UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Ingegneria Industriale DTG

Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali

Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale

Relazione per la prova finale

Dalle fabbriche tradizionali alle Gigafactory: evoluzione e confronto con il caso Tesla

Relatore: Prof.ssa Finco Serena

Giulio Dessì 2069600

Anno Accademico 2024/2025

Indice

1. **Introduzione** 1

2. **Capitolo 2 - Evoluzione dell'impianto industriale** 2
   - **2.1.** Nascita e sviluppo della fabbrica 2
   - **2.2.** Fordismo e Toyotismo 3
   - **2.3.** Industria 4.0 5

3. **Capitolo 3 - Caso Tesla: Analisi delle Gigafactories** 5
   - **3.1.** Cos'è una Gigafactory 5
   - **3.2.** Scelte di ubicazione 7
     - **3.2.1.** Stabilimento di produzione originale a Fremont e Gigafactory (1) – Nevada 7
     - **3.2.2.** Gigafactory (2) – Buffalo, New York 10
     - **3.2.3.** Gigafactory (3) – Shanghai, Cina 12
     - **3.2.4.** Gigafactory (4) – Berlino-Brandeburgo, Germania 13
     - **3.2.5.** Gigafactory (5) – Austin, Texas 14
   - **3.3.** Strategie gestionali 15
     - **3.3.1.** Layout – Caso Gigafactory (3) 16
     - **3.3.2.** Giga Press 17
     - **3.3.3.** Alto grado di automazione 19
     - **3.3.4.** Verticalizzazione interna 19
     - **3.3.5.** Diretto al consumatore 21
     - **3.3.6.** Sostenibilità 21

4. **Capitolo 4 - Confronto tra fabbriche tradizionali e Gigafactory Tesla** 22
   - **4.1.** Metodologia Fordista vs Tesla 22
   - **4.2.** Tesla vs. Toyota Production System 24
   - **4.3.** Conclusioni 25

Sitografia 29

Bibliografia 30

Indice Figure

Fig.1: schema stilizzato dei reparti e della loro collocazione all'interno della Gigafactory (3) a Shanghai 17

Fig.2: Schema di una Tesla Model 3 (a sinistra) e della scocca grezza della Model Y, a confronto tra l'assemblaggio tradizionale e quello gigacast. (Fonte: Tesla) 18

Fig.3: Prezzo in borsa delle azioni Tesla a seguito della cerimonia di insediamento del Presidente statunitense Donald Trump, 21/01/2025, Yahoo Finance (finance.yahoo.com/quote/TSLA) 28

Indice tabelle

Tab.1: riassunto scelte di ubicazione delle diverse Gigafactory 15

Abstract

Questa tesi si propone di analizzare lo sviluppo storico e tecnico delle Gigafactory, focalizzandosi sul modello adottato da Tesla. Dopo una panoramica sull'evoluzione degli impianti industriali, si analizzano le scelte di localizzazione, dimensionamento e layout applicate da Tesla nei suoi principali stabilimenti produttivi.

1. Introduzione

L'evoluzione dei modelli produttivi ha segnato profondamente la storia industriale, passando dalle prime fabbriche fino ai moderni sistemi caratterizzati dall'Industria 4.0.

Nel secondo capitolo verrà analizzato come l'evoluzione dei sistemi industriali sia stata segnata dalla variazione della domanda di mercato. Durante la prima rivoluzione vennero standardizzati molti beni di consumo che prima erano prodotti artigianalmente e quindi risultavano scarsi e molto costosi, rendendoli accessibili anche ai ceti meno abbienti della popolazione. Successivamente, la seconda rivoluzione industriale, con l'introduzione da parte di Henry Ford della catena di montaggio e quindi della produzione di massa, saturò il mercato con prodotti uniformi e identici (Ford Model T) e ciò spinse i consumatori a richiedere varietà e personalizzazione nel prodotto finito (più modelli, optional, varianti di prodotto). In questo contesto, intorno agli anni '70, emerse il Toyotismo che, fondato sui principi di flessibilità, just-in-time e riduzione degli sprechi, riuscì a seguire in modo più rapido la domanda e le esigenze del mercato.

Infine, a partire dal XXI secolo, la domanda è diventata ancora più frammentata e personalizzata: i consumatori hanno iniziato a richiedere prodotti su misura, sostenibili e innovativi, ma le nuove tecnologie digitali, l'automazione avanzata e l'analisi dei dati, elementi fondanti dell'industria 4.0, rendono tutto questo possibile. Inoltre il panorama industriale ha conosciuto un'ulteriore trasformazione con la nascita delle Gigafactory: impianti di dimensioni senza precedenti progettati per integrare automazione spinta, verticalizzazione produttiva e sostenibilità, come vedremo nel terzo capitolo.

Nel quarto e ultimo capitolo verrà svolto un confronto tra il modello delle Gigafactory di Tesla e i sistemi industriali tradizionali, mettendo in evidenza similitudini e differenze rispetto ai paradigmi storici come il Fordismo e il Toyotismo. Verranno anche sottolineate le difficoltà e gli ostacoli a cui la pioneristica Tesla va incontro soffermandosi su problemi di gestione del personale e dichiarazioni spesso non rispettate.

2. CAPITOLO 2 – Evoluzione dell'impianto industriale

2.1. Prima rivoluzione industriale

Con la terminologia "prima rivoluzione industriale" si definisce la prima tappa di un lungo processo (rivoluzione industriale) che ha portato l'uomo dal lavoro nei campi alle fabbriche dotate di macchinari avanzati fino alla nascita dell'industria 4.0.

La prima rivoluzione industriale ebbe luogo nell'Inghilterra tra il XVII e il XVIII secolo: grazie a nuove tecniche di coltivazione e rotazione delle culture, al miglioramento degli strumenti agricoli e alla privatizzazione delle terre (enclosures) che prima erano destinate allo sfruttamento comune, si andò incontro ad una crescita demografica dalla quale derivarono grandi disponibilità di manodopera e la necessità di maggiore quantità di beni di consumo.

Uno dei settori più in crescita era quello tessile, ancora basato sul lavoro a domicilio e l'esigenza di un incremento produttivo spinse alla sperimentazione di strumenti che rendessero più efficiente il lavoro: furono inventate nuove macchine filatrici, come la giannetta, e il telaio idraulico. Tuttavia l'invenzione più rilevante arrivò nel 1769: il motore a vapore permise di utilizzare quantità di energia molto maggiori rispetto al passato ed esso venne impiegato nelle miniere, nelle fonderie e nelle industrie tessili. Queste costituirono le prime fabbriche: grandi edifici basati sulla produzione attraverso i nuovi macchinari e una numerosa manodopera.

Anche gli Stati Uniti iniziarono un processo di industrializzazione già alla fine del XVIII secolo e in modo più deciso nel XIX secolo. I settori maggiormente coinvolti furono quello tessile, con la costruzione di filande meccanizzate ispirate ai modelli britannici e quello ferroviario, che divenne il simbolo della crescita industriale americana. Un aspetto caratterizzante fu l'abbondanza di risorse naturali (cotone, carbone, ferro) e la rapida espansione territoriale, che permisero agli Stati Uniti di adottare e ampliare le innovazioni inglesi.

2.2. Fordismo e Toyotismo

Tra la seconda metà dell'Ottocento e l'inizio del Novecento l'industria subì un secondo processo di sviluppo ed espansione definito "seconda rivoluzione industriale". Se le invenzioni del secolo precedente furono frutto dell'ingegno di abili artigiani, le innovazioni successive derivarono in larga parte dal lavoro degli scienziati. Il motore a combustione interna consentì lo sviluppo della produzione automobilistica, vennero scoperte nuove fonti di energia come il petrolio e l'elettricità, crebbe anche l'industria chimica e vennero creati i primi strumenti telecomunicativi.

Le fabbriche conobbero una nuova filosofia organizzativa: Frederick Taylor capì che un sistema basato sulla divisione del lavoro sarebbe stato più efficiente e questo concetto venne successivamente sfruttato al massimo da Henry Ford che introdusse la "catena di montaggio".

Il Taylorismo prevedeva la separazione tra i lavori "intellettuali" e i lavori "manuali": i primi erano affidati ai dirigenti e consistevano nel trovare il modo più efficiente per svolgere una determinata mansione, i secondi erano assegnati agli operai in base alle proprie capacità. Il Taylorismo prevedeva la scomposizione del lavoro in compiti elementari e ripetitivi e di conseguenza introdusse la standardizzazione: la definizione del modo più efficiente per svolgere una determinata mansione. Con il Taylorismo, per la prima volta, venne applicato il metodo scientifico nel mondo della produzione: misurazione dei tempi e confronto delle diverse alternative per trovare la soluzione migliore ed economicamente conveniente.

