

Università di Modena e Reggio Emilia

Dipartimento di Ingegneria

Corso di Laurea Magistrale in
Ingegneria del Veicolo

**Studio e applicazione dell'approccio Kaizen alla
transizione produttiva da linea dedicata ai centri
di lavoro flessibili per la produzione di scatole
ingranaggi**

Relatore:

Prof. Francesco Leali

Corelatore:

Ing. Davide Bianco

Candidato:

Alessandro Di Lello

Anno Accademico 2024/2025

Indice

0	Premessa	3
0.1	Contesto CNH	3
0.1.1	Storia del Brand	3
0.1.2	CNH nel mondo	4
0.1.3	Struttura dell'azienda	4
0.1.4	CBS+: CNH Business System	5
0.2	Plant di Modena	6
0.2.1	Storia dello stabilimento	6
0.2.2	Struttura dello stabilimento	7
0.3	Contesto di Tesi	8
0.3.1	Ufficio Tecnico di Supporto alla Produzione	8
0.3.2	Progetto di Tesi	9
1	Introduzione	10
1.1	Lean Manufacturing	10
1.1.1	Principi	11
1.1.2	Muda, Mura, Muri	13
1.1.3	Pilastri operativi della Lean	13
1.1.4	Strumenti Lean (selezione essenziale)	15
1.1.5	Implementazione e funzionamento di un sistema Lean	16
1.1.6	Chiusura	17
1.2	Caso di Studio	18
1.2.1	La linea TR200	18
1.2.2	Insourcing della Nuova Generazione APH SWB	20
1.2.3	Current State della linea TR200	21
1.2.4	Razionale della transizione	22
2	Obiettivi, Metodo e Strumenti	24
2.1	Obiettivi	24
2.1.1	Capacità e Flessibilità	24
2.1.2	Qualità	24
2.1.3	Economici	24
2.2	Studio del Prodotto	25
2.2.1	Analisi delle differenze	25
2.2.2	Ottimizzazione Caratteristiche	35

2.3	Studio del Processo	38
2.3.1	Analisi del processo attuale	38
2.3.2	Criticità riscontrate	40
2.4	Requisiti e KPI	42
2.4.1	Requisiti e KPI di capacità	42
2.4.2	Requisiti e KPI di qualità	42
2.4.3	Requisiti e KPI economici	43
2.5	Workflow	44
2.5.1	Le quattro Kaizen Week	44
2.5.2	Fasi e Gate di progetto	45
3	Risultati	47
3.1	Risultati conseguiti	47
3.1.1	Risultati di Prodotto	47
3.1.2	Risultati di Processo	50
3.2	Prestazioni Attese e Impatti sui KPI	54
3.2.1	Capacità e flessibilità (metodo, ipotesi e scenari)	54
3.2.2	Qualità: capability attesa e condizioni di prova	56
3.2.3	Risultati economici attesi	58
4	Discussione, Conclusioni e Sviluppi Futuri	61
4.0.1	Discussione dei risultati	61
4.1	Conclusioni	62
4.2	Sviluppi futuri	63
A	Tavole tecniche	64
	Bibliografia	72

Capitolo 0

Premessa

0.1 Contesto CNH

0.1.1 Storia del Brand

La storia di CNH Industrial affonda le sue radici in quasi due secoli di innovazione nel settore dei macchinari agricoli e industriali. Le origini del gruppo risalgono alla metà dell'Ottocento, con pionieri come Jerome Increase Case – fondatore nel 1842 di un'azienda di macchine agricole in Wisconsin, dalla quale discende l'odierna Case IH – e Abe Zimmerman, che avviò nel 1895 a New Holland (Pennsylvania) l'officina meccanica poi evoluta in New Holland Agriculture [1]. Parallelamente, in Europa, Giovanni Agnelli fondò nel 1899 la FIAT, destinata a entrare anche nel settore delle macchine agricole e a costituire un pilastro industriale per i marchi che oggi fanno parte del gruppo [1].

