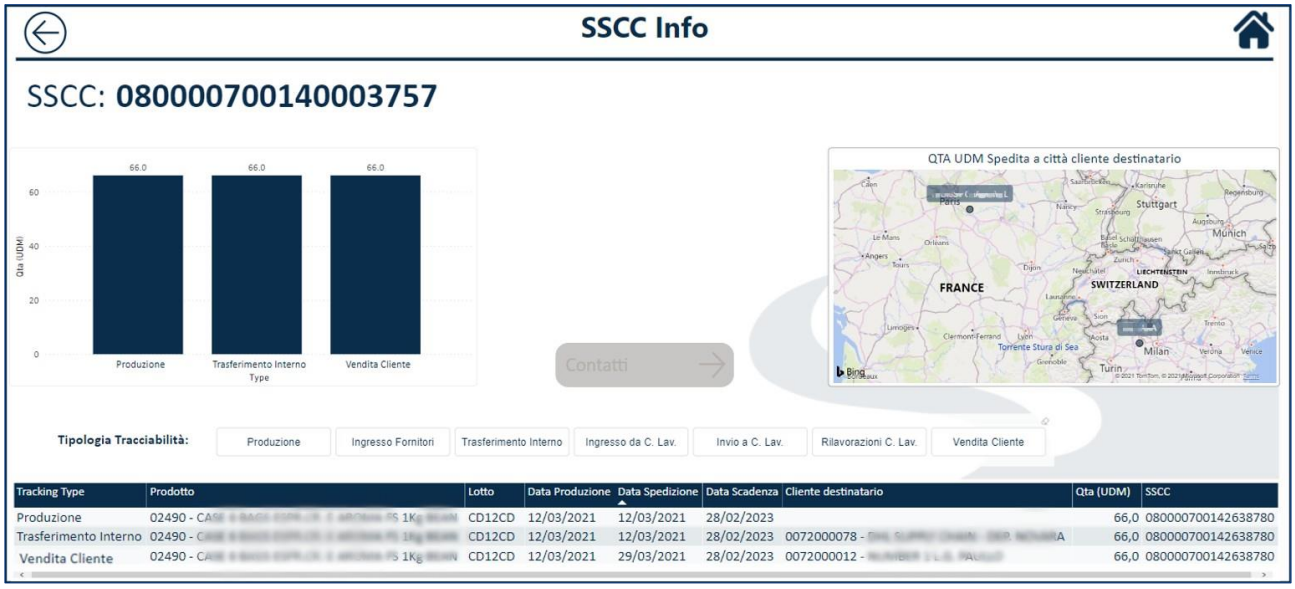


***Figura 3.45**: Report: SSCC info.*

Infine, dal pulsante "Ricava SSCC" della dashboard 3.44 o della dashboard 3.14 si verrà reindirizzati al report di dettaglio sul codice identificativo del pallet (vedasi Figura 3.46). I grafici consentono di visualizzare le quantità di prodotto-lotto spedite al sito di destinazione e la posizione sulla mappa del luogo in cui si trova quest'ultimo. L'obiettivo è permettere di individuare gli SSCC di interesse tra quelli spediti al cliente finale per capire dove il prodotto-lotto è stato venduto e da chi (committente). In questo modo, sarà possibile intercettare un eventuale mercato parallelo.

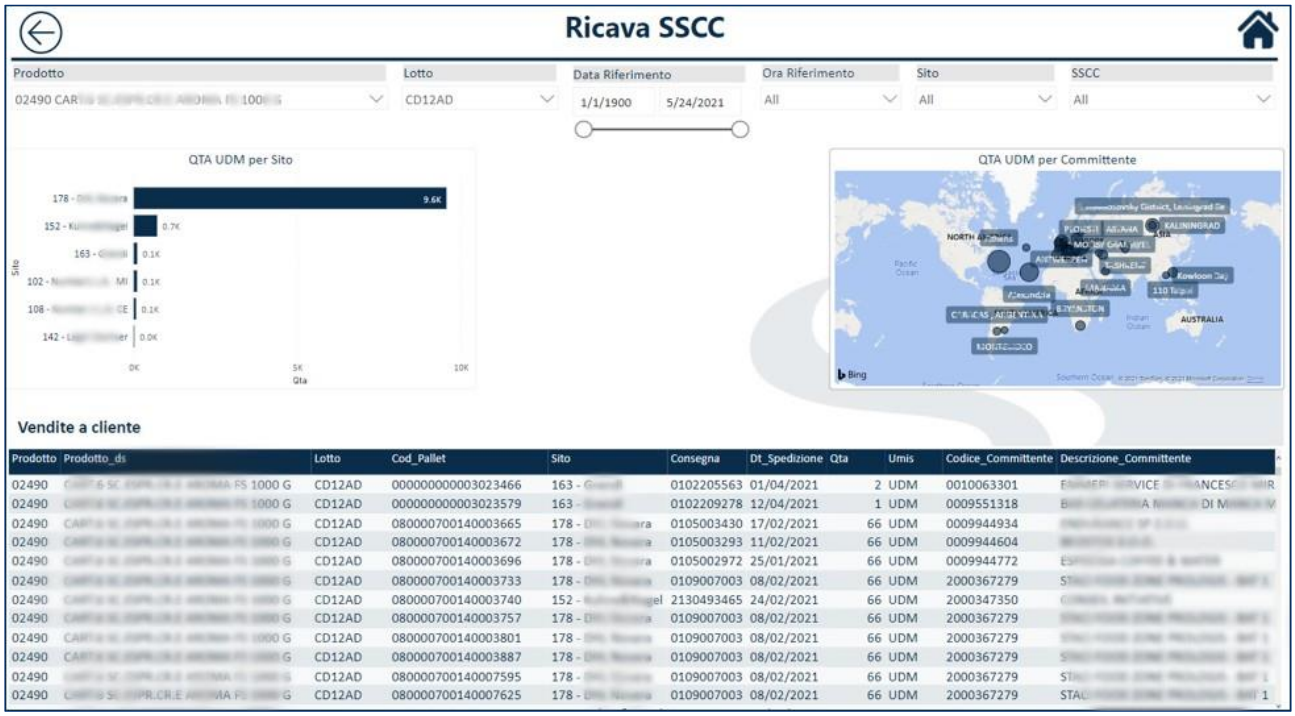


***Figura 3.46**: Report: Ricava SSCC.*

3.6 I limiti di Power BI per l'azienda torinese

L'azienda torinese ha compreso il valore di utilizzare strumenti tecnici all'avanguardia per ottenere una migliore tracciabilità del prodotto al fine di garantire la qualità al consumatore e per assicurare una shelf life prolungata nel tempo. Come si evince dal paragrafo precedente, la soluzione proposta all'azienda torinese permette di avere un controllo costante e in tempo reale dei dati di tracciabilità del prodotto-lotto, dall'approvvigionamento delle materie prime fino alla vendita. Tuttavia, questa soluzione può essere a sua volta migliorata, aggiungendo altre informazioni necessarie a garantire piena trasparenza su tutti i processi. Un esempio potrebbe essere la raccolta dei dati inerenti ai prodotti che presentano difetti e/o non conformità, oppure ai feedback ricevuti dai consumatori sui prodotti venduti. I **difetti** sono definiti come il mancato soddisfacimento di un requisito funzionale del prodotto, quindi di fatto portano problemi nel suo utilizzo. Una **non conformità** è definita come il mancato soddisfacimento di un requisito nato dai bisogni del cliente, il quale non necessariamente compromette la funzionalità del prodotto ma comporta il mancato soddisfacimento dei requisiti per la qualità. Nel caso studio appena analizzato, l'azienda monitora solo le anomalie a livello sistemistico ma non si preoccupa di centralizzare anche i dati su eventuali difetti e/o non conformità, aspetto importante per un'azienda che punta alla totale trasparenza anche sul controllo qualità. Alcune aziende effettuano controlli di qualità standard che, generalmente, vengono svolti alla fine del ciclo produttivo o dopo il rilevamento di difetti sul prodotto-lotto. Questo, però, non risulta essere efficiente in quanto comporta costi aggiuntivi e difficoltà nel reperire il sito produttivo dove si è verificato il problema. Alcuni dei tradizionali controlli di qualità sono effettuati manualmente e, solo dopo che tutte le verifiche sono state ultimate, i risultati vengono aggiunti nei sistemi di gestione dei dati. Un'alternativa a ciò è rappresentata dal **controllo qualità basato sui dati**, il quale prevede:

- la raccolta dei dati in tempo reale e il confronto con i dati storici inerenti alla qualità dei prodotti e dei macchinari utilizzati per realizzarli;
- l'impiego di questi dati per generare modelli di qualità;
- l'analisi dei dati in tempo reale, a inizio e fine realizzazione del prodotto, per confrontarli con i modelli di qualità implementati.