Il Fordismo fu l'evoluzione estrema del Taylorismo e gli operai iniziarono ad essere completamente alienati nelle proprie mansioni: la catena di montaggio, sperimentata per la prima volta nell'azienda automobilistica Ford Motors Company nel 1913, introdusse il nastro trasportatore con l'obiettivo che tutti gli operai fossero allineati nella produzione; le loro attività erano frammentate e specifiche e venne spazzato via il concetto di gruppo. La catena di montaggio Ford gettò le basi per la produzione di massa, che ha alimentato la crescita dell'industria automobilistica e creato milioni di posti di lavoro.

Le condizioni degli operai erano molto difficili, ma rispetto alla prima rivoluzione industriale erano stati fatti alcuni progressi e molti paesi avevano emanato leggi per la tutela del lavoro; inoltre nacquero forti movimenti operai che si battevano per un aumento del salario e una diminuzione dell'orario di lavoro.

La seconda metà del XX secolo, grazie alla crescita, sviluppo e accumulo delle conoscenze scientifiche e tecnologiche, condizioni politiche assai più stabili e scoperta di nuove fonti di energia (energia atomica) fu segnata dalla terza rivoluzione industriale, chiamata anche rivoluzione digitale. Molti settori conobbero una rapida evoluzione grazie all'accelerazione nell'innovazione tecnologica: lo sviluppo dell'informatica, elettronica, telematica, insieme allo studio delle telecomunicazioni e alla multimedialità avviarono un nuovo sistema di produzione e diedero inizio al processo di globalizzazione dei mercati.

Dagli inizi degli anni '70 prese ad affermarsi, prima negli Stati Uniti, per poi diffondersi anche nel resto del mondo, un nuovo modello di fabbrica chiamato "postfordista" come conseguenza alla rigidità di quello fordista. Nacquero moltissime aziende di dimensioni ridotte che includevano dai laboratori familiari ai piccoli stabilimenti ad alta tecnologia e i grandi stabilimenti che sopravvissero cambiarono radicalmente i propri assetti interni.

Il Toyotismo, sviluppato presso la Toyota Motor Corporation tra gli anni '50 e '70 da Taiichi Ohno, diventa il modello simbolo della produzione snella (*Lean Manufacturing*) che si afferma a livello globale proprio in epoca post-fordista grazie all'introduzione di grandi novità:

- *job enrichment* (arricchimento) e *job enlargment* (allargamento) consegnarono ai lavoratori maggiore responsabilità verso il prodotto finito attraverso incarichi e mansioni sempre più ampie, e ciò si tradusse nella riduzione della manodopera
- cooperazione tra operai e direzione aziendale, quest'ultima non doveva più essere percepita come antagonista
- riduzione delle scorte: materie prime e semilavorati vengono consegnati e utilizzati esattamente nel momento in cui servono (*Just-in-Time*)
- varietà di prodotto per poter reagire repentinamente alle variazioni del mercato
- qualità totale e miglioramento continuo (*Kaizen*)

2.3. Industria 4.0

La quarta e ultima (per ora) rivoluzione industriale è rappresentata dall'industria 4.0, cioè l'industria focalizzata sulla digitalizzazione e l'automatizzazione dei processi produttivi. Il termine venne usato per la prima volta ad Hannover nel 2011 quando Henning Kagermann preannunciò lo "*Zukunftsprojekt Industrie 4.0*" ("progetto per il futuro industria 4.0").

I dati sono al centro di tutto: essi vengono raccolti in tempo reale, analizzati e utilizzati per ottimizzare ogni aspetto della produzione attraverso il cloud computing che permette di archiviarne e processarne enormi quantità. Macchinari, dispositivi e piattaforme sono interconnessi e comunicano tra loro attraverso l'IoT (*Internet of Things*) e la robotica avanzata e l'automazione permettono di aumentare la produzione mantenendo standard qualitativi elevati. L'industria 4.0 si fonda su sistemi ciberfisici (CPS), cioè sistemi fisici strettamente interconnessi con sistemi informatici che stanno alla base della decentralizzazione e della collaborazione tra i sistemi.

Tutte queste caratteristiche sono riassunte in:

- *Smart Production* (Produzione intelligente)
- *Smart Service* (Servizi intelligenti)
- *Smart Energy* (Energia intelligente)

e insieme creano un nuovo concetto di fabbrica: la *Smart Factory* (Fabbrica intelligente).

3. Capitolo 3 – Caso Tesla: analisi delle Gigafactories

3.1. Cos'è una Gigafactory

Nel capitolo precedente abbiamo esplorato il concetto di Industria 4.0 caratterizzata da digitalizzazione, automazione avanzata, integrazione verticale e Smart Factory. Questo nuovo

paradigma ha posto le basi per un approccio impiantistico radicalmente diverso, che diventa evidente con l'adozione del modello delle Gigafactory.

Tuttavia, è importante sottolineare che, anche se il termine "Gigafactory" è stato coniato da Elon Musk (co-fondatore di Tesla) nel 2013 e identificava fin dall'origine un impianto su scala gigantesca basato su integrazione e automazione tecnologica, fabbriche di batterie di dimensioni comparabili esistevano già in Asia, soprattutto in Cina. Queste strutture, con una capacità produttiva misurabile in decine di Giga watt-ora (GWh) all'anno, sono nate ben prima della prima Gigafactory. Ad esempio, già dal 2018 l'azienda BYD annunciava impianti da 24 GWh/anno, fatti al solo scopo di assicurarsi il controllo sulla supply chain batteria. CATL, altro colosso cinese, ha sviluppato strutture simili nella città di Ningde, mirando a raggiungere capacità fino a 88 GWh/anno.

Questa produzione su larga scala era favorita non solo dalla rapida industrializzazione, ma anche da politiche governative incisive che includevano sussidi massicci, "whitelist" per favorire produttori nazionali e incentivi per la localizzazione. In questo contesto, Tesla ha preso ispirazione, ridefinendo il concetto con un modello più integrato, dotato di una forte identità energetica green, portandolo a livello globale.

Nel 2013, Elon Musk coniò il termine "Gigafactory" quando parlò agli investitori del tipo di enorme fabbrica di batterie necessaria per soddisfare la domanda di produzione di veicoli elettrici (EV). Spiegò che una Gigafactory avrebbe prodotto pacchi batteria con una capacità di accumulo di energia collettiva pari a miliardi (da cui "giga") di wattora (GWh) all'anno.

Mentre inizialmente le Gigafactory producevano batterie agli ioni di litio per alimentare i veicoli elettrici**,** con l'accelerazione del mercato di questi ultimi, il termine Gigafactory si è esteso oltre la produzione di batterie. Ora è possibile che ogni fase della produzione di un veicolo elettrico possa essere svolta all'interno di un'unica struttura: le Gigafactory possono produrre batterie, componenti elettronici e il veicolo stesso. Oggi ci sono 5 Gigafactory Tesla in 3 continenti. La fabbrica originale si trova a Fremont, in California, costruita prima che Musk coniasse il termine Gigafactory e ci sono Gigafactory Tesla in Nevada, New York, Shanghai, Texas e Berlino, inoltre in

Messico inizieranno i lavori nel 2026 per costruire vicino a Monterrey un'altra Gigafactory, con un investimento complessivo di Tesla da 15 miliardi.

La GigaFactory 1 di Tesla, nota anche come Giga Nevada, si estende su una superficie di circa 500 mila metri quadrati. È uno degli impianti con il volume di produzione più elevato per motori elettrici, sistemi di accumulo di energia, sistemi di propulsione per veicoli e batterie, con una produzione di miliardi di celle all'anno (una cella di batteria include centinaia di singole batterie agli ioni di litio). Giga Nevada impiega circa 11.000 persone.

Giga Texas si estende per circa 15 isolati e ha una superficie di oltre 940.000 metri quadrati (circa 100 campi da football), il che lo rende il secondo edificio più grande al mondo per volume. Qui vengono prodotti milioni di componenti per l'energia elettrica, tra cui batterie agli ioni di litio, celle per batterie, power wall (sistemi di accumulo di energia domestica fissi e ricaricabili) e accumulatori. Giga Shanghai si estende su 930.000 metri quadrati.

3.2. Scelte di ubicazione

3.2.1. Stabilimento di produzione originale a Fremont e Gigafactory (1) – Nevada

Il sito di produzione originale a Fremont, in California è stato riciclato da una fabbrica di assemblaggio automobilistico, sede dell'ex joint venture GM-Toyota. Lo stabilimento New United Motor Manufacturing Inc. (NUMMI) aprì su un vecchio sito GM di 370 acri nel 1984. Nel 2010 Tesla acquistò il sito, che GM aveva messo all'asta al momento dello scioglimento della partnership NUMMI, sempre nel 2010. Ciò portò inizialmente a una partnership con Toyota per collaborare allo sviluppo di veicoli elettrici, componenti, un sistema di produzione e supporto ingegneristico. Ma la partnership si era già esaurita nel 2014, in parte a causa del conflitto culturale tra l'ingegneria conservativa e incentrata sulla sicurezza di Toyota e l'approccio rischioso tipico della Silicon Valley.