Negli anni successivi, attraverso una serie di acquisizioni e investimenti strategici, queste realtà si sono progressivamente integrate. Un momento chiave fu il 1999, quando Fiat Group unì la Case Corporation e New Holland N.V. in un'unica società, CNH Global, creando uno dei leader mondiali nel comparto agricolo e delle costruzioni [1]. La struttura attuale nacque poco più di un decennio dopo: nel 2012 Fiat decise di fondere CNH Global con la controllata Fiat Industrial per dare vita a CNH Industrial N.V. [1]. Il nuovo gruppo, con sede legale nei Paesi Bassi, si presentò come un campione multinazionale operante sia nel settore “off-highway” sia in quello “on-highway”, supportato dall'azionista di maggioranza Exor (la holding della famiglia Agnelli) [1, 2]. Nel corso di questo periodo, CNH Industrial ha registrato importanti traguardi industriali e finanziari, consolidando la longevità dei propri marchi storici.

L'evoluzione recente ha ulteriormente rifocalizzato il perimetro aziendale. Nel 2021 CNH Industrial ha acquisito la statunitense Raven Industries, società leader nelle tecnologie per l'agricoltura di precisione, rafforzando le competenze del gruppo nell'automazione e nelle soluzioni digitali avanzate per il settore agricolo [1]. Pochi mesi dopo, una svolta epocale ha segnato la storia del brand: a gennaio 2022 la multinazionale ha completato lo spin-off delle attività “on-highway” costituendo Ive-

co Group, diventando così una *pure player* focalizzata esclusivamente sui segmenti Agriculture e Construction [1]. CNH Industrial ha mantenuto la propria denominazione e la quotazione in borsa sotto il ticker CNHI sia al New York Stock Exchange sia presso Euronext Milano [3], confermando la continuità verso gli azionisti. Questo passaggio ha inaugurato una “nuova era” per il gruppo (Fig.0.1), concentrato unicamente sui macchinari agricoli e per le costruzioni, ma forte dell’eredità di innovazione maturata nei decenni precedenti e della presenza globale costruita dai suoi marchi originari.



Figura 0.1: Panoramica dei marchi del Gruppo CNH [4].

0.1.2 CNH nel mondo

CNH Industrial è oggi un’azienda di caratura mondiale nel settore dei *capital goods* agricoli e delle costruzioni [3, 2]. Dopo la scissione del 2022, il gruppo si presenta come uno dei principali costruttori globali di macchine per l’agricoltura e movimento terra, con un posizionamento competitivo di primo piano in tutti i mercati chiave. Dal punto di vista geografico, CNH Industrial opera con insediamenti industriali e società finanziarie in 45 paesi e vanta una presenza commerciale in circa 180 paesi nei cinque continenti; al 31 dicembre 2023 la società possiede 42 impianti di produzione nel mondo [3]. Il gruppo impiega circa 35 mila dipendenti a livello globale, distribuiti tra Europa, Nord e Sud America, Asia e altre regioni, in un’organizzazione multinazionale eterogenea e inclusiva [3, 2].

Le dimensioni economiche di CNH Industrial riflettono la sua rilevanza nel panorama industriale internazionale. Nel 2023 il gruppo ha registrato ricavi consolidati per 24,7 miliardi di dollari (in crescita del +4,8% rispetto ai ~23,6 miliardi del 2022) [3], con una redditività operativa in aumento malgrado le incertezze congiunturali. La società è quotata sia a New York sia a Milano, il che riflette la sua doppia anima italo-americana e garantisce accesso ai mercati dei capitali internazionali [3]. Da un punto di vista azionario, il controllo rimane ancorato alla tradizione originaria: l’azionista di riferimento è Exor N.V., che detiene circa il 27% del capitale sociale del gruppo, corrispondente a oltre il 45% dei diritti di voto [2].