Ovviamente, le aziende che adottano questo sistema necessitano di un solido cloud industriale che possa racchiudere tutti questi dati. Tale sistema genera diversi vantaggi come:

- la diminuzione dei tempi di controllo, dato che i prodotti vengono confrontati in maniera automatica con un modello;
- il costante monitoraggio dei prodotti, in modo da anticipare potenziali difetti;
- l'integrazione dei processi di controllo qualità all'interno delle attività aziendali.

L'azienda torinese potrebbe integrare queste tipologie di dati all'interno di Power BI, al fine di ottimizzare l'intero processo di tracciabilità.

Lo strumento Power BI utilizzato per efficientare il sistema di tracciabilità dell'azienda torinese ha molti vantaggi ma anche dei limiti. Come in questo caso studio, un limite è rappresentato da una delle modalità scelte per connettersi alle origini dati: *DirectQuery*. Questo comporta che quando si accede/aggiorna un report o una dashboard vengono sempre visualizzati i dati più recenti provenienti dall'origine e ogni interazione dell'utente con il report (come la selezione di un valore diverso in un

filtro dei dati) comporta l'aggiornamento degli oggetti visivi. Uno dei problemi si presenta nel momento in cui si pubblica il report in Power BI Service, in quanto non è possibile pubblicare anche il dataset alla base perché i dati non sono a disposizione e non sono archiviati nel sistema (come avviene invece nel caso della modalità *Import*). Quindi, non si potrà riutilizzare il dataset per generare nuovi report. Inoltre, quando si usa DirectQuery, l'aggiornamento di ogni oggetto visivo potrebbe essere lento rispetto alla risposta immediata che si ha quando si importano i dati in Power BI. È necessario non porre un carico notevole sull'origine in quanto ciò impatta sulle prestazioni. Se il numero di utenti che accede a un report condiviso è molto elevato, vengono inviate all'origine sottostante un notevole numero di query per ogni oggetto visivo e ciò rallenterebbe ulteriormente le prestazioni del sistema. Inoltre, per consentire l'aggiornamento dei dati deve essere istallato il gateway vicino alla sorgente dati in modo da permettere a Power BI Service, a frequenze stabilite, di fare il refresh periodico dei dati senza così dover passare dal designer per aggiornare i dati in locale e poi ripubblicarli in cloud. Ma nel caso di DirectQuery, questi dati dovranno essere purtroppo caricati al momento dell'accesso al report, dato che non sono contenuti nel Power BI Desktop pubblicato né nel Power BI Service. Oltretutto, non è possibile condividere direttamente dall'ambito locale (Power BI Desktop), ma bisogna prima pubblicare nell'ambito cloud (Power BI Service) e, solo successivamente, condividere ad altri utenti.
Alle singole query in Power BI Service viene applicato un timeout di quattro minuti. Si otterrà un esito negativo per tutte le query che oltrepassano queste tempistiche. Tuttavia, ci sono alcune accortezze che permetterebbero di evitare problemi con l'utilizzo di DirectQuery, come evitare relazioni sulle colonne calcolate o mantenere, almeno inizialmente, le misure ad aggregazioni semplici. Ciò nonostante, è spesso consigliabile la modalità Import ed è bene utilizzare DirectQuery solo per le origini che forniscono prestazioni di query quasi interattive.
Un altro aspetto da tenere in considerazione sono i costi aziendali per mettere in atto questa soluzione. Più l'azienda punta a ottenere il massimo del servizio, maggiori saranno i costi. Quest'ultimi dipendono dal tipo di licenza che l'azienda possiede. Man mano che si passa dalla versione gratuita alla licenza Pro fino alla licenza Premium aumentano le funzionalità offerte e proporzionalmente i costi. In poche parole, la licenza Power BI Pro è per singolo utente, consente l'accesso a tutte le funzionalità di Power BI Service e permette di condividere il contenuto e collaborare solo con altri utenti Pro. Inoltre, ha limitazioni di file .pbix di 1 GB. Power BI Premium consente di gestire volumi di dati più grandi e ha una capacità che garantisce alte prestazioni, anche per la collaborazione con tutti gli utenti aziendali. In conclusione, maggiore è la performance richiesta per ottenere un efficiente sistema di monitoraggio dei dati di tracciabilità, maggiore sarà il costo da sostenere per avere tutte le funzionalità offerte dal servizio Power BI.

3.7 Intelligenza artificiale: opportunità per il sistema di tracciabilità dell'azienda torinese

Oggigiorno, sempre più imprese, vogliono ottimizzare il proprio sistema di tracciabilità al fine di garantire la piena trasparenza e qualità dei prodotti offerti. La tecnologia è una parte essenziale in questi processi. Alcune soluzioni, integrate con l'**intelligenza artificiale**, consentono di accrescere tali sistemi e permettono non solo di stare al passo con i tempi, ma anche di velocizzare ed efficientare il proprio sistema di tracciabilità. Tra le principali categorie di intelligenza artificiale maggiormente diffuse e integrante nei processi aziendali troviamo:

- **Intelligent Data Processing**, si tratta di una categoria in cui vengono utilizzati gli algoritmi di IA su dati strutturati come nel caso dei sistemi di controllo e monitoraggio o dell'analisi predittiva che consente di anticipare eventuali rischi e proteggere così le informazioni aziendali;
- **Smart Object**, si tratta di oggetti "intelligenti", ovvero oggetti capaci di svolgere azioni e prendere decisioni in maniera autonoma interagendo con l'ambiente circostante. Sono molto utilizzati per il monitoraggio industriale, negli ambiti di sorveglianza, sicurezza e così via;
- **Autonomous Robot**, si tratta di robot in grado di eseguire compiti avanzati e potenzialmente pericolosi, in precedenza svolti dagli esseri umani. Spesso vengono utilizzati nei magazzini per ottimizzare la loro gestione. In quest'ambito, ultimamente, si stanno diffondendo molto i droni che aiutano le aziende a effettuare il controllo delle scorte/inventario ma sono anche in grado di svolgere azioni come il ritiro e la consegna della merce a magazzino;
- **Autonomous Vehicle**, si tratta di mezzi a guida autonoma utili per tenere traccia dei trasporti dei prodotti da un sito all'altro;
- **Virtual Assistant e Chatbot**, si tratta di sistemi in grado di comprendere un dialogo, memorizzare e riutilizzare le informazioni raccolte. Vengono spesso impiegati per fornire assistenza al cliente;
- **Language Processing**, si tratta di un sistema che, ricevendo in input dati o documenti, è in grado di elaborare il linguaggio, comprendere il contenuto, tradurlo e riprodurre testi, il tutto in maniera autonoma. Spesso è utilizzato per estrarre informazioni da documenti di governance o analizzare documenti amministrativi o comunicazioni interne.