Lo stabilimento di Fremont disponeva di una buona infrastruttura di mobilità e il suo utilizzo è aumentato notevolmente. Non da ultimo, la Union Pacific Railroad (UPR) aveva costruito binari direttamente fino al vecchio stabilimento di Fremont per il trasporto di vagoni finiti. Successivamente, il trasporto merci su rotaia ha iniziato a essere utilizzato anche per ricevere

batterie e gruppi propulsori del Modello 3 dalla Gigafactory di Tesla (1) a Sparks, vicino a Reno, al confine con il Nevada, entrata in produzione nel 2016. Anche questa era una joint venture con il produttore giapponese di batterie Panasonic. Oltre alla ferrovia, le Interstate Route 50 e 80 parallele est-ovest degli Stati Uniti sono state collegate a Reno, dopo che sono stati avanzati piani statali locali per rispondere all'iniziativa della Gigafactory Tesla-Panasonic. Per alcune materie prime delle batterie, Tesla collabora con la società mineraria Albemarle, con sede nelle saline a 200 miglia a sud di Sparks, altri contenuti di ioni di litio vengono importati dalla Cina e dall'Australia tramite il porto di Oakland. L'elettricità è alimentata da turbine eoliche e da 200.000 pannelli solari da tetto di una gigafactory, che insieme generano 300 MW.

Nel 2013 lo Stato della California ha annunciato che avrebbe concesso a Tesla un'agevolazione fiscale di 34,7 milioni di dollari per espandere la produzione di circa 35.000 veicoli all'anno dal suo stabilimento di Fremont. Entro il 2020, Tesla ha anche avuto la fortuna di migliorare la mobilità della forza lavoro dalla Greater San Francisco grazie all'estensione del sistema metropolitano Bay Area Rapid Transit (BART). Altre caratteristiche degne di nota dell'impegno di Tesla nell'organizzazione della produzione domiciliare su siti industriali riciclati includono il modo in cui l'azienda ha invertito in una certa misura il flusso di componenti da fornitori globali, attraendo reti di fornitori locali e interni, tra cui circa cinquanta in California. La produzione di veicoli elettrici a Fremont ha raggiunto i 360.000 veicoli all'anno nel 2018. Tuttavia, Tesla prevedeva di produrre fino a 500.000 veicoli in quel momento, cercando di raggiungere tale scala con un livello di integrazione verticale più elevato. Per quanto riguarda la "delusione" relativa alla pianificazione della mobilità infrastrutturale, il proprietario Elon Musk ha descritto la distribuzione dei clienti dai magazzini Tesla come ampiamente subottimale, avendo criticato le aziende di software ERP proprietarie SAP e Oracle, portando al loro licenziamento e al ricorso alla progettazione di sistemi logistici interni.

Nel 2015, poiché lo spazio disponibile presso il sito NUMMI era diventato insufficiente, il parco fornitori è stato trasferito a 80 chilometri a est di Fremont, lungo la UPR, in un ex stabilimento Daimler Chrysler di 46.000 metri quadrati a Lathrop, oltre ad aver affittato 1,2 milioni di metri quadrati di magazzino nella vicina Livermore. A Lathrop, Tesla ha prima costruito una fabbrica di fusione e poi ha affittato spazi per la produzione interna di componenti, oltre a quelli per i fornitori esistenti e in fase di trasferimento. Parte del sito è occupata anche da un "hub di carico" composto

da tre magazzini che ospita le auto per la consegna ai clienti. Per le forniture in piccoli lotti come staffe LIB, gruppi porta e pressofusioni, le spedizioni arrivano al Centro Logistico Tesla di Lathrop da Shanghai, Cina, tramite container attraverso il porto di Oakland, sempre tramite UPR. Un altro centro di distribuzione di ricambi e inventario di 81.000 metri quadrati è stato inaugurato nel sito di Lathrop nel 2020. L'altro satellite nordamericano di Tesla si trova nell'agglomerato Detroit-Windsor, anch'esso collegato alla linea ferroviaria UPR.

Infine, possiamo passare alla configurazione della logistica interna automatizzata per l'assemblaggio presso lo stabilimento Tesla di Fremont. Entro il 2013, Tesla aveva adottato la decisione di internalizzare, fino ad allora tipicamente esternalizzata a fornitori come SAP (Tesla ha sostituito SAP Enterprise Resource Planning (ERP) nel 2015) o Oracle, sviluppando internamente un sistema ERP su misura per essere più agile, anziché conformarsi al tradizionale metodo "acquista e configura". Questa strategia progettuale è nata in seguito a una guerra decennale tra i suddetti giganti fornitori di ERP. Ad esempio, la strategia di Oracle si basa su uno stack infrastrutturale dal silicio allo schermo che consente un futuro basato sul cloud per le aziende. Il suo obiettivo è vincere la corsa al "mega-cloud" e sfruttarlo per catene di fornitura più veloci, pulite, economiche e più vicine al cliente. In risposta agli avvertimenti dei consulenti sul tentativo di scalare un sistema ERP interno e leggero, Elon Musk ha delegato la responsabilità al suo ex CIO, che aveva ritenuto che il sistema ERP interno sarebbe stato scalabile in modo efficace. La strategia di Tesla prevedeva un massiccio ampliamento della produzione, basata su Microsoft Azure Cloud e sul linguaggio Scala, fondato su "Ruby on Rails". Le offerte di SAP e Oracle non erano "applicazioni cloud-native" e mentre SAP o Oracle avrebbero richiesto almeno un anno, la soluzione interna avrebbe richiesto quattro mesi. Per quanto riguarda l'ergonomia dei lavoratori, la posizione sulle linee dei pendolari di Fremont e Lathrop e il coinvolgimento nei progetti di edilizia residenziale per Warm Springs sono stati accorti, mentre, internamente, i controlli di sicurezza e delle attrezzature sono ora obbligatori, con sedie ergonomiche installate per l'assemblaggio in base al feedback dei dipendenti.

Tesla utilizza soluzioni di apprendimento automatico basate sull'intelligenza artificiale nel complesso processo di produzione automobilistica e l'infrastruttura di produzione della Model 3 ora comprende auto in grado di autodiagnosticare problemi interni e ordinare parti di ricambio, collegando le catene di fornitura.

3.2.2. Gigafactory (2) – Buffalo, New York

Se l'acciaieria Bethlehem di Lackawanna, Buffalo (New York), era la quarta più grande al mondo prima della sua chiusura nel 1983, l'acciaieria Republic di Buffalo era solo la terza più grande negli Stati Uniti. Tuttavia, il suo sito industriale dismesso, a RiverBend, abbandonato nel 1982 in seguito all'acquisizione e al trasferimento dell'azienda a Monterrey, in Messico, fu trasformato grazie al "Buffalo Billion" dello Stato di New York. Si trattava di aiuti per la "riconversione della Rust Belt" destinati allo sviluppo di un centro di incubazione di imprese per l'energia pulita, finanziati con 225 milioni di dollari del "Buffalo Billion". Ciò ha spinto l'azienda di pannelli solari Silevo a stabilirsi lì nel 2013 e l'anno successivo SolarCity di Tesla ha acquisito Silevo per 200 milioni di dollari e ha proposto di ampliare il sito a proporzioni massicce. Su questa base, lo Stato di New York ha acquistato il terreno, che è stato infine affittato da Tesla, in partnership con Panasonic, per la sua SolarCity Gigafactory (2), inaugurata nel 2017. I nuovi piani di Tesla prevedevano l'abbandono del progetto di centro di incubazione aziendale per l'energia pulita a favore della costruzione di una fabbrica di 1,2 milioni di piedi quadrati. Tuttavia, la tecnologia di produzione di Silevo è stata incorporata nei prodotti SolarCity, riducendo l'onere del debito di Tesla derivante dall'esternalizzazione dell'innovazione.

L'ex stabilimento di SolarCity era da sempre destinato alla produzione di tegole solari Tesla anziché di batterie per auto, ma in volumi relativamente bassi. Si prevedeva un aumento sostanziale della produzione, fino a 1000 sistemi di copertura a settimana entro la fine del 2019. Le tegole Tesla sono realizzate in vetro testurizzato con celle solari nascoste all'interno. La finitura crea un'illusione ottica, che consiste nel mimetizzare le celle fotovoltaiche sotto tegole trasparenti. Tuttavia, a livello del suolo, queste devono essere opache senza che la finitura interferisca con le prestazioni del pacco celle. Gli obiettivi aziendali della Gigafactory (2) erano di reinventare sia il settore delle coperture che quello dell'energia solare, combinandoli. Questo obiettivo doveva essere raggiunto con una tegola solare che potesse essere installata più rapidamente e in modo più duraturo di un tetto tradizionale, generando al contempo energia solare redditizia.