0.1.3 Struttura dell’azienda

Sul piano organizzativo, CNH Industrial è strutturata in tre segmenti operativi principali, allineati ai rispettivi ambiti di business [3]. Il settore *Agriculture* si occupa della progettazione, produzione e vendita di una gamma completa di macchine agricole: trattori (a due e quattro ruote motrici o cingolati), mietitrebbie e raccogliatrici (inclusi modelli specializzati per vigneti e coltivazioni particolari come canna da

zucchero), macchine da fienagione, attrezzature per la preparazione del terreno e la semina, nonché sistemi per la movimentazione di materiali agricoli [3]. In questo segmento rientrano anche tecnologie avanzate per l'agricoltura di precisione, ambito in cui CNH Industrial è divenuta uno dei fornitori leader grazie a investimenti mirati in innovazione digitale e autonoma [3]; l'acquisizione di Raven Industries ha ulteriormente arricchito questo settore, aggiungendo competenze chiave in sistemi di guida autonoma, sensoristica e connettività applicate all'agricoltura [1].

Il settore *Construction* copre, analogamente, l'intero spettro dei macchinari per le costruzioni e il movimento terra: escavatori idraulici di varie dimensioni, bulldozer cingolati, grader livellatrici, pale gommate e cingolate, terne, minipale compatte (*skid-steer*) e relative attrezzature intercambiabili [3]. Questo segmento presidia il mercato globale attraverso due marchi principali, CASE Construction Equipment e New Holland Construction; al portafoglio si è aggiunto il brand Eurocomach (in seguito all'acquisizione dell'italiana Sampierana) specializzato in mini-escavatori e mezzi compatti [3]. La presenza di marchi duplici nell'agricoltura e nelle costruzioni (Case IH affiancata a New Holland, e analogamente CASE CE con New Holland CE) riflette la strategia dual-brand del gruppo, mirata a coprire segmenti di mercato differenti e servire una clientela più ampia senza perdere identità storiche. Complessivamente, CNH Industrial indirizza le strategie e gli investimenti delle sue cinque marche principali – Case IH, New Holland Agriculture, Steyr, CASE Construction e New Holland Construction – coordinando un portafoglio prodotti che spazia dall'agricoltura 4.0 ai cantieri edili; la diversificazione è bilanciata: il settore *Agriculture* genera tradizionalmente la quota maggioritaria dei ricavi (oltre il 75% del fatturato industriale negli ultimi esercizi), mentre il segmento *Construction* contribuisce intorno al 15% e i servizi finanziari circa il 10% [3].

A supporto delle vendite dei due settori “core” vi è il terzo segmento, *Financial Services*, che rappresenta il braccio finanziario del gruppo. CNH Industrial Capital fornisce e gestisce soluzioni di finanziamento sia per i clienti finali sia per la rete dei concessionari, facilitando l'acquisto di macchinari nuovi e usati attraverso leasing, finanziamenti rateali e linee di credito rotative [3]. Inoltre, il segmento *Financial Services* cura il finanziamento “wholesale” dell'inventario, offrendo ai dealer prestiti per l'acquisto dello stock, e provvede a servizi di *factoring* delle ricevibili commerciali generate dagli altri settori [3]. Questa struttura integrata permette al gruppo di presidiare l'intera catena del valore: dalla progettazione e fabbricazione del prodotto fino al suo finanziamento e post-vendita, assicurando così un modello di business completo.

0.1.4 CBS+: CNH Business System

Un elemento caratterizzante la cultura industriale di CNH Industrial è il CNH Business System (CBS), programma aziendale di miglioramento continuo e di eccellenza operativa. Sviluppato ispirandosi ai principi della *lean manufacturing* e alla tradizione WCM del gruppo Fiat, il sistema CBS è stato introdotto per diffondere in tutta l'organizzazione un approccio strutturato al *continuous improvement*. L'attuale denominazione CBS+ sottolinea l'evoluzione costante di questo modello,

che viene periodicamente arricchito di nuovi strumenti e iniziative strategiche. Il CNH Business System coinvolge tutti i dipendenti attraverso l'intera organizzazione, favorendo responsabilizzazione, agilità, efficienza e attenzione alla sicurezza nelle attività quotidiane [5]. In pratica, ogni stabilimento e ogni funzione adotta i metodi CBS per identificare ed eliminare gli sprechi, ottimizzare i processi e rispondere più rapidamente alle esigenze del cliente.