Ci sono casi in cui le prestazioni di un macchinario possono compromettere il prodotto finale. In questi casi, nei modelli di qualità è possibile integrare dei modelli di machine learning acquisiti dai programmi di ***manutenzione predittiva***. Si potranno così ottenere molteplici informazioni dai processi di controllo qualità basati sui dati. È ovvio che la produzione di molte merci richiede meccanismi grandi, complicati e intricati. La manutenzione di tali macchine può essere piuttosto costosa senza la manutenzione predittiva. Quest'ultima permette di capire gli indicatori del tempo e del costo di riparazione attraverso la categorizzazione dei problemi e la creazione di avvisi predittivi. L'ottimizzazione di un impianto produttivo in base ai dati permette di effettuare riparazioni tempestive che possono far risparmiare fino al 50% del tempo di manutenzione e ridurre i costi necessari per essa di quasi il 10%. Se qualcosa deve essere riparato o sostituito, i tecnici lo sapranno in anticipo e sapranno anche quali metodi usare per risolvere il problema. La manutenzione predittiva si basa sull'elaborazione di grandi volumi di dati derivanti da una o più macchine. Il principale scopo è quello di prevedere possibili guasti programmando la manutenzione prima che si verifichi l'evento. Le tecniche predittive standard prevedono la presenza nei macchinari di uno o più sensori, i quali raccolgono e monitorano i dati relativi alle prestazioni in tempo reale (come: temperatura, pressione, vibrazioni, ecc.) e li inviano a un'unità di elaborazione della macchina. Quest'ultima registra eventuali scostamenti dalle soglie prestabilite o dai modelli di apprendimento della macchina basati sui risultati osservati prima di aver riscontrato un guasto. Da questi dati è possibile elaborare una dashboard con dovuti KPI e avvisi di manutenzione predittiva che si presentano nel momento in cui si rilevano degli scostamenti. Il sistema potrà mettere a confronto i dati storici di qualità con quelli in tempo reale, per controllare se sono presenti difetti o variazioni di qualità e valutare così lo stato della macchina.

Per eseguire il monitoraggio da remoto su meccanismi complicati, è possibile utilizzare un **Digital Twin** (modello del gemello digitale) di una macchina. Ciò permetterà di sperimentare, in diversi ambienti (spazi virtuali), il comportamento dei sistemi e dei prodotti da realizzare. Si potranno così visualizzare i dati sulle prestazioni dell'impianto, dati in tempo reale dall'ambiente di produzione e così via, accedendo a un unico database contenente diverse fonti dati.
Il machine learning permette anche di identificare i fattori che influenzano la qualità del processo di produzione con la **Root Cause Analysis** (eliminando il problema alla fonte). Questo sistema consente di monitorare la "salute" degli impianti in tempo reale, garantendo costantemente la loro efficienza produttiva grazie all'analisi dei dati raccolti dai precedenti guasti degli impianti. Lo scopo non è solamente ridurre l'analisi alla causa più ovvia, ma individuare i difetti nascosti che rappresentano la radice del problema, ottenendo così una visione completa sull'intero processo.
Un altro aspetto importante riguardante i macchinari, soprattutto nel caso di aziende alimentari come l'azienda di torrefazione torinese, riguarda il modo in cui devono essere puliti. Pensare di smontare l'attrezzatura ogni volta, genera un dispendio di tempo e denaro per l'azienda. Degli sviluppatori dell'Università di Nottingham hanno ideato un sistema in grado di risparmiare il 20%-40% delle risorse. Questo sistema si chiama **SOCIP** o **Self Optimizing Clean In Place**. Utilizza il rilevamento a ultrasuoni e l'imaging ottico a fluorescenza per individuare i resti di cibo e i detriti microbici all'interno degli impianti. Ma c'è uno svantaggio in questo sistema: è costruito per lo scenario peggiore, tendendo a provocare una pulizia eccessiva.
Un'altra tecnologia utile per l'azienda torinese potrebbe essere un'applicazione dell'**Image Processing**: il **KanKan AI**, il quale utilizza i sistemi di sorveglianza per rilevare e tracciare le persone, così come i loro movimenti e il loro abbigliamento. Ciò è utile per monitorare se il personale mantiene l'ambiente pulito negli spazi che necessitano condizioni igienico-sanitarie elevate, in quanto questo è il fattore principale che influenza la sicurezza alimentare. Soluzioni come **KanKan AI** possono soddisfare queste esigenze ed aiutare le imprese a monitorare anche questi aspetti. La telecamera, incorporata nel sistema aziendale, controlla i lavoratori riconoscendo i loro volti e rileva se indossano maschere o cappelli come richiesto dalle leggi sulla sicurezza alimentare. Questa tecnologia ha un tasso di precisione stimato al 95% e permette di rilevare le violazioni trasformandole in immagini con avvisi di "allarme".
Gli algoritmi basati sulle **reti neurali artificiali** possono monitorare e controllare la tracciabilità delle merci in ogni fase. L'IA nella produzione alimentare consente di effettuare previsioni sui prezzi e sulla gestione delle scorte permettendo, inoltre, di tracciare l'intero percorso delle merci da dove vengono coltivate al luogo in cui i consumatori le ricevono, garantendo la trasparenza. Una soluzione come **Symphony Retail AI** permette di stimare la domanda di trasporto, i prezzi e l'inventario per evitare di avere un'abbondanza di merce che finisca sprecata.
In precedenza, un produttore doveva assumere molte persone per eseguire le azioni monotone e di routine legate alla selezione degli alimenti. Ora, invece di smistare manualmente grandi quantità di cibo (o di chicchi di caffè nel caso dell'azienda torinese) in base alle dimensioni e alla forma (in modo che possa essere, ad esempio, insaccato), è possibile utilizzare soluzioni basate sull'IA per riconoscere facilmente quali prodotti dovrebbero essere utilizzati per un fine e quali per un altro. Questo si ottiene utilizzando tecnologie di sensori di base e una telecamera che riconosce il materiale in base al colore, alle caratteristiche biologiche e alla forma (lunghezza, larghezza, diametro); la telecamera ha uno spettro adattivo che ben si adatta alla selezione ottica degli alimenti.

C'è anche un'altra tecnologia innovativa di intelligenza artificiale che è fondamentale nella sicurezza alimentare: i **nasi elettronici**. Sono sostanzialmente la sostituzione dei nasi umani e sono costituiti da sensori chimici elettronici in grado di distinguere accuratamente una varietà di odori. Diventano molto importanti in un ambiente di produzione alimentare. Questi sensori sono alimentati da un algoritmo di intelligenza artificiale/machine learning che ha accesso a un database di odori pericolosi rappresentanti i segnali di inquinamenti o infezioni. I nasi elettronici potrebbero aiutare molto la sicurezza alimentare e il controllo qualità.
Con l'utilizzo dell'intelligenza artificiale è possibile ottenere dei vantaggi anche sulla riduzione dei rischi di ritardo nella consegna dei prodotti ai clienti. Molti veicoli di consegna sono dotati di sensori e antenne, i quali consentono all'azienda di individuare, in tempo reale e in maniera precisa, i punti di ritardi storici. In questo modo, è possibile analizzare dei percorsi alternativi che consentano di evitare questi punti, anche nel futuro, ottimizzando così la soddisfazione del cliente e riducendo i consumi di carburante.
Un altro aspetto da tenere in considerazione potrebbe essere quello di digitalizzare e analizzare, attraverso gli strumenti di intelligenza artificiale, i feedback ricevuti dai consumatori. Oggigiorno esistono diverse tecnologie per far ciò, come l'utilizzo di strumenti di *analytics* del sito web. Un esempio è la **sentiment analysis** (o **opinion mining**), la quale rappresenta una tecnica di elaborazione del linguaggio naturale. Essa è utilizzata per analizzare i dati estratti, spesso, dall'elaborazione di un testo online compilato dal cliente su un prodotto o servizio. Inoltre, questa tecnica fornisce anche la tipologia di feedback ricevuti: positivi, negativi o neutri. Quindi, è usata per misurare i sentimenti e le opinioni sul prodotto acquistato in tempo reale, in modo da poter individuare immediatamente i clienti scontenti e rispondere il prima possibile. Questo avrà un effetto positivo sull'esperienza di acquisto del cliente.