Tesla, che ha acquisito SolarCity per 2,6 miliardi di dollari nel 2016, avrebbe dovuto gestire più linee di produzione entro il 2019, eppure ne è stata installata solo una, che all'epoca non era completamente automatizzata. Un problema chiave per il processo produttivo di Tesla era il processo "solar-sandwich". Le tegole scorrono su un nastro trasportatore verso un gigantesco laminatore, dove le celle vengono riscaldate e aspirate insieme in un unico modulo, un "sandwich solare". Il laminatore richiede tempi, riscaldamento e pressione del vuoto precisi per "fondere" le tegole unite. Se il processo è anche leggermente calibrato male, possono formarsi bolle, rendendo la tegola meno affidabile. Di conseguenza, Tesla ha dovuto affrontare bassi tassi di rendimento, che a volte hanno portato all'eliminazione del 70% della produzione. Camion carichi di rifiuti sono stati inviati a un impianto di riciclaggio finché l'azienda non ha esaminato almeno 74 ricette prima di scoprire la corretta disposizione dei pannelli e, alla fine del 2018, i tassi di rendimento erano saliti al 90%. Ciononostante, i critici hanno suggerito che Tesla si stesse impegnando relativamente poco per rispettare i suoi impegni di investimento con lo Stato. L'azienda, ad esempio, non si rifornisce di vetro per il tetto solare dalla vicina Corning Inc. e continua a importare vetro solare dall'Asia.

Pertanto, si ritiene che la Gigafactory di Tesla (2) abbia ottenuto risultati inferiori alle aspettative. È fortemente in ritardo nei suoi piani per raggiungere un utilizzo efficiente della capacità e mantiene la sua costosa e limitata efficacia distributiva a causa della produzione difettosa del suo partner giapponese Panasonic. Dal punto di vista geografico, il sito di RiverBend è collegato alla rete ferroviaria Amtrak per la costa occidentale e all'autostrada interstatale I-90 per New York, Chicago e Seattle. Le aspettative di investitori, clienti e comunità di un ragionevole ritorno sull'investimento statale in termini di posti di lavoro, rendimenti derivanti dalle spese fiscali, impatto ambientale delle fabbriche di energia verde ed effetti moltiplicatori locali sono tutte più o meno soggette a gradi di delusione. La Gigafactory è alimentata da energia idroelettrica fin dai tempi in cui era un'acciaieria. Per quanto riguarda i diritti dei lavoratori, sei ex dipendenti afroamericani e ispanici dello stabilimento Tesla di Buffalo hanno riferito nel 2019 di aver subito discriminazioni nelle promozioni a colleghi bianchi meno qualificati, di aver spesso sentito commenti razzisti in fabbrica e di essere stati tra i 57 lavoratori licenziati, l'80% dei quali apparteneva a minoranze. Hanno presentato denunce ufficiali per discriminazione alla Commissione per le pari opportunità di lavoro degli Stati Uniti e alla Divisione per i diritti umani di New York. Infine, le sottigliezze della "gestione

predittiva" sembrano non essere state pronunciate, dato il limitato utilizzo dell'automazione avanzata e le sostanziali eccedenze di tecnologia di produzione rimaste in casse non aperte sul pavimento della Gigafactory (2).

3.2.3. Gigafactory (3) – Shanghai, Cina

Nonostante le difficoltà della Gigafactory di Buffalo (2), erano già in fase di preparazione i piani per la Gigafactory (3) a Pudong, Shanghai, Cina. Pudong è la Nuova Area di Shanghai, o "città intelligente", sulla riva orientale del fiume Huangpu. Con il termine “città intelligente” (*smart city*) si intende un modello urbano che integra tecnologie digitali, infrastrutture avanzate e sostenibilità per migliorare la qualità della vita dei cittadini, aumentare l’efficienza dei servizi e ridurre l’impatto ambientale. Il Parco Hi-Tech di Zhangjiang, fondato nel 1992, ospita dodici Istituti Nazionali che coprono la maggior parte dei settori dell'"Industria 4.0". È costituito dalla Zona di Innovazione Tecnica, dalla Zona dell'Industria Hi-Tech, dalla Zona di Ricerca Scientifica e Istruzione e dalla Zona Residenziale. Contiene anche 400 centri di ricerca e sviluppo. L'aeroporto internazionale di Shanghai Pudong si trova nelle vicinanze, così come la stazione del treno proiettile che lo collega. Un servizio ferroviario MagLev collega il centro di Shanghai. La Gigafactory Tesla (3) produce celle per batterie insieme alle auto Tesla Model 3 e Tesla Model Y (SUV), con un obiettivo di produzione iniziale di 250.000 veicoli elettrici all'anno. Le prime auto Tesla costruite in Cina sono state consegnate a dicembre 2019, dodici mesi dopo l'inizio della costruzione, avvenuta nel dicembre 2018. Lo stabilimento ha iniziato la produzione delle Tesla Model 3 nell'ottobre 2019. Mentre la produzione di prova sulla linea di assemblaggio generale continua, alla fine del 2019 erano in costruzione ulteriori impianti di produzione per la fornitura di motori, sedili e gruppi propulsori.

Una volta completata, la produzione impiega circa 300 diversi tipi di robot per varie attività di assemblaggio, tra cui la saldatura laser stretta e profonda attivata da robot 3D. Questo processo è facilitato dall'automazione robotica, non genera raggi X dannosi e si traduce in saldature di qualità superiore. Sono previsti altri due grandi edifici per il sito con l'aumento della capacità produttiva.

La velocità di assemblaggio, costruzione della Gigafactory e allestimento della linea di assemblaggio è stata esemplare. Poiché ciò ha ridotto la velocità di implementazione alla metà di quella della

Gigafactory (1), si sono ottenuti risultati positivi grazie alla pianificazione dello "stato autoritario". Ciò ha enormemente agevolato l'assemblaggio e ingenti investimenti e prestiti governativi e bancari, con costi del lavoro pari a un decimo delle tariffe californiane. Pertanto, la direzione è stata sollevata da gran parte del normale onere dei costi di investimenti così ingenti altrove.

3.2.4. Gigafactory (4) – Berlino-Brandeburgo, Germania

Dal punto di vista infrastrutturale, in aggiunta ai precedenti riferimenti al sito della Gigafactory (4) di Tesla vicino a Berlino, l'accesso multimodale al "campus" proposto, 32 chilometri a sud-est del centro di Berlino, si trova sulla linea ferroviaria principale per Breslavia, in Polonia, e dispone di una propria stazione ferroviaria e di un'uscita per l'autostrada principale.

Una stazione ferroviaria in loco garantisce all'azienda un facile trasporto di dipendenti, merci e materiali, e l'accesso all'autostrada permette facili consegne di veicoli. Inoltre, i lavoratori delle città vicine constatano che l'accesso ferroviario facilita la connettività. L'apprendimento manageriale dalla pianificazione infrastrutturale relativamente "verde" della connettività e dell'accessibilità di Fremont per lavoratori e merci è evidente. Il CEO di Tesla, Elon Musk, nel novembre 2019 ha annunciato che Tesla avrebbe costruito circa 500.000 unità di veicoli elettrici nello stabilimento europeo di 741 acri, con particolare attenzione al crossover (SUV) Model Y e al Model 3. Ha inoltre annunciato che Tesla prevedeva di investire 4,41 miliardi di dollari nello stabilimento e che inizialmente sarebbero stati necessari 3.000 posti di lavoro, che sarebbero poi aumentati a 8.000.

La configurazione Gigafactory del sistema produttivo presso l'edificio principale di Grünheide include una stazione di assemblaggio di batterie e gruppi propulsori, un impianto di assemblaggio dei sedili e una stazione di assemblaggio, affiancata a un reparto verniciatura. Oltre a ciò, è stato specificato un magazzino a scaffalature verticali. Nelle vicinanze, è stata specificata la presenza di alloggi per le attività di lavorazione della scocca e si è dimostrata necessaria un'area di stampaggio e fonderia per la plastica.

Infine, sono state specificate altre due strutture esterne ma in loco: una pista di prova e un'area di distribuzione (consegna e ritiro). Le condizioni contestuali di questi impianti simili, in regimi completamente diversi, li rendono di notevole importanza per la ricerca. I controlli tedeschi sulla

sostenibilità e sulle energie rinnovabili sono più severi di quelli cinesi, sebbene non siano trascurabili, anzi, applicati in modo meno rigido, come negli Stati Uniti. Infine, le competenze della forza lavoro tedesca e la profonda esperienza nella produzione e nella progettazione di alta qualità sono un punto di riferimento per le comunità di progettazione e ingegneria automobilistica a livello mondiale. Tuttavia, sono piuttosto vincolati a un paradigma petrolifero, il che significa che produttori diversificati di qualità come BMW e Daimler Benz sono stati criticati per la loro lentezza nei confronti dei veicoli elettrici e solo di recente hanno commissionato o sollecitato, ad esempio, impianti di produzione di batterie nella loro sede centrale.