I risultati di questa filosofia gestionale sono misurabili e significativi. Grazie al CBS, CNH Industrial ha ottenuto oltre 550 milioni di dollari di efficienze operative cumulative (risparmi sui costi e miglioramenti di produttività) e ha ridotto di circa il 50% il tasso di frequenza degli infortuni sul lavoro, indice di un importante avanzamento nelle performance di sicurezza aziendale [3]. Il sistema enfatizza un orientamento end-to-end al cliente e alla qualità: tra gli obiettivi cardine vi è il raggiungimento di standard “world-class” in termini di qualità dei prodotti e puntualità delle consegne, elementi fondamentali per rendere i clienti finali dei veri “fan” del marchio [3]. Dal punto di vista metodologico, il CBS si articola su pilastri quali il *Kaizen* diffuso, il *Daily Management* e un solido processo di *Strategy Deployment* [3]. Come sottolineato dal top management, questo sistema sta facendo leva sul vasto e competente team globale dell'azienda per snellire le operazioni e i processi, incrementando l'efficienza con cui il business viene gestito [6, 3]. L'adozione del CNH Business System è dunque un fattore abilitante sia per il perseguimento dell'eccellenza operativa sia per il finanziamento della crescita futura.

0.2 Plant di Modena

0.2.1 Storia dello stabilimento

Il sito di Modena affonda le radici già nel 1928, quando Fiat decise di trasferire qui la produzione dei trattori proveniente da Torino, istituendo le Officine Costruzioni Industriali (OCI). Il primo modello interamente realizzato a Modena fu il Fiat 702C, seguito dal Fiat 700C cingolato, precursore dei mezzi cingolati agricoli in Europa. Nel 1933 Fiat acquisì la Società Anonima Officine Meccaniche (OM), integrando competenze meccaniche e consolidando la presenza nel cuore dell'Emilia-Romagna [7].

Dopo la Seconda guerra mondiale, lo stabilimento riprese a pieno ritmo con nuovi modelli e processi di fonderia avanzata. Negli anni '70 fu inaugurato il vicino plant di San Matteo (1977), dedicato a R&S e industrializzazione, che tuttora ospita gli uffici tecnici. In quegli anni Modena si specializzò sempre più nelle lavorazioni *powertrain*. Gli anni '90 furono segnati dall'acquisizione di New Holland da parte del gruppo Fiat (1991) e, successivamente, dalla costituzione nel 1999 di CNH Global attraverso la fusione Case–New Holland (non “Fiat Trattori–New Holland”) [7]. Con la creazione di CNH Industrial N.V. (2013), lo stabilimento di Modena ha proseguito il proprio percorso come hub di componentistica per trattori.

Oggi ricopre un ruolo strategico nella catena del valore delle *driveline*: in sinergia con il plant di Anversa, il sito si occupa di lavorazione e assemblaggio di sottosistemi

trasmissione che vengono poi spediti ai plant di assemblaggio finale nel mondo, con una prevalenza di destinazioni in area EMEA.

0.2.2 Struttura dello stabilimento

Lo stabilimento occupa una superficie di circa 150.000 m² nell'area urbana di Modena, in prossimità della stazione ferroviaria. La collocazione garantisce tutt'oggi un vantaggio logistico: un binario di raccordo si dirama dalla linea nazionale e penetra all'interno del plant, consentendo l'ingresso/uscita di materiali su rotaia oltre che su gomma. Ciò riduce le movimentazioni su strada e offre flessibilità nei picchi di approvvigionamento e spedizione rispetto ad altri siti locali con sola viabilità camionabile.

L'impianto è articolato in sei corpi principali:

1. **MBU3.** Edificio di maggior estensione, ospita direzione, assemblaggio e testing delle *driveline*, oltre a una quota di lavorazioni meccaniche.
2. **MBU2.** Attualmente in riallocazione; fino a gennaio 2025 ha ospitato i reparti di saldatura e verniciatura.
3. **MBU1.** Secondo per estensione, concentra la maggior parte delle lavorazioni meccaniche (centri di lavoro CNC, isole dedicate).
4. **Magazzino centrale ("Warehouse").** Nodo logistico in posizione baricentrica: riceve, stocca e smista componenti per assemblaggio e, in parte, per il reparto di lavorazione.
5. **Magazzino Arrivi.** Area di ricezione e accettazione merci (treno/camion), con prime verifiche e instradamento verso il Warehouse.
6. **Magazzino Spedizioni.** Uscita del flusso, gestisce imballo e spedizione dei prodotti finiti su scala globale.