Oltre alle tecnologie di intelligenza artificiale, un'altra opportunità potrebbe essere quella di introdurre la Data Governance a livello aziendale. Tutte le aziende prendono le decisioni in base ai dati. Dunque, la crescente quantità di dati provenienti da diverse fonti, sia interne che esterne, crea la necessità di riuscire a sfruttare a pieno il valore intrinseco del patrimonio informativo. La Data Governance è l'insieme di metodologie, di aspetti organizzativi, di processi e di strumenti abilitati da specifiche competenze, volto a valorizzare e a sfruttare pienamente l'enorme patrimonio informativo a disposizione delle aziende. Dunque, consente di gestire i dati come un asset e chiarire la diversa importanza degli stessi in relazione agli obiettivi aziendali. Inoltre, è in grado di definire dei "coni di visibilità" e proteggere i dati aziendali più critici. L'obiettivo sostanzialmente è quello di: garantire l'affidabilità dei dati utilizzati a supporto del business, consentire di limitare il *time to market* dei progetti data-driven e abilitare le progettualità di *advanced analytics* e *business intelligence* che creano valore. Ciò al fine di realizzare un ecosistema aziendale uniforme. Inoltre, tramite gli strumenti di Data Governance, si è in grado di creare una vista univoca sulle informazioni aziendali attraverso l'utilizzo:

- del **Business Glossary** che consente di definire un linguaggio aziendale comune grazie alla centralizzazione e condivisione di uguali vocaboli aziendali con il relativo significato e alle regole che sanciscono come questi vocaboli possono essere legati tra di loro per definire concetti anche più complessi;
- del **Data Catalog** che consente di creare un modello strutturato di metadati dove vengono messe a disposizione i dati aziendali con costanti controlli di qualità (anche grazie a

funzionalità che consentono di generare automatismi basati su logiche di IA e ML) e con la presenza di un **Data Lineage** che consente di avere una documentazione automatica delle trasformazioni e dei passaggi di stato del dato lungo tutta la filiera.

Un altro aspetto interessante è l'adozione di regole di **Data Quality** che, utilizzando processi di ETL, permette di verificare se il dato soddisfi alcuni requisiti (ad esempio, il valore di quel dato deve essere compreso tra 0 e 1) al fine di assicurare che sia adatto allo scopo e adempia alle esigenze dell'azienda. Tutto ciò garantirà che i dati di tracciabilità, raccolti e importati su Power BI per fare le dovute analisi, siano sicuri.

Le diverse opportunità e le tecnologie di intelligenza artificiale appena descritte possono aiutare non solo l'azienda torinese a rafforzare il proprio sistema di tracciabilità dei prodotti, ma possono essere ampliate anche ad aziende appartenenti ad altri settori.

CAPITOLO 4

4. CONCLUSIONI

Nei capitoli precedenti, si è trattato in maniera approfondita l'importanza della tracciabilità/rintracciabilità dei prodotti lungo l'intera filiera. L'utilizzo di un sistema per tracciare i prodotti rappresenta un prezioso strumento di competitività per un'azienda che punta a garantire la qualità della propria offerta e ad avere una visione globale su tutte le fasi percorse dal proprio prodotto, al fine di soddisfare un numero sempre maggiore di clienti.
Il caso studio, trattato nel capitolo precedente, ha permesso di evidenziare come per una grande azienda sia di estremo valore possedere un sistema che le consenta di analizzare i dati sulla tracciabilità in maniera veloce, efficace ed efficiente. L'ottimizzazione dei processi consente di avere un flusso dei prodotti e delle informazioni dal luogo di origine alla tavola dei consumatori ("from farm to fork"). Ciò in quanto, oggigiorno, è fondamentale riuscire ad affrontare un mercato sempre più globalizzato in cui la catena di approvvigionamento può essere molto lunga e complessa e le informazioni sul prodotto possono spesso provenire da diverse fonti dati (come nel caso in esame). Infatti, le aziende ormai operano con sempre più dati ed è, quindi, di primaria importanza avere la capacità di leggerli in maniera corretta e analizzarli efficacemente. Proprio per questo motivo è fondamentale possedere uno strumento che consenta di creare un unico dataset contenente tutti i dati di tracciabilità, senza correre il rischio di perdere informazioni o aggiornamenti a livello aziendale. In questo modo sarà possibile relazionare i dati tra di loro per generare analisi utili all'azienda. Dunque, risulta indispensabile strutturare dei sistemi che permettano l'analisi e l'utilizzo di tutti i dati disponibili nel modo più semplice e indicato per l'obiettivo da raggiungere. La soluzione sulla tracciabilità dei prodotti-lotti elaborata sullo strumento Power BI per la famosa azienda torinese, produttrice di caffè tostato, ha permesso di mettere in evidenza l'importanza della data visualization, la quale consente di concretizzare set di dati in informazioni comprensibili dal punto di vista logico e grafico. Nello specifico, la realizzazione di un applicativo per la consultazione dei dati nasce dall'esigenza dell'azienda torinese di avere uno strumento per la gestione ottimale della tracciabilità dei prodotti che consenta di effettuare anche analisi predittive. Quanto sviluppato durante il tirocinio è stato validato e promosso dall'azienda torinese come un'applicazione intuitiva, di facile utilizzo, la quale ha risposto efficacemente alle aspettative aziendali.
Le dashboard e i report creati per monitorare i dati di tracciabilità, sono il risultato di un lavoro di studio del dato aziendale e comprensione del suo significato al fine di poterlo rendere fruibile in modo ottimale, tramite i diversi *visual* offerti da Power BI. Ciò consente di avere un'immediata comprensione dell'intero ciclo di vita del prodotto e garantisce:

- la consultazione dei dati a tutti i membri aziendali;
- la connessione a centinaia di origine dati;
- la promozione di analisi ad hoc;
- una visione unica a 360° della propria attività;
- governance dei dati e garanzia sulla loro protezione (secondo i principi del GDPR, ad esempio: la tabella del database contenente le informazioni personali di un cliente, non deve includere il nome, il codice fiscale, il numero di telefono personale o altri identificativi che devono, invece, essere conservati in una tabella diversa.

I dati nelle due tabelle sono collegati tramite un ID e l'accesso alla seconda tabella deve essere gestito secondo i principi di sicurezza del "need to know" e "least privilege").

Inoltre, tale soluzione consente di affrontare le seguenti sfide di:

1. soddisfare il bisogno di **trasparenza delle informazioni** da parte del consumatore sempre più esigente. Questo aspetto è fondamentale per appagare la sua esperienza di acquisto e di consumo. Infatti, una maggiore trasparenza delle informazioni migliora: la brand awareness, la fiducia dei consumatori e la fedeltà dei clienti. Ciò genera un **effetto positivo sulle vendite**;
2. tutelare la **brand reputation**, garantendo la qualità dei prodotti;
3. migliorare l'**efficienza dei processi** per ridurre costi ed errori di gestione.

Produttori, distributori e venditori hanno a disposizione una "ricetta collaudata" per affrontare tali sfide. Infatti, riescono a:

- identificare in modo univoco i prodotti e i vari siti dove giunge il prodotto, rintracciandolo in modo preciso e rapido;
- digitalizzare tutte le informazioni con le diverse tecnologie oggi esistenti (come i codici a barre) per effettuare un'ottima tracciabilità, in tal modo si possono condividere i dati di qualità con tutti gli attori coinvolti;
- ridurre i tempi di richiamo dei prodotti;
- garantire la sicurezza dei prodotti a tutela del consumatore.