3.2.5. Gigafactory (5) – Austin, Texas

Tesla ha iniziato a prendere in considerazione sedi in otto stati degli Stati Uniti centrali durante il 2019-2020. Gruppi comunitari e funzionari governativi in diverse aree degli Stati Uniti hanno espresso interesse nell'ospitare quella che si prevedeva sarebbe stata una struttura di produzione Tesla Gigafactory molto grande. Alcuni hanno espresso interesse nel facilitare l'approvvigionamento di terreni, superare gli ostacoli normativi e considerare potenziali incentivi fiscali. Alcuni miravano a raggiungere Elon Musk direttamente attraverso il marketing sui social media.

A maggio 2020, Tesla aveva avviato un processo di selezione. La rosa dei candidati includeva Austin, Nashville e Tulsa (Oklahoma). Nel luglio 2020, Tesla ha scelto Austin come sito per la fabbrica. La scelta di localizzare la Gigafactory 5 nei pressi di Austin non è stata casuale, ma legata a una serie di fattori strategici. L’area offre spazi molto ampi (oltre 2.500 acri) lungo il fiume Colorado, che garantiscono la possibilità di future espansioni produttive. A questo si aggiunge il contesto politico ed economico favorevole del Texas, caratterizzato da normative meno rigide, incentivi fiscali e un costo del lavoro relativamente competitivo rispetto agli altri stati americani. La vicinanza con Austin, città in forte crescita e hub tecnologico, ha inoltre favorito la disponibilità di forza lavoro qualificata e un ecosistema innovativo.

Dal punto di vista della logistica, la localizzazione è strategica perché prossima a importanti poli di trasporto come l’Austin-Bergstrom International Airport, situato a circa 15 km dalla fabbrica, che

facilita i collegamenti aerei sia passeggeri sia cargo e l'Interstate 35 (I-35), uno dei principali corridoi nord-sud degli Stati Uniti, che collega il Messico al Canada e attraversa città come Dallas, San Antonio e Kansas City. Infine l'Union Pacific Railroad, con linee merci che attraversano l'area di Austin, consentono il trasporto ferroviario dei materiali pesanti e dei veicoli prodotti.

Entro la fine di luglio 2020, la costruzione era iniziata. La Tesla Gigafactory ha ricevuto incentivi fiscali statali per un valore di circa 50 milioni di dollari attraverso il programma Texas Tax Code Chapter 313. La prima Tesla Model Y è uscita dalla catena di montaggio di Giga Texas nell'ultima settimana di agosto 2021 per la produzione di prova.

All'inizio del 2022, i fornitori di batterie CATL e Panasonic hanno cercato siti per fabbriche di batterie in Nord America, tra cui Kansas, Oklahoma, Messico e Canada. Panasonic ha annunciato nel luglio 2022 di aver selezionato De Soto, Kansas (presso l'ex stabilimento di munizioni dell'esercito Sunflower) per costruire una fabbrica di batterie.

Gigafactory	Scelte di localizzazione
Fremont & Nevada (GF1)	Ex stabilimento NUMMI. Buona mobilità (ferrovia, autostrade), porto di Oakland, incentivi fiscali.
New York, Buffalo (GF2)	Riconversione acciaieria. Incentivi Buffalo Billion, energia idroelettrica, accesso I-90 e ferrovia.
Shanghai, Cina (GF3)	Area hi-tech Pudong. Vicinanza aeroporto e treno MagLev. Forte supporto statale, costi ridotti.
Berlino, Germania (GF4)	Grünheide, vicino Berlino. Stazione ferroviaria, autostrada, mercato UE, forza lavoro qualificata.
Austin, Texas (GF5)	Ampio spazio (2.500 acri). Incentivi fiscali, vicino a aeroporto, I-35 e Union Pacific Railroad.

Tab.1: riassunto scelte di ubicazione delle diverse Gigafactory

3.3 – Strategie gestionali

Uno degli aspetti centrali nella gestione delle Gigafactory di Tesla riguarda l'assegnazione efficiente delle risorse, sia umane che tecnologiche, al fine di supportare un modello produttivo fortemente automatizzato e a elevata scala. In particolare, la strategia di Tesla ha previsto fin da subito una forte integrazione verticale e una distribuzione delle attività basata sul bilanciamento tra automazione e manodopera qualificata. Nel caso della Gigafactory (3) di Shanghai, ad esempio, si stima che circa il 95% dei processi sia automatizzato, con robot e sistemi di movimentazione che sostituiscono gran parte delle operazioni manuali ripetitive, lasciando agli operatori compiti di supervisione, manutenzione e controllo qualità. Parallelamente, l'azienda ha sviluppato un ERP

proprietario per ottimizzare l'allocazione delle risorse e coordinare flussi di materiali e componenti lungo le diverse sezioni produttive riducendo al minimo i tempi di attesa e gli sprechi. Nel caso della Gigafactory (1) in Nevada, l'assegnazione delle risorse è stata influenzata dalla necessità di integrare più fasi del ciclo produttivo – dalla produzione delle celle fino all'assemblaggio dei pacchi batteria – all'interno di un unico impianto, rendendo necessario un layout che supportasse un flusso lineare dei materiali e un'elevata capacità di riconfigurazione. Questa impostazione consente a Tesla di ridurre i costi, massimizzare l'utilizzo degli impianti e mantenere un elevato grado di flessibilità, aspetto fondamentale in un settore caratterizzato da domanda variabile e innovazione continua.

3.3.1. Layout – Caso Gigafactory (3)

Andiamo ad analizzare la disposizione dei reparti nella Gigafactory (3) a Shanghai in Cina. L'immagine è stata creata sulla base dei cartelli visibili sulle banchine di carico e i cancelli d'ingresso della gigafactory nel video con drone di Jason Yang. Ogni cartello include: un numero sequenziale, se si tratta di una banchina o di un cancello e il tipo di processo produttivo di quel settore. Ad esempio "10 GA Dock" è la decima banchina di carico per l'Assemblaggio Generale. Guardando i cartelli nei video possiamo vedere dove avviene ogni processo produttivo:

- "GA" (Assemblaggio Generale) - lato ovest
- "PT" (Verniciatura) - estremità nord
- "BIW"(Body In White - scocca grezza) - lato est
- "ST" (Stampaggio) - estremità sud

Il nuovo edificio di Fase 2 all'estremo sud sarà destinato alla produzione di batterie. Inoltre dovrebbe esserci spazio sufficiente sulla proprietà affinché Tesla possa eventualmente realizzare una copia speculare dell'edificio principale a est dell'edificio esistente.

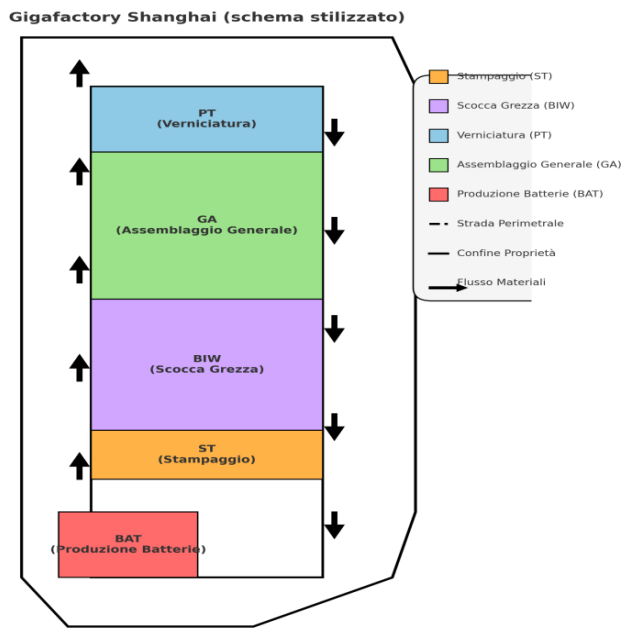

Fig.1: schema stilizzato dei reparti e della loro collocazione all'interno della Gigafactory (3) a Shanghai.

3.3.2. Giga Press

Tesla ha rivoluzionato non solo il veicolo elettrico, ma anche il modo in cui viene costruito e il layout delle Gigafactory è progettato per massimizzare l'efficienza e la verticalizzazione.

L'innovazione più significativa nel layout è l'introduzione delle "Giga Press", enormi macchine di pressofusione (prodotte dall'italiana Idra Group a partire dal 2019). La tecnica di pressofusione è da sempre stata utilizzata nell'industria automotive per produrre piccole parti e componentistica, ma l'idea rivoluzionaria dietro la prima Giga Press è quella di utilizzarla per stampare direttamente la scocca delle vetture. Il processo consiste nell'iniettare una lega metallica fusa ad altissima pressione all'interno di due stampi, che devono essere tenuti assieme da una pressione altrettanto elevata. Se eseguita correttamente, la gigacasting può ridurre i costi di produzione unitari eliminando la saldatura di decine di componenti della carrozzeria.