Completano il perimetro fabbricati di servizio (spogliatoi, mensa), centrali (elettrica, idrica), infermeria e presidio VVF. L'organizzazione impiega circa 600 persone tra personale diretto e indiretto, oltre a servizi esterni qualificati [dato interno].

Flusso operativo a macro-livello. La produzione interessa principalmente le *driveline* per trattori e, in quota, gli assali anteriori (*Front Axle*). Il flusso tipico è il seguente:

- **Inbound.** Grezzi di fusione (scatole trasmissione e frizione) e ponti rigidi arrivano via treno o camion da fornitori esteri (prevalentemente Francia). Dopo l'accettazione al Magazzino Arrivi, i materiali vengono indirizzati al Warehouse per stoccaggio e *kitting*.
- **Lavorazioni meccaniche (MBU1).** Esecuzione di forature, fresature, rettifiche su CNC (prevalentemente 4 assi), con mix di macchine *stand-alone* e linee dedicate (tra cui la linea storica TR200 richiamata nel Cap. 1).

- **Assemblaggio e collaudo (MBU3).** Dopo le lavorazioni, i componenti passano all'assemblaggio: montaggio del treno d'ingranaggi e dei componenti esterni (idraulici ed elettrici), quindi test su banchi prova. I sottoassiemi OK vengono imballati e inviati al Magazzino Spedizioni.

In coordinamento con il plant di Anversa, Modena contribuisce alla lavorazione e all'assemblaggio delle *driveline* destinate ai plant di assemblaggio finale del network, con una prevalenza di destinazioni in area EMEA. Questa configurazione rende il sito un hub di competenze tecniche e un nodo logistico capace di sostenere il mix richiesto dai programmi industriali dei brand.

0.3 Contesto di Tesi

0.3.1 Ufficio Tecnico di Supporto alla Produzione

L'Ufficio Tecnico di Supporto alla Produzione (TPS — *Technical Production Support*) è l'ente che fa da ponte tra progettazione e reparti produttivi. La sua finalità è garantire che i prodotti possano essere realizzati in modo stabile, sicuro, di qualità e con tempi/costi coerenti con gli obiettivi dello stabilimento. In pratica, traduce disegni e specifiche in processi di lavoro chiari, attrezzature adeguate e metodi operativi comprensibili agli operatori.

Le attività tipiche comprendono: definire il percorso produttivo dei componenti e delle linee, preparare e mantenere la documentazione di processo (schede operative, piani di controllo), scegliere e seguire attrezzature e utensili, proporre miglioramenti organizzativi (layout, postazioni, flussi materiali), supportare l'avvio di nuovi prodotti o varianti, collaborare alla formazione del personale, intervenire su problemi ricorrenti di produzione e coordinarsi con Qualità, Manutenzione e Logistica per assicurare continuità alle lavorazioni.

La struttura è generalmente composta da:

- Responsabile TPS, con funzioni di coordinamento e priorità;
- Ingegneri/tecnologi di processo (lavorazioni meccaniche, assemblaggio);
- Specialisti attrezzature e utensili (scelta, qualifiche, manutenzione tecnica);
- Tecnici di officina e collaudo/metrologia (supporto sul campo e verifiche dimensionali);
- Programmatori (programmazione cicli di lavoro).

L'assetto può variare da sito a sito, ma l'obiettivo rimane lo stesso: rendere il processo produttivo chiaro, ripetibile e migliorabile, assicurando un raccordo efficace tra uffici tecnici e fabbrica.