Gli standard di tracciabilità garantiscono: efficienza, riduzione dei costi, digitalizzazione e informazioni di qualità.
Questa soluzione può essere ampliata in quanto le sue funzionalità sono replicabili anche per altre aziende operanti in differenti settori.
Inoltre, si è visto come l'importanza dell'intelligenza artificiale applicata alla tracciabilità consente di accrescere il valore delle soluzioni a disposizione di un'azienda. Per semplificare le procedure di registrazione dei dati in tempo reale lungo la supply chain entra in gioco la blockchain. Quest'ultima rende i dati facilmente fruibili da tutti gli attori coinvolti all'interno di essa.
Dal caso studio analizzato è possibile comprendere, specialmente per le aziende operanti in mercati internazionali con più tipologie di prodotti, come sia essenziale garantire la trasparenza dei processi al fine di riuscire a fronteggiare la concorrenza, acquistando una buona quota di mercato e fidelizzando sempre più clienti.
In conclusione, è importante sottolineare che in questo elaborato sono state affrontare solo alcune delle potenzialità offerte da Power BI, in particolare quelle utili a raggiungere il fine di utilizzo richiesto. Infatti, esistono modi differenti per poter visualizzare la grande quantità di dati con cui un'azienda si interfaccia nel tempo. Come illustrato nel capitolo precedente, parte delle analisi presentate potranno essere migliorate e automatizzate in futuro tramite nuove tecniche di intelligenza artificiale e machine learning.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

[1] Keyence, Guida sulla tracciabilità.

[2] R. Schuitemaker e X. Xu, «Product traceability in manufacturing: A technical review», *Procedia CIRP,* vol. 93, pp. 700-705, 2020.

[3] M. M. Aung e Y. S. Chang, «Traceability in a food supply chain: Safety and quality perspectives», *Food Control,* vol. 39, pp. 172-184, May 2014.

[4] S. Stefanella, C. Alessia e B. Alessandro, «Do motivations affect different voluntary traceability schemes? An empirical analysis among food manufacturers», *Food Control,* vol. 80, pp. 187-196, October 2017.

[5] R. Badia-Melis, P. Mishra e L. Ruiz-García, «Food traceability: New trends and recent advances. A review», *Food Control,* vol. 57, pp. 393-401, November 2015.

[6] B. Alessandro e S. Stefanella, Coordinamento verticale e tracciabilità, Roma: ARACNE EDITRICE S.r.l., Aprile 2005.

[7] S. Stranieri, A. Cavaliere e A. Banterle, «The determinants of voluntary traceability standards. The case of the wine sector», *Wine Economics and Policy,* vol. 7, n. 1, pp. 45-53, June 2018.

[8] S. Stranieri, A. Cavaliere e A. Banterle, «Voluntary traceability standards and the role of economic incentives», *British Food Journal,* vol. 118 , n. 5, pp. 1025-1040, 3 May 2016.

[9] A. Banterle e S. Stranieri, «The consequences of voluntary traceability system for supply chain relationships. An application of transaction cost economics», *Food Policy,* vol. 33, n. 6, pp. 560-569, December 2008.

[10] C. Ménard e E. Valceschini, «New institutions for governing the agri-food industry», *European Review of Agricultural Economics,* vol. 32, n. 3, pp. 421-440, 2005.

[11] D. Kreps, «Corporate culture and economic theory», *Perspectives on Political Economy, Cambridge University Press,* 1990.

[12] J. Caswell, «Valuing the benefits and costs of improved food safety and nutrition», *The Australian Journal of Agricultural and Resource Economics,* vol. 42, n. 4, pp. 409-424, 1998.

[13] F. Qualivita e I. P. e. Z. d. S. SpA, «Tracciare l'agroalimentare di qualità», Dicembre 2018.

[14] R. Coase, «The nature of the firm», *Economica, New Series,* vol. 4, n. 16, pp. 386-405, 1937.

[15] R. Coase, «The institutional structure of production», *American Economic Review,* vol. 82, n. 4, pp. 713-719, 1992.

[16] W. O.E., G. V. Huylenbroeck, W. Verbeke e L. L. (Eds.), «Transaction cost economics and agriculture: an excursion», *Role of Institutions in Rural Policies and Agricultural Markets; Elsevier,* Amsterdam (2004).

[17] J. E. Hobbs, «A transaction cost approach to supply chain management», *Supply Chain Management,* vol. 1, n. 2, pp. 15-27, 1996.

[18] O. E. Williamson, «The new institutional economics: taking stock, looking ahead», *Journal of Economic Literature,* vol. 38, n. 3, pp. 595-613, 2000.

[19] A. Tana e T. N. Pham, «A proposed framework model for dairy supply chain traceability», *Sustainable Futures,* vol. 2, n. 100034, 5 July 2020.

[20] K. K.M., D. B., O. P. e E. E.O., «Literature review: Does a common theoretical framework to implement food traceability exist?», *Food control,* vol. 32, pp. 409-417, 2013.

[21] P. Wognum, H. Bremmers, J. Trienekens, J. v. d. Vorst e J. Bloemhof, «Systems for sustainability and transparency of food supply chains – Current status and challenges», *Advanced Engineering Informatics,* vol. 25, n. 1, pp. 65-76, January 2011.

[22] W. Lee, W. Deng, J. Lee e S. Lee, «Change impact analysis with a goal-driven traceability-based approach», *International Journal of Intelligent Systems,* vol. 25, n. 8, pp. 878-908, August 2010.

[23] I. Tzoulisa e Z. Andreopoulou, «Emerging traceability technologies as a tool for quality wood trade», *Proc. Technol.,* vol. 8, pp. 606-611, 2013.

[24] n. Sivakami, «Comparative study of barcode, QR-code and RFID system in library environment», *Int. J. Acad. Res. Library Inf. Sci.,* vol. 1, n. 1, 2017.

[25] M. Attaran, «RFID: an enabler of supply chain operations», *Supply Chain Management,* vol. 12, n. 4, pp. 249-257, 2007.

[26] Badia-Melis, R. Mishra, P. Ruiz-Garc´ıa e L., «Food traceability: New trends and recent advances.», *Food Control,* vol. 57, p. 393–401, 2015.

[27] M. You, M. Lin, S. Wang, X. Wang, G. Zhang, Y. Hong, Y. Dong, G. Jinab e F. Xu, «Three-dimensional quick response code based on inkjet printing of upconversion fluorescent nanoparticles for drug anti-counterfeiting», *Nanoscale,* vol. 8, pp. 10096-10104, 2016.

[28] B. Tiryakioglu, G. Kayakutlu e I. Duzdar, «Medical device tracking via QR code and efficiency analyze», *Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET),* Sept. 2016.

[29] M. Roberti, «Airbus enters new phase of RFID usage, digitalization», 2015. Available: https://www.rfidjournal.com/airbus-enters-new-phase-of-rfid-usage-digitalization.

[30] C. J. Garrido e M. L. Rodriguez, «Standard process monitoring and traceability programming in collaborative CAD/CAM/CNC manufacturing scenarios», *Computers in Industry,* vol. 62, n. 3, pp. 311-322, April 2011.

[31] Opara e L. U., «Traceability in agriculture and food supply chain: A review of basic concepts, technological implications and future prospects», *Food, Agriculture & Environment,* vol. 1, n. 1, pp. 101-106, 2003.

[32] C. E. Shearon, «IPC-1782 standard for traceability of critical items based on risk», *Pan Pacific Microelectronics Symposium (Pan Pacific), IEEE,* pp. 1-3, 2018.

[33] *GS1 Standards Document GS1 Global Traceability Standard,* Brussels; Belgium: Global Standards One, 2012.

[34] R. Y. Zhong, X. Xu e L. Wang, «IoT-enabled Smart Factory Visibility and Traceability Using Laser-scanners», *Procedia Manufacturing,* vol. 10, pp. 1-14, July 2017.

[35] C. M. e S. J., «Traceability in manufacturing systems.», *International Journal of Operations & Production Management,* vol. 14, pp. 4-16, 1994.

[36] P. Olsena e M. Borit, «How to define traceability», *Trends in Food Science & Technology,* vol. 29, n. 2, pp. 142-150, February 2013.

[37] P. Olsen e M. Borit, «The components of a food traceability system», *Trends in Food Science & Technology,* vol. 77, pp. 143-149, July 2018.

[38] Y. K., L. H., B. H. e J. N.L., «Qr-on-a-chip: a computer-recognizable micro-pattern engraved microfluidic device for high-throughput image acquisition», *Lab on a Chip,* vol. 16, n. 4, pp. 655-659, 2016.

[39] *Competence Guide Direct Part Marking. first ed.,* SIK AG, 2007.