Queste macchine permettono di produrre grandi sezioni della scocca del veicolo (come l'intera parte posteriore) in un unico pezzo, sostituendo un assemblaggio che prima richiedeva circa 70 parti diverse. La crescente adozione di moduli e componenti strutturali in gigacasting di alluminio è dovuta principalmente alla necessità di prevenire il continuo aumento del peso dei veicoli,

migliorare l'efficienza dei consumi e soddisfare la crescente domanda di veicoli elettrici a batteria. Tuttavia queste gigacasting comportano ingenti costi di avviamento iniziali, possono presentare problemi di distorsione del metallo, alterare le capacità di riparazione in caso di collisione e richiedere approfondite ispezioni di scansione a fine linea.

Questo approccio:

- Semplifica radicalmente la linea di assemblaggio.
- Riduce il numero di robot necessari, i tempi di produzione e lo spazio fisico della fabbrica.
- Migliora la rigidità strutturale e riduce il peso del veicolo.

Per snellire la catena produttiva e migliorare l'efficienza, i fornitori di gigacasting di primo livello hanno la possibilità di consolidare gli ordini dei produttori di apparecchiature originali (OEM), evitando così investimenti ridondanti in macchinari per la gigacasting. Tuttavia, i tempi di fermo macchina per la sostituzione degli utensili su una macchina per la gigacasting, che spesso pesa diverse tonnellate, possono variare da ore a giorni, riducendo inevitabilmente il tasso di utilizzo e la produttività.

Per fare un esempio specifico, la Gigafactory di Tesla a Shanghai Lingang è dotata di tre set di unità gigapress di IDRA, dedicate specificamente alla fusione del pianale posteriore monoblocco per il Model Y. Si stima che la capacità produttiva massima per questo modello possa raggiungere le 600.000 unità all'anno, considerando le dimensioni delle unità gigapress.

Fig.2: Schema di una Tesla Model 3 (a sinistra) e della scocca grezza della Model Y, a confronto tra l'assemblaggio tradizionale e quello gigacast. (Fonte: Tesla)

La Model 3 è composta da 171 pezzi metallici, mentre la nuova struttura posteriore gigacast della Model Y richiede solo due pezzi metallici e 1.600 saldature in meno.

3.3.3. Alto Grado di Automazione

Tesla è stata una delle prime ad adottare l'automazione, partendo dalla consapevolezza che qualsiasi processo produttivo, seguendo una sequenza di passaggi predefiniti, potesse essere automatizzato utilizzando l'intelligenza artificiale e la robotica. Le Gigafactory utilizzano centinaia di robot per compiti di precisione e ad alta intensità, dall'assemblaggio della scocca alla movimentazione dei materiali. Nel 2018, la casa automobilistica contava di produrre circa 5.000 nuove auto elettriche Model 3 ogni settimana , sfruttando la robotica avanzata e l'intelligenza artificiale per diverse attività di assemblaggio complesse.

Tesla, tuttavia, non ha considerato i limiti dell'automazione, tra cui la sua incapacità di adattarsi a cambiamenti imprevisti. Nel giro di poche settimane, i suoi stabilimenti sono stati in uno stato di caos, con alcuni dipendenti costretti ad assemblare manualmente i pacchi batteria per mantenere la produzione in funzione.

Musk ha affermato: "L'eccessiva automazione in Tesla è stato un errore. Per essere precisi, un mio errore", e ha ammesso di aver sottovalutato il valore dei lavoratori umani.

Dopo l'"inferno produttivo" del 2018, Tesla ha adottato un approccio più equilibrato all'automazione, reintroducendo i lavoratori umani nei suoi stabilimenti perché essi sono ancora molto più capaci di adattarsi al cambiamento rispetto all'intelligenza artificiale (IA). A lungo termine, l'IA ha il potenziale per sostituire i lavoratori umani, ma per ora i leader devono stabilire la giusta velocità del cambiamento.

3.3.4. Verticalizzazione Interna

A differenza delle case automobilistiche tradizionali che si affidano a fornitori esterni per molti sottosistemi, Tesla tende a portare in-house processi critici. Anziché affidarsi ai tradizionali fornitori del settore automobilistico per componenti chiave come batterie e motori elettrici, Tesla ha investito molto nello sviluppo di capacità produttive interne. Ciò ha permesso all'azienda di avere

un maggiore controllo sulla qualità, sui costi e sulla sostenibilità dei suoi prodotti, nonché di innovare più rapidamente in settori come la tecnologia delle batterie.

Un altro fattore importante è stato l'utilizzo da parte di Tesla di analisi e dati avanzati per ottimizzare le operazioni della sua supply chain. L'azienda utilizza una varietà di strumenti e tecniche, come algoritmi di apprendimento automatico e analisi predittiva, per prevedere la domanda, gestire l'inventario e ottimizzare i programmi di produzione. Sfruttando queste tecnologie, Tesla è stata in grado di ridurre sprechi e inefficienze, nonché di migliorare l'accuratezza e la velocità del suo processo decisionale. Inoltre, Tesla ha anche dato priorità alla sostenibilità nella sua supply chain e si è posta obiettivi ambiziosi per ridurre la propria impronta di carbonio e aumentare l'uso di energie rinnovabili nelle sue attività di produzione e logistica.

Ciò che ha indotto Tesla ad adottare un'elevata integrazione verticale, oltre alla mentalità visionaria di Musk, è stata la crisi dei semiconduttori, iniziata nel gennaio 2020. I semiconduttori sono una componente fondamentale di molte tecnologie moderne e la loro carenza ha creato significative interruzioni nelle supply chain globali. Le cause profonde della crisi della supply chain dei semiconduttori sono complesse, ma includono una combinazione di fattori come la pandemia di COVID-19, le controversie commerciali, i disastri naturali e i cambiamenti nella domanda dei consumatori. La pandemia, in particolare, ha avuto un impatto significativo sulla supply chain, con interruzioni delle operazioni di produzione e della logistica globale che hanno creato colli di bottiglia e ritardi. Tesla ha subìto ritardi e interruzioni della produzione a causa della carenza di semiconduttori, ha dovuto modificare i suoi piani di produzione e chiudere temporaneamente le linee di produzione in risposta alla carenza.

Tesla è stata particolarmente danneggiata perché l'azienda necessita di una fornitura costante di semiconduttori di alta qualità per mantenere i suoi veicoli all'avanguardia tecnologica. La carenza di semiconduttori ha evidenziato la necessità di una maggiore resilienza e flessibilità della catena di approvvigionamento, un aspetto su cui si è concentrata negli ultimi anni. L'azienda ha investito molto nell'integrazione verticale e ha sviluppato le proprie capacità produttive per componenti chiave. Ciò consente a Tesla di avere anche un maggiore controllo sulla propria catena di approvvigionamento e di rispondere più rapidamente alle interruzioni. Tesla si è anche impegnata a

diversificare la propria catena di approvvigionamento e a ridurre la dipendenza da alcuni fornitori chiave.

3.3.5. Diretto al consumatore

Il modello di business direct-to-consumer (D2C) prevede che un'azienda venda i propri prodotti direttamente al cliente finale anziché tramite rivenditori o grossisti. Questo offre numerosi vantaggi, tra cui margini di profitto più elevati, maggiore soddisfazione del cliente, maggiore controllo del marchio e lanci di prodotto più rapidi.

Storicamente, le case automobilistiche si affidavano alle concessionarie per promuovere e vendere i propri prodotti, ma i progressi tecnologici e i cambiamenti nelle preferenze dei consumatori hanno portato a un aumento delle vendite D2C. Tesla è stata una delle prime case automobilistiche a perseguire questo modello di business, scegliendo di vendere i propri veicoli esclusivamente tramite le sue piattaforme e i suoi negozi online. Con l'obiettivo di controllare e migliorare costantemente l'esperienza del cliente, il negozio online di Tesla, " The Official Tesla Shop ", consente ai clienti di configurare completamente i propri veicoli, monitorare la produzione e programmare la consegna. I consumatori beneficiano di un'esperienza di acquisto personalizzata e pratica, mentre Tesla può allineare meglio la produzione alla domanda dei clienti, riducendo la necessità di ampi inventari e minimizzando gli sprechi.

3.3.6. Sostenibilità

Tesla ha affermato che nel 2023 i suoi clienti hanno evitato il rilascio di oltre 20 milioni di tonnellate di anidride carbonica nell'atmosfera. "Nel perseguire la nostra missione di accelerare la transizione mondiale verso un'energia sostenibile", afferma, "costruiamo prodotti progettati per sostituire alcuni dei maggiori inquinatori del pianeta. Ogni prodotto che vendiamo aiuta i proprietari a ridurre le emissioni".

Naturalmente, l'elettrificazione dei trasporti richiede investimenti in energia verde e tecnologia delle batterie. La produzione di energia rinnovabile deve ancora soddisfare la crescente domanda di elettricità, mentre l'estrazione di molti dei materiali principali utilizzati nelle batterie dei veicoli elettrici, tra cui litio e cobalto, è altamente dispendiosa in termini di energia.