0.3.2 Progetto di Tesi

Questo elaborato documenta un pre-studio inserito in un progetto aziendale più ampio. Le tempistiche non hanno consentito di coprire l'intero ciclo di trasformazione; la tesi si concentra quindi sulla fase che prepara la migrazione delle lavorazioni da una linea storica a centri di lavoro (CdL) più recenti, garantendo i requisiti di qualità e la flessibilità richiesti dall'introduzione di una nuova versione di prodotto.

Sebbene l'impostazione generale del progetto segua i principi del miglioramento continuo (Kaizen), la sua natura intrinseca configura una trasformazione radicale (Kaikaku), che mira a ridefinire l'architettura del processo produttivo anziché ottimizzare l'esistente.

Il pre-studio ha perseguito un obiettivo essenziale: definire in modo chiaro che cosa cambiare e perché. A tal fine sono stati costruiti la *baseline* dello stato attuale (capacità, affidabilità, impatti economici), la valutazione delle opzioni d'intervento e lo studio di prodotto e processo per individuare vincoli e leve operative. Da questa analisi sono stati derivati obiettivi misurabili e, per ciascuno, i relativi requisiti e indicatori (ad es. copertura del piano, qualità al primo passaggio, tempi al vincolo, continuità operativa), mantenendo il livello di dettaglio necessario senza anticipare contenuti propri delle fasi realizzative.

In preparazione alla fase finale sono state avviate attività tecniche mirate: definizione e adeguamento delle attrezzature e dei fissaggi necessari alla nuova architettura di processo; gestione con R&D delle modifiche di prodotto indispensabili (quote e tolleranze funzionali, CTQ, interfacce e aggiornamento della distinta base); studio e qualifica dei nuovi utensili. L'impostazione segue i concetti di miglioramento continuo e di snellimento dei processi, senza appesantire l'esposizione con strumenti specialistici che verranno approfonditi nei capitoli successivi.

Il risultato atteso del pre-studio è duplice: da un lato, una scelta motivata sul percorso di migrazione più coerente con il contesto; dall'altro, un corredo operativo (obiettivi, requisiti, criteri di verifica) che renda la soluzione attuabile e sostenibile nel tempo, facilitando la conclusione del progetto con livelli stabili di servizio, qualità e flessibilità.

Il dettaglio metodologico e il quadro teorico di riferimento sono presentati nel Capitolo 1, mentre le scelte progettuali e le verifiche quantitative sono sviluppate nel Capitolo 2. I risultati e le implicazioni operative vengono infine discussi nei Capitoli 3 e 4.

Capitolo 1

Introduzione

1.1 Lean Manufacturing

La Lean Manufacturing è un approccio gestionale e operativo che deriva dal Toyota Production System (TPS) e che ha l'obiettivo di massimizzare il valore per il cliente riducendo sistematicamente gli sprechi e stabilizzando i processi. Il paradigma rompe con la logica della produzione di massa tradizionale: invece di “spingere” volumi per sfruttare la capacità, si progetta il flusso per rispondere alla domanda reale con il minimo impiego di risorse, eliminando attività che non creano valore e attenuando le cause strutturali di variabilità e sovraccarico. In questa prospettiva, “snello” non è sinonimo di “povero”, ma di *intenzionale*: persone, macchine, materiali e informazioni sono orchestrate per ottenere qualità alla fonte, tempi di attraversamento brevi e costi totali competitivi, senza scaricare inefficienze su scorte o rilavorazioni [8].

L'impianto concettuale nasce nella manifattura automobilistica giapponese del secondo dopoguerra e si consolida in Toyota grazie a Taiichi Ohno e ai contributi dei Toyoda (Kiichiro e Sakichi). L'essenza può essere riassunta nell'idea di “vedere” il processo con gli occhi del cliente e del flusso, costruendo meccanismi che impediscano la produzione di difetti (jidoka), sincronizzando l'avanzamento con il consumo reale (pull/JIT) e livellando volumi e mix per ottenere stabilità (heijunka). La letteratura che ha reso popolare il termine “Lean” a fine anni '80-'90 ha mostrato come, a parità di output, un sistema snello richieda meno spazio, meno capitale immobilizzato, meno ore-uomo e meno tempo, con migliori prestazioni di qualità e servizio [9, 8].