[40] Available: https://www.alfacod.it/tecnologia-rfid-cosa-serve-come-funziona.

[41] «Che cos'è l'RFID, come funziona e a cosa serve», Available: https://www.tenenga.it/whitepaper-rfid/.

[42] R. Ishiyama, Y. Kudo e T. Takahashi, «mIDoT: Micro identifier dot on things — A tiny, efficient alternative to barcodes, tags, or marking for industrial parts traceability», *IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT),* pp. 781-786, Taipei, Taiwan, 2016.

[43] M. Usami, «An ultra-small RFID chip: /spl mu/-chip», *Proceedings of 2004 IEEE Asia-Pacific Conference on Advanced System Integrated Circuits, IEEE,* p. 2–5, 2004.

[44] J. Qian, B. Xing, B. Zhang e H. Yang, «Optimizing QR code readability for curved agro-food packages using response surface methodology to improve mobile phone-based traceability», *Food Packaging and Shelf Life,* vol. 28; 100638, June 2021.

[45] L. Tarjan, I. Šenk, S. Tegeltija, S. Stankovski e G. Ostojic, «A readability analysis for QR code application in a traceability system», *Computers and Electronics in Agriculture,* vol. 109, pp. 1-11, November 2014.

[46] J. Qian, X. Du, B. Zhang, B. Fan e X. Yang, «Optimization of QR code readability in movement state using response surface methodology for implementing continuous chain traceability», *Computers and Electronics in Agriculture,* vol. 139, pp. 56-64, 15 June 2017 .

[47] G. Steinberger, M. Rothmund e H. Auernhammer, «Mobile farm equipment as a data source in an agricultural service architecture», *Computers and Electronics in Agriculture,* vol. 65, n. 2, pp. 238-246, March 2009.

[48] D. J. F. Fales, R. S. Vincent e P.E, «Data matrix and PDF417 data integrity test», *U.S. Department of Energy; Office of Scientific and Technical Information,* vol. Oak Ridge National Lab.; TN (United States); Ohio Univ..

[49] Available: https://www.cognex.com/it-it/resources/symbologies/stacked-linear-barcodes/pdf417-bar-codes.

[50] V. Coskun, B. Ozdenizci e K. Ok, «A Survey on Near Field Communication (NFC) Technology», *Wireless Personal Communications,* vol. 71, pp. 2259-2294, 2013.

[51] Z. Cao, P. Chen, Z. Ma, S. Li, X. Gao, R.-x. Wu, L. Pan e Y. Shi, «Near-Field Communication Sensors», *Sensors (Basel),* vol. 19, p. 3947, 2019.

[52] Available: https://www.alfacod.it/soluzioni/beacon-tracciabilita#:~:text=I%20Beacon%20sono%20come%20dei,%2C%20device%2C%20ecc.)..

[53] P. Sainathan, *Supply Chain Visibility Evolution: Barcodes, RFID, NFC, BLE Beacons,* April 2018.

[54] A. Regattieri, M. Gamberi e R. Manzini, «Traceability of food products: General framework and experimental evidence», *Journal of Food Engineering,* vol. 81, n. 2, pp. 347-356, July 2007.

[55] S. Krima, T. Hedberg e A. B. Feeney, Securing the Digital Threat for Smart Manufacturing: A Reference Model for Blockchain-Based Product Data Traceability, U.S. Department of Commerce: National Institute of Standards and Technology, February 2019.

[56] J. F. Galvez, J. C. Mejuto e J. Simal-Gandara, «Future challenges on the use of blockchain for food traceability analysis», *TrAC Trends in Analytical Chemistry,* vol. 107, pp. 222-232, October 2018.

[57] G. Mirabelli e V. Solina, «Blockchain and agricultural supply chains traceability: research trends and future challenges», *Procedia Manufacturing,* vol. 42, pp. 414-421, April 2020.

[58] D. E. O'Leary, «Configuring blockchain architectures for transaction information in blockchain consortiums: The case of accounting and supply chain systems», *Intelligent Systems in Accounting, Finance and Management,* vol. 24, n. 4, pp. 138-147, December 2017.

[59] A. Liu, D. Zhang, X. Wang e X. Xu, «Blockchain-based customization towards decentralized consensus on product requirement, quality, and price», *Manufacturing Letters,* vol. 27, pp. 18-25, January 2021 .

[60] F. Longo, L. Nicoletti, A. Padovano e M. Forte, «Blockchain-enabled supply chain: An experimental study», *Computers & Industrial Engineering,* vol. 136, pp. 57-69, October 2019.

[61] M. Orcutt, «How secure is blockchain really?», *MIT Technology Review,* April 2018.

[62] Z. Hongwei, W. Jinsong e D. Yuemin, «Blockchain-based decentralized and secure keyless signature scheme for smart grid», *Energy,* vol. 180, pp. 955-967, 2019.

[63] D. Agrawal, A. Shrivastava e R. K. Srivastva, «A Survey on Vulnerabilities and Performance Evaluation Criteria in Blockchain Technology», *ADCAIJ: Advances in Distributed Computing and Artificial Intelligence Journal,* vol. 9, n. 2, pp. 91-105, 2020.

[64] A. Panarello, N. Tapas, G. Merlino, F. Longo e A. Puliafito, «Blockchain and IoT Integration: A Systematic Survey», *Sensors (Basel),* vol. 18, n. 8, p. 2575, 2018.

[65] C. Cannata, *Sistemi decentralizzati vs sistemi centralizzati: vantaggi e applicazioni,* WizKey S.p.A., 2019.

[66] V. Buterin, *The Meaning of Decentralization,* Medium, 2017.

[67] M. Garosi, *Cos'è una rete Peer To Peer (P2P)?,* www.marcogarosi.it, 2018.

[68] M. Vukolić, «The Quest for Scalable Blockchain Fabric: Proof-of-Work vs. BFT Replication», *International Workshop on Open Problems in Network Security,* pp. 112-125, 2015.

[69] A. Joshi, M. Han e Y. Wang, «A survey on security and privacy issues of blockchain technology», *Mathematical Foundations of Computing,* vol. 1, n. 2, pp. 121-147, January 2018.

[70] P. Dutta, T.-M. Choi, S. Somani e R. Butala, «Blockchain technology in supply chain operations: Applications, challenges and research opportunities», *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review,* vol. 142, October 2020; 102067.

[71] A. Lastovetska, *Blockchain Architecture Basics: Components, Structure, Benefits & Creation,* Mlsdev.

[72] M. Bellini, «Blockchain: cos'è, come funziona e gli ambiti applicativi in Italia», *Blockchain4innovation,* Febbraio 2021.

[73] S. v. Engelenburg, M. Janssen e B. Klievink, «Design of a software architecture supporting business-to-government information sharing to improve public safety and security», *Journal of Intelligent Information Systems,* vol. 52, p. 595–618, 2019.

[74] R. Qiao, S. Zhu, Q. Wang e J. Qin, «Optimization of dynamic data traceability mechanism in Internet of Things based on consortium blockchain», *International Journal of Distributed Sensor Networks,* vol. 14, n. 12, 2018.

[75] M. T. D. Mura, *Blockchain nella supply chain: quali vantaggi per la tracciabilità nella filiera agroalimentare,* Agrifood.tech, 2020.

[76] D. Mao, F. Wang, Z. Hao e H. Li, «Credit Evaluation System Based on Blockchain for Multiple Stakeholders in the Food Supply Chain», *International Journal of Environmental Research and Public Health,* vol. 15, n. 8, p. 1627, 2018.

[77] *Tracciabilità alimentare e blockchain: innovazione 4.0,* EULER HERMES; https://www.eulerhermes.com/it_IT/news-e-approfondimenti/trade-magazine/business-trends/smart-agrifood/tracciabilita-alimentare-blockchain-innovazione.html, Luglio 2019.

[78] B. G. Buchanan, «A (very) brief history of artificial intelligence», *AI Magazine,* vol. 26, n. 4, pp. 53-60, 2005.