Un approccio olistico alla sostenibilità ha permesso a Tesla di ridurre in modo significativo e sostanziale le emissioni di carbonio e di conseguire progressi significativi nella tecnologia e nel riciclo delle batterie. Ad esempio, collabora con fornitori che aderiscono a rigorosi standard ambientali ed etici per l'approvvigionamento di materie prime per la produzione di batterie. Inoltre, i suoi programmi di riciclo delle batterie prevedono che le batterie a fine vita vengano trattate per recuperare materie prime essenziali, tra cui litio, cobalto e nichel.

Nel frattempo, le sue Gigafactory operano utilizzando fonti di energia rinnovabili, come l'energia solare ed eolica, che riducono le emissioni di carbonio associate alla produzione di veicoli.

Per ridurre l'impatto ambientale delle sue attività di logistica e distribuzione, Tesla sfrutta l'analisi avanzata dei dati per ottimizzare i percorsi e ridurre il consumo di carburante.

4. Capitolo 4 - Confronto tra fabbriche tradizionali e Gigafactory Tesla

4.1. Metodologia fordista vs Tesla

Per raggiungere i suoi obiettivi produttivi, Tesla decise di seguire le orme della linea di produzione di massa della Ford T costruendo delle gigafabbriche. Al suo debutto, la Ford T utilizzava i metodi di costruzione stazionaria disponibili nel XX secolo, ovvero l'assemblaggio manuale, per produrre piccoli lotti. Lo stabilimento Ford di Piquette Avenue non riuscì a soddisfare la domanda del Modello T e solo 11 auto furono costruite lì durante il primo mese di produzione. Nel 1910, per ottenere la capacità di produzione di massa, Henry Ford trasferì l'azienda nel nuovo stabilimento di Highland Park. Il sistema di produzione del Modello T passò a un sistema modulare pionieristico in cui le auto Ford venivano costruite molto più velocemente rispetto alle precedenti tecniche di assemblaggio, riducendo i tempi di produzione da 12,5 ore prima a 93 minuti entro il 1914, standardizzando il processo. Il primo sistema di catena di montaggio del genere, che si muoveva tramite nastri trasportatori, standardizzò il processo, consentendo a Ford di ridurre il prezzo delle auto ottenendo economie di scala. L'esperienza di Fredrick Taylor negli studi sul movimento fu consultata per semplificare la linea di produzione in 84 fasi distinte. In seguito, Ford costruì macchine in grado di stampare automaticamente elementi dell'auto per il motore e la trasmissione.

La Model T fu un tale successo tecnologico che, quando Ford raggiunse il traguardo delle 10 milioni di auto, il 50% delle auto prodotte nel mondo erano Ford. È interessante notare che l'auto divenne così popolare che tra il 1917 e il 1923 Ford non dovette stanziare un budget per la sua pubblicità. La fabbrica Ford raggiunse il notevole record di 15 milioni di Model T, con una quota di produzione di circa 10.000 auto al giorno entro il 1925 (2 milioni all'anno). La Model T utilizzava tecnologie all'avanguardia per l'epoca, ad esempio una lega di acciaio al vanadio che contribuiva alla sua durevolezza.

La catena di montaggio introdotta da Ford rivoluzionò l'industria automobilistica e introdusse una nuova filosofia lavorativa. Le caratteristiche principali della catena di montaggio sono:

- Standardizzazione: tutti i prodotti sono identici e vengono assemblati usando pezzi intercambiabili
- Divisione del lavoro: i lavoratori sono specializzati in compiti specifici
- Velocità: il tempo di assemblaggio è stato notevolmente ridotto

Per quanto riguarda Tesla, essa impiega tecnologie all'avanguardia e automazione per produrre i suoi veicoli elettrici. L'approccio di Tesla integra robotica avanzata, intelligenza artificiale e analisi dei dati per semplificare la produzione. Le caratteristiche principali della produzione Tesla comprendono:

- Automazione: i robot svolgono compiti complessi con precisione decisamente maggiore rispetto a quella di un essere umano
- Integrazione verticale: per garantire una maggiore qualità del servizio, Tesla controlla molti aspetti della catena di fornitura, a partire dalla produzione delle batterie di litio fino allo sviluppo dei software
- Dati in tempo reale: l'analisi dei dati è fondamentale e permette di monitorare i processi di produzione e apportare modifiche al volo, ottimizzando l'efficienza e riducendo al minimo gli sprechi.

Il problema di aumento della produzione che dovette risolvere Henry Ford era un caso semplice in cui i prodotti erano tutti uguali. Non appena fu aggiunta complessità (sotto forma di tipologie di prodotti e opzioni, nonché di tecnologie più complesse come l'elettronica), il semplice sistema

di Henry crollò. Quello che aveva funzionato alla grande come primo tentativo a Highland Park si rivelò un disastro quando cercò di espanderlo ulteriormente alla Rouge, aggiungendo complessità che il sistema non era in grado di gestire. Mezzo secolo dopo, arrivò Toyota e capì la parte essenziale successiva dell'equazione: come raggiungere la velocità, ma anche la qualità integrata, con la complessità della produzione di modelli misti.

4.2. Tesla vs. Toyota Production System

Quando le cose sono statiche e i processi sono stabili, la forma di organizzazione più efficiente è quella meccanicistica. D'altra parte, quando c'è molta incertezza a causa di una tecnologia in rapida evoluzione, di molti problemi imprevisti e di un ambiente turbolento, allora una forma di organizzazione organica è molto più efficace. La linea di produzione super-automatizzata di Tesla si basa sull'assunzione di un gran numero di giovani ingegneri brillanti fornendo loro una visione dall'alto delle caratteristiche desiderate del prodotto e del processo, e chiedendo loro di progettarlo e costruirlo.

È ironico che Tesla abbia rilevato la fabbrica precedentemente occupata da NUMMI, un'icona del Toyota Production System (TPS). Nelle prime fasi della produzione Tesla, Toyota inviò i migliori dipendenti per dare una mano. Eppure gran parte della visione di Tesla sulla produzione è completamente contraria al TPS: investire grandi quantità di capitale per automatizzare tutto il possibile affidarsi all'assunzione di molti ingegneri per far funzionare tutto piuttosto che sviluppare attentamente i talenti interni, riparare con qualità anziché progettare e costruire con qualità, puntare a una catena di montaggio ultraveloce invece di costruire al ritmo della domanda dei clienti (takt). Si noti che l'idea di persone in continuo miglioramento non sembra comparire nel manuale di Tesla. È anche interessante notare che nelle gigafactory, Elon Musk abbia sviluppato una certa consapevolezza del valore delle persone nella gestione delle crisi: "In una certa misura, ha rinnovato la mia fiducia nell'umanità il fatto che la rapida evoluzione del progresso e la capacità delle persone di adattarsi rapidamente siano davvero notevoli". Ciò che Elon Musk non coglie è esattamente il punto che ha reso Toyota così vincente. L'approccio sistemico di Toyota è esattamente ciò che mancava alla visione meccanicistica di Musk e deve essere al centro della sua visione. Toyota è un'organizzazione che apprende con una lunga memoria. Nel 1979, Toyota lanciò la Lexus LS400 con l'automazione più avanzata dell'azienda

nello stabilimento di Tahara, in Giappone, inclusi robot nell'assemblaggio che svolgevano lavori normalmente svolti da persone. Le vendite furono al di sotto delle aspettative e lo stabilimento era sottoutilizzato. Toyota rifletté che gli elevati costi di capitale erano fissi e non potevano essere adattati alla domanda.

Toyota si vanta di costruire solo in base alla domanda effettiva e, quando la domanda è in calo, desidera la flessibilità necessaria per ridurre i costi e rimanere redditizia. Questo è possibile con le persone. Mentre Toyota garantisce la sicurezza del posto di lavoro a lungo termine per i suoi dipendenti fissi, si avvale di una forza lavoro variabile composta da personale interinale che può essere licenziato in caso di calo delle vendite e pianifica anche gli straordinari, che possono essere eliminati.

4.3. Conclusioni

Questa tesi ha avuto l'obiettivo di analizzare una nuova frontiera dell'industria moderna, le Gigafactory, che da poco più di 10 anni dominano la scena industriale mondiale. Lo sguardo storico ha offerto un panorama sul cambiamento generale che in quasi due secoli ha trasformato le prime fabbriche in strutture talmente grandi da essere considerate quasi delle città. Vedere come l'essere umano trovi delle soluzioni sempre migliori ai problemi che incontra è affascinante: si è passati da Henry Ford con la sua catena di montaggio, all'approccio sistemico e in continuo miglioramento del Toyota Production System per arrivare infine all'automazione totale delle Gigafactory. Tuttavia l'esperienza racconta che un ambiente completamente automatizzato non può sopravvivere in epoca moderna dove il mercato è instabile e soggetto a cambiamenti repentini.