[79] S. Camaréna, «Artificial intelligence in the design of the transitions to sustainable food systems», *Journal of Cleaner Production,* vol. 271 (122574), October 2020.

[80] «Cos'è il Machine Learning, come funziona l'apprendimento automatico e quali sono le sue applicazioni», 2018. Available: https://www.ai4business.it/intelligenza-artificiale/machine-learning/machine-learning-cosa-e-applicazioni/.

[81] R. O. D. INNOVATION, «Machine Learning: cos'è e come funziona l'apprendimento automatico», 2019. Available: https://blog.osservatori.net/it_it/machine-learning-come-funziona-apprendimento-automatico.

[82] V. Kakani, V. H. Nguyen, B. P. Kumar, H. Kim e V. R. Pasupuleti, «A critical review on computer vision and artificial intelligence in food industry», *Journal of Agriculture and Food Research,* vol. 2, December 2020; 100033.

[83] M. Chui, «Artificial Intelligence the Next Digital Frontier?», *McKinsey and Company Global Institute,* vol. 47, pp. 3-6, 2017.

[84] «Artificial Intelligence Market 2021 – Global Industry Analysis, By Key Players, Segmentation, Trends and Forecast By 2026», 2021. Available: https://www.marketwatch.com/press-release/artificial-intelligence-market-2021-global-industry-analysis-by-key-players-segmentation-trends-and-forecast-by-2026-2021-02-04?tesla=y.

[85] «PwC's Global Artificial Intelligence Study: Exploiting the AI Revolution; What's the real value of AI for your business and how can you capitalise?». Available: https://www.pwc.com/gx/en/issues/analytics/assets/pwc-ai-analysis-sizing-the-prize-report.pdf.

[86] «Gartner Predicts 90% of Current Enterprise Blockchain Platform Implementations Will Require Replacement by 2021». Available: https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2019-07-03-gartner-predicts-90--of-current-enterprise-blockchain.

[87] O. Branon, «Artificial Intelligence Poised to Double Annual Economic Growth Rate in 12 Developed Economies and Boost Labor Productivity by up to 40 Percent by 2035, According to New Research by Accenture». Available:

https://newsroom.accenture.com/news/artificial-intelligence-poised-to-double-annual-economic-growth-rate-in-12-developed-economies-and-boost-labor-productivity-by-up-to-40-percent-by-2035-according-to-new-research-by-accenture.htm.

[88] I. Corporate, «Worldwide Artificial Intelligence Spending Guide». Available: https://www.idc.com/tracker/showproductinfo.jsp?containerId=IDC_P33198.

[89] M. Gianni, «AI, cos'è l'intelligenza artificiale e come può aiutare le imprese», Digital4Executive; Gennaio 2021. Available: https://www.digital4.biz/executive/ai-cos-e-l-intelligenza-artificiale-e-come-puo-aiutare-le-imprese/.

[90] *Gli impatti di IA e di Blockchain sui modelli di business,* Innovation Strategy; Forum SIF, 2020.

[91] «Cos'è lo Smart Manufacturing? I Principi della Nuova Industria 4.0», 2020. Available: https://www.esa-automation.com/it/cose-lo-smart-manufacturing-i-principi-della-nuova-industria-4-0/.

[92] «Sulle tracce della supply chain», IBM Company, 2020. Available: https://www.intesa.it/sulle-tracce-della-supply-chain/.

[93] «Intelligenza Artificiale e Blockchain, un matrimonio inevitabile», 2020. Available: https://www.ingenium-magazine.it/intelligenza-artificiale-e-blockchain-un-matrimonio-inevitabile/.

[94] M. Abba', «Per le sfide globali si punta sullo Smart Agrifood: AI, IoT, blockchain», *Tech InDepth,* 2020.

[95] «Automazione dei processi: come ridurre i costi con l'AI», 2020. Available: https://blog.almawave.it/intelligenza-artificiale-riduzione-dei-costi-grazie-allautomazione-dei-processi.

[96] C. Degot, S. Duranton, M. Frédeau e R. Hutchinson, «Reduce Carbon and Costs with the Power of AI», January 2021 . Available: https://www.bcg.com/it-it/publications/2021/ai-to-reduce-carbon-emissions.

[97] M. Matias, *Visualize It! A Comprehensive Guide to Data Visualization,* Netquest.

[98] «Monthly Coffee Market Report - March 2021; International Coffee Organization (ICO)». Available: https://www.ico.org/documents/cy2020-21/cmr-0321-e.pdf.

[99] «Statistics of the International Coffee Organization». Available: https://www.ico.org/about_statistics.asp?section=Statistics.

[100] L. Wylie, «A Vision of Next Generation MRP II», *Scenario S-300-339; Gartner Group,* 12 aprile 1990.

[101] Available: https://www.oracle.com/it/erp/what-is-erp/.

[102] L. D. Xu e E. L. X. &. L. Li, «Industry 4.0: state of the art and future trends», *International Journal of Production Research,* vol. 56, n. 8, pp. 2941-2962, 09 Mar 2018.

[103] B. Maram e G. K. Gopisetty, «The role of iot in agriculture fields», *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET),* vol. 10, n. 1, p. 858–866, January 2019.

[104] S. H. H. J. B. J. Kim, S. Shin, S. Choi, S. H. Lee, S. Kwon e W. Park, «Lithographically encoded polymer microtaggant using high-capacity and error-correctable qr code for anti-counterfeiting of drugs», *Advanced Materials,* vol. 24, pp. 5924-5929, 2012.

[105] Available: https://blog.osservatori.net/it_it/cos-e-internet-of-things#iot-significato.

[106] S. B. Wicker e V. K. Bhargava, Reed-Solomon Codes and Their Applications, Wiley-IEEE Press, 1999, pag. 336.

[107] The Editors of Encyclopaedia Britannica, «ASCII», *Britannica,* 16 May 2019.

[108] P. Sandonnini, «Macchine a controllo numerico computerizzato 4.0: cosa sono, come funzionano, quali vantaggi offrono», *Industry4business; Industria 4.0,* 3 Febbraio 2020.

[109] C. Dickey, *Demystifying "Track & Trace" vs "Real-Time Tracking" vs "Monitoring",* November 2017.

[110] S. Rao, *Denial of Service attacks and mitigation techniques: Real time implementation with detailed analysis,* SANS Technology Institute, 2011.

[111] Medium, «How Different Sectors are Using AI», 2018. Available: https://becominghuman.ai/how-different-sectors-are-using-ai-26470ba334ab.

[112] A. Teti, «Redigere un Service Level Agreement (SLA) per la fornitura di servizi IT», 2006. Available: https://www.zerounoweb.it/analytics/cognitive-computing/cosa-intelligenza-artificiale/.

[113] Available: http://lia.deis.unibo.it/Courses/FondA0809-AUT/materiale/P-02.3.pdf.

[114] «Private label». Available: https://www.glossariomarketing.it/significato/private-label/.

[115] «Cos'è l'HACCP: definizione e funzionalità», 2018. Available: https://www.unicusano.it/blog/didattica/master/cose-lhaccp/.

RINGRAZIAMENTI

Eccomi giunta alla fine di questo percorso ricco di emozioni e vorrei dedicare queste ultime pagine per ringraziare tutte le persone che hanno creduto in me e mi sono state sempre vicine, sia nei momenti gioiosi che in quelli difficili.

In primis vorrei ringraziare il mio **relatore**, il professor Maurizio Galetto, per la professionalità dimostrata e per avermi dato la possibilità di trattare un argomento che molto mi ha appassionato.