La recente spinta verso la completa automazione ha trascurato l'importanza dell'adattabilità. Musk ha capito fin da subito che qualsiasi processo che segua una sequenza di passaggi predefiniti e si svolga in un ambiente sufficientemente controllato, come un reparto di produzione, può essere automatizzato dall'intelligenza artificiale e dai robot. E questo è un merito che gli va riconosciuto.

Ma mentre i sistemi autonomi si stanno sviluppando rapidamente, gli esseri umani rimangono molto più abili nell'adattarsi ai cambiamenti imprevisti. Quando si tratta di lavori complessi in fabbrica, questo è un aspetto da non sottovalutare. La probabilità di piccoli errori e situazioni impreviste è proporzionale alla complessità del processo, soprattutto quando il processo si svolge nel mondo fisico.

Gli esseri umani e altre forme di vita intelligente si sono evoluti per sopravvivere in un mondo in continuo cambiamento. Per questo motivo, riescono a gestire egregiamente situazioni impreviste e discrepanze tra eventi attesi e reali.

L'apprendimento automatico non ha ancora raggiunto il livello dell'intelligenza e dell'adattabilità umana nonostante abbiamo fatto grandi progressi e l'adattabilità sia limitata alle variazioni all'interno di una ristretta categoria di oggetti o eventi. La verità è che non abbiamo ancora padroneggiato la progettazione di robot e intelligenza artificiale sufficientemente resilienti da rispondere ad ambienti imprevedibili.

Musk ha pubblicamente dichiarato il suo desiderio di creare una fabbrica completamente autonoma. Ma in ambienti complessi, come una fabbrica altamente automatizzata, c'è bisogno di robot altamente adattabili in grado di reagire a situazioni impreviste e di interagire tra loro come fanno i sistemi biologici. L'introduzione di questo tipo di resilienza biologica nella robotica e nell'intelligenza artificiale richiede ulteriori ricerche. Tesla, per mantenere il successo come produttore di massa di veicoli, dovrà scoprire i valori fondamentali che stanno alla base dell'eccellenza operativa, come lo sviluppo delle persone, la costruzione di una cultura aziendale, il miglioramento continuo , la gestione visiva e la responsabilità dei team di lavoro nei propri processi. In breve, dovrà imparare il lean management. Le fabbriche automatizzate non si gestiranno da sole. Richiederanno ancora più manutenzione e una risposta rapida ai problemi rispetto ai sistemi manuali, e questo dovrà essere fatto dalle persone. Evidenziare i problemi, risolvere i problemi, alla velocità della luce in questo complesso mondo computerizzato.

Tuttavia è importante notare come l’elevata automazione, secondo i report annuali di Tesla, abbia contribuito notevolmente alla riduzione degli infortuni sul lavoro: tra il 2018 e il 2020, il tasso globale di infortuni registrabili (TRIR) per 1.000 veicoli prodotti è sceso da 4,9 a 3,3 e secondo il 2021 Impact Report, la Gigafactory Nevada aveva un TRIR inferiore del 5% rispetto

alla media del settore, mentre Fremont e Shanghai avevano ancora margini di miglioramento. Questi miglioramenti sono attribuiti all'automazione dei processi più pericolosi e ripetitivi, all'uso della robotica per movimentazioni e saldature e ad una maggiore ergonomia nelle postazioni di lavoro.

Infine, un ultimo fatto da sottolineare è la grande mole di fake news che circonda Tesla, inoltre le dichiarazioni di Elon Musk spesso non trovano riscontro con la realtà.

Ad esempio, Musk nel 2016 ha affermato che la Nevada Gigafactory sarebbe stata una struttura a zero emissioni nette, alimentata al 100% da energia rinnovabile proveniente dai pannelli solari che ricoprono il tetto della fabbrica. La Gigafactory necessita di almeno 300 megawatt di potenza, ma a settembre 2022 , Tesla ha solo 8 megawatt di pannelli solari sul tetto della Gigafactory.

Dal 2013 al 2024, Musk ha promesso una qualche forma di guida completamente autonoma "l'anno prossimo" o alla fine di quell'anno ogni anno. A partire dal 2019, Musk ha affermato che i veicoli Tesla sono in grado di "guidare completamente autonomamente", ma l'Autopilot di Tesla è solo un sistema avanzato di assistenza alla guida di livello 2 , che richiede ai conducenti di mantenere la massima attenzione ed essere pronti a prendere il controllo del veicolo in qualsiasi momento. Nel 2019, Tesla ha venduto un pacchetto "Capacità di guida completamente autonoma", nonostante la tecnologia non fosse ancora disponibile. Gli esperti hanno affermato che la previsione del 2020 era irrealistica e Tesla non aveva alcuna possibilità di realizzarla. Nel 2021, Tesla è stata classificata ultima sia per strategia che per esecuzione nel settore della guida autonoma da Guidehouse Insights.

Ciò che emerge quindi è che oltre al genio ci sia anche un po' di sregolatezza nella figura di Elon Musk, che molto sta facendo parlare di sé anche recentemente a causa del suo coinvolgimento nella politica americana (cosa che ha causato gravi danni all'immagine pubblica di Tesla).

Fig.3: Prezzo in borsa delle azioni Tesla a seguito della cerimonia di insediamento del Presidente statunitense Donald Trump, 21/01/2025, Yahoo Finance (finance.yahoo.com/quote/TSLA)

Nonostante le frequenti polemiche e le affermazioni fuorvianti che hanno segnato la narrazione attorno a Tesla, non si può negare l'ambizione etica e strategica sottesa al progetto aziendale. Se venissero davvero realizzate le promesse, Tesla rappresenterebbe un faro verso la sostenibilità, contribuendo in modo concreto a ridurre le emissioni, promuovere l'adozione delle energie rinnovabili e rivoluzionare l'intero sistema energetico: ne sono la prova iniziative come il riciclo del 92% dei materiali delle batterie e l'uso crescente di energia pulita (eolico, solare) per alimentare le Gigafactory.

E' evidente che il percorso non sia privo di criticità, tuttavia l'orizzonte verso cui Tesla muove non è solo tecnologico, ma profondamente etico e trasformativo. Il suo successo, o anche solo il suo tentativo concreto, può accelerare la transizione globale verso un'economia più pulita, resiliente e giusta.

Sitografia

https://www.tesla.com/about

https://www.reuters.com/business/autos-transportation/elon-musk-expected-outline-more-affordable-ev-new-tesla-master-plan-2023-03-01/

https://www.assemblymag.com/articles/97676-tesla-outlines-new-unboxed-assembly-process

https://www.anp-consulting.com/wp-content/uploads/2024/01/Gigacasting-Megacasting-Update-Jan-2024.pdf

https://www.spglobal.com/mobility/en/research-analysis/gigacasting-the-hottest-trend-in-car-manufacturing.html

https://supplychain360.io/teslas-vertical-integration-revolutionizes-supply-chains/

https://www.thomasnet.com/insights/tesla-supply-chain-2/

https://fastercapital.com/articles/Henry-Ford-s-Model-T-vs-Tesla--A-Comparison-of-Innovation.html

https://carboncredits.com/teslas-avoided-emissions-are-up-to-49-overstated-a-study-claims/

https://www.tesla.com/ns_videos/2020-tesla-impact-report.pdf

https://www.tesla.com/ns_videos/2021-tesla-impact-report.pdf

https://www.tesla.com/ns_videos/2022-tesla-impact-report.pdf

Bibliografia

Han X., Liu W., Jiang T., (2023). *Practising future-making: Anticipation and translocal politics of Tesla's Gigafactory*. Transactions of the Institute of British Geographers, 48(4), 999–1014. https://doi.org/10.1111/tran.12605

Cooke P., (2020). *Gigafactory Logistics in Space and Time: Tesla's Fourth Gigafactory and Its Rivals.* Sustainability 2020, 12(5), 2044; https://doi.org/10.3390/su12052044

Naor M., Coman A., Wiznizer A., (2021) *Vertically Integrated Supply Chain of Batteries, Electric Vehicles, and Charging Infrastructure: A Review of Three Milestone Projects from Theory of Constraints Perspective* Sustainability 2021, 13, 3632. https://doi.org/10.3390/su13073632

Morgan J., Liker J., (2018) *Designing the Future: How Ford, Toyota, and Other World Class Organizations Use Lean Product Development to Drive Innovation and Transform their Business* tratto dal cap.10 LEI/McGraw-Hill

Rahaman S., (2023) *Tesla Supply Chain: From Cautionary Tale to Role Model, is a story of Tesla how it has overcome its various challenges.* Blog del Supply Chain Journal https://supplychainjournal.net/tesla-supply-chain-from-cautionary-tale-to-role-model/

Buchel B., Floreano D., (2018) *Il problema di Tesla: sopravvalutare l'automazione, sottovalutare gli esseri umani* The conversation https://www.imd.org/research-knowledge/strategy/articles/teslas-problem-overestimating-automation-underestimating-humans/