Ringrazio l'intera **Cluster Reply**, azienda nella quale ho svolto il tirocinio. L'entusiasmante esperienza vissuta, mi ha permesso di crescere non solo a livello professionale ma anche personale. La possibilità di affrontare tante tecnologie diverse e l'avere sempre al mio fianco persone capaci di valorizzarmi, mi ha permesso di appassionarmi ancora di più a questa realtà. Un'esperienza ricchissima di stimoli che mi ha fatto maturare e acquisire sicurezza. Le attività svolte all'interno dell'azienda, mi hanno permesso di realizzare al meglio questo lavoro di tesi e di accrescere ulteriormente la mia passione per l'innovazione. Nonostante non abbia avuto la fortuna di conoscere i miei colleghi fisicamente a causa della pandemia da Covid-19, mi sono ugualmente sentita accolta come in una famiglia. Grazie a tutti.
Un ringraziamento particolare vorrei fare al mio **manager**, Fabio Solazzo, per aver creduto in me fin dal primo giorno (te ne sono immensamente grata) e avermi dato la possibilità di mettermi in gioco coinvolgendomi su più fronti.
Ringrazio il **team** con il quale ho collaborato in questo progetto: Lorenzo Gioannini e, in particolare, Antonio Ballacchino per la professionalità e la disponibilità sempre avuta nei miei confronti. Mi avete trasmesso il vero senso del lavoro di squadra e l'importanza di far parte di un team vincente che permette non solo l'arricchimento delle proprie competenze, grazie alla condivisione dei punti di forza di ognuno di noi, ma consente anche di portare a termine maggiori risultati e contribuire attivamente al successo aziendale.
Infine, ma non per importanza, il ringraziamento più grande voglio farlo a **Silvia Mauro**, per avermi trasmesso la passione per questo lavoro. Ti ammiro moltissimo perché sei una persona davvero intelligente, perspicace, grintosa e che non si arrende mai. Ho imparato davvero moltissimo da te. Ti ringrazio non solo come collega, ma soprattutto come amica. Sei stata la prima persona a guidarmi in questa nuova esperienza e ti ringrazio per non avermi mai abbandonata, anche quando le nostre strade si sono divise. Per l'immensa disponibilità, gentilezza e professionalità, sei davvero stata per me un esempio e un punto di riferimento essenziale in questo periodo. Porterò sempre nel cuore tutti i preziosi consigli che mi hai donato. Ti sarò eternamente grata e riconoscente per tutto ciò che hai fatto per me, spero un giorno di poter ricambiare tutto il bene. Sono sicura arriverai molto in alto e, quel giorno, spero di poter ancora essere al tuo fianco. Sei una vera amica. Ci vediamo presto!

Il ringraziamento più grande va a tutta la mia **famiglia**, alla quale dedico questo lavoro di tesi.
A mia madre, il pilastro portante della mia vita e della nostra famiglia. Sei così importante per me, cara mamma, che mi manca il respiro se solo penso a tutto quello che hai dovuto affrontare. Ma ti ringrazio ancora di più, perché anche nei momenti più brutti della vita, sei riuscita ad avere la forza di lottare e di insegnarci che solo l'amore di una vera famiglia permette di superare ogni ostacolo. Mammina cara, non ho davvero parole per ringraziarti per tutto quello che ogni singolo giorno fai per

me; per il supporto che mi dai e per non avermi mai permesso, nemmeno un istante, di tenere il morale basso, soprattutto quando i sacrifici non erano ripagati nel modo giusto. Mi hai insegnato che quel che conta è il valore di noi stessi, ciò che facciamo per essere sempre migliori. Non esisterà mai il modo per ripagare il bene di una madre, quindi ti posso solo dire ogni giorno GRAZIE per tutto quello che fai per noi. Per me sei assolutamente perfetta e spero un giorno di diventare proprio come te.
A mio padre. Grazie per non avermi mai fatto mancare nulla, per avermi sempre sostenuta in questi anni universitari, per essere sempre stato presente e per aver anteposto il bene di noi figli prima di ogni altra cosa. Ti ringrazio per avermi insegnato che non sempre servono le parole, ma la cosa più importante sono i fatti. Per dimostrarmi ogni giorno silenziosamente quanto mi vuoi bene. E, silenziosamente, vorrei ringraziarti per essere un padre eccezionale.
Ai miei fratelli. Siete la cosa più preziosa che possa avere e ringrazio ogni giorno mamma e papà per avermi fatto questo dono. Da sempre siete stati il mio esempio. Vi ammiro per la vostra determinazione, forza e caparbietà nel raggiungere un obiettivo. Nonostante la lontananza, non vi ho mai veramente sentiti distanti. Come una volta scrissi sotto una nostra foto: "Abbiamo viaggiato nel bene e nel male, lontani nella stessa stanza e vicini più che mai a chilometri di distanza. La vita passa, ma poche cose restano pilastri fissi dell'esistenza". Mi avete sempre dato la forza di andare avanti a testa alta e di essere orgogliosa di me stessa. Mi avete insegnato che il sacrificio ricompensa sempre. Vorrei davvero dirvi tante cose, ma proverò ad essere breve e concisa.
A mio fratello Leandro che mi ha guidata nel cammino lontana da casa e che è sempre stato presente nella mia vita mettendomi al primo posto appena si presentava una difficoltà. Per avermi insegnato che nulla è impossibile se lo si desidera veramente. Sei sempre stato la mia fonte di ispirazione per poter dare il massimo come fai sempre tu.
A mio fratello Lorenzo va davvero il più grande grazie di tutti. Senza di te non ce l'avrei fatta. Anche tu costante fonte di ispirazione, grazie per avermi insegnato il rispetto, l'educazione e la gentilezza che solo tu sai avere. E, soprattutto, per essermi stato così vicino in quest'ultimo duro periodo e non avermi abbandonata nemmeno un istante. Grazie per l'attenzione avuta nei miei confronti, te ne sono immensamente riconoscente. La tua costante presenza è stata una benedizione e, per questo, dedico a te più di tutti questo mio lavoro di tesi.
A mia nonna Dalia. Grazie per essere stata sempre e costantemente presente nella mia vita, sei come una seconda mamma per me. Ti ringrazio per tutto l'amore che mi doni ogni giorno. Sei la mia prima sostenitrice e spero oggi di renderti orgogliosa di me. Ti voglio un bene dell'anima.
Vorrei ringraziare anche mia **nonna Eufemia**, anche se non più presente tra noi, sono sicura che saresti fiera del traguardo che oggi ho raggiunto.
A mia zia Ornella vorrei dire grazie per esserci sempre stata per la nostra famiglia, la prima a correre quando c'è stato davvero bisogno. Ti ringrazio infinitamente per l'attenzione che hai sempre riposto nei miei confronti. La scelta di averti come madrina non è stata per nulla casuale.
A mio zio Pino che mi ha sempre considerata come una figlia, ti ringrazio per le risate e l'affetto che doni a tutti noi.
A tutti i miei zii e i miei cugini, dico semplicemente grazie di far parte della mia vita. Ognuno di voi è un piccolo tassello di fondamentale importanza per me.
A Maria Teresa. Grazie per la tua presenza e la tua disponibilità nei momenti più importanti.

Un ringraziamento speciale a tutti i miei **amici**, vi cito con il nostro "nome d'arte": i "IGDLL". Per non esserci mai persi anche se le nostre strade con il tempo si sono divise, siamo sempre riusciti a

trovare il modo di non allontanarci davvero. Vi ringrazio per la vostra presenza e genuinità nel ritrovare la spontaneità di ritornare come ai vecchi tempi: a giocare, a scherzare e a ridere “a crepa pelle”. Per noi non è mai stato importante il luogo, ma basta essere tutti insieme per sentirci davvero felici.

Grazie a tutti gli **amici** di Molochio per essermi stati vicini in questi anni. Un particolare ringraziamento devo a Marco, per avermi sempre fornito preziosi consigli sulla carriera universitaria e professionale.
Grazie a Carmelo per avermi sempre supportata e sopportata.

Ringrazio tutti gli **amici e colleghi universitari** per aver reso Torino una città ancora più bella arricchendola con la vostra presenza. Non dimenticherò mai le giornate trascorse insieme a studiare e lavorare per consegnare i progetti nel miglior modo possibile. Siete riusciti ad attutire un po’ la mancanza di casa.

Infine, vorrei ringraziare **me stessa** per non aver mollato nemmeno un giorno, per essere sempre andata avanti e per aver capito cosa conta davvero.