Nel seguito si presentano i *principi* che guidano il pensiero lean, le tre “M” (muda, mura, muri) come tassonomia delle perdite, i *pilastri operativi* che danno concretezza al metodo (JIT, Jidoka, Heijunka, Standard Work, TPM) e alcuni *strumenti* essenziali (VSM, SMED). Si conclude con una descrizione dell'implementazione integrata in un contesto produttivo tipico, evidenziando le interdipendenze tra elementi tecnici, organizzativi e culturali.

1.1.1 Principi

Valore

Nel pensiero Lean il *valore* è definito dal cliente e dalle condizioni d'uso del prodotto/servizio: è ciò per cui il cliente è effettivamente disposto a pagare. La definizione formale di valore è necessaria per discriminare con rigore le attività *a valore* (trasformazioni che cambiano forma/fit/feature in linea con i requisiti) da quelle *non a valore* (movimenti, attese, ispezioni ridondanti, rilavorazioni, ridondanze informative). In pratica, il valore si traduce in caratteristiche funzionali e di qualità (prestazioni, tolleranze, affidabilità), nel *tempo* (lead time e puntualità di consegna) e nel *costo* totale di possesso percepito dal cliente. La mancata chiarezza su cosa sia valore induce prodotti “sovra-progettati” o processi carichi di passaggi superflui. La Lean richiede dunque una esplicitazione a monte dei requisiti critici (CTQ) e un allineamento del processo a tali requisiti, affinché ogni risorsa impiegata contribuisca direttamente a generare esiti desiderati [8].

Operativamente, “definire il valore” significa tradurre bisogni e vincoli in specifiche misurabili, impostare un *campo di validità* del processo (range parametrici, limiti di controllo) e predisporre meccanismi che impediscano l'introduzione di caratteristiche non richieste (overprocessing). Il risultato è un *focus selettivo*: si investe su ciò che il cliente giudica essenziale e si *taglia* ciò che non cambia l'utilità o la qualità percepita, evitando costi inutili e complessità autoreferenziale.

Flusso del valore (Value Stream)

Il *Value Stream* è la sequenza end-to-end di attività, materiali e segnali informativi che trasformano un input (materie prime, informazioni) in un output che il cliente utilizza. La *mappatura* del flusso (VSM) rende visibili tempi di ciclo, tempi di attesa, scorte intermedie, trasferimenti, lotti, frequenze di prelievo e connessioni informative; in altre parole, fornisce una “radiografia” dello stato attuale evidenziando dove il valore non scorre. Senza una vista complessiva, i miglioramenti locali rischiano di essere sub-ottimali (ottimizzazione di una stazione a scapito del collo di bottiglia o dell'intero lead time).

La logica lean impone quindi di leggere il processo come *catena causale*, riconoscendo il vincolo e misurando le perdite nel loro contesto sistemico. A valle della mappatura, il team progetta una *Future State Map* coerente con i principi di flusso e pull: si identificano punti di disaccoppiamento (supermarket), si decide dove applicare kanban, si dimensionano WIP target, si riprogetta il layout per percorsi brevi e si definiscono ritmi e frequenze di rifornimento [8]. La mappa diventa così *strumento di regia* del cambiamento, oltre che base quantitativa per misurare l'impatto dei miglioramenti.

Flow

Il *flow* prescrive che le attività a valore residuo (dopo la rimozione delle palesi perdite) scorrano *senza interruzioni*. L'ideale è il *one-piece flow*, in cui ciascun pezzo attraversa le fasi senza attese; nella pratica industriale, ci si avvicina al target

progettando *celle* o *linee* con bilanciamento dei carichi, sequenze standard, WIP minimo tra le postazioni e percorsi di materiale corti e unidirezionali. Il beneficio principale non è solo il taglio dei tempi di attraversamento, ma la *messa in evidenza* dei problemi: quando non ci sono cuscinetti di scorta a mascherare le inefficienze, ogni deviazione (fermo, errata sequenza, variabilità di setup) interrompe il flusso e obbliga a cercarne la causa radice.

In ingegneria di processo, progettare il flow significa analizzare i *tempi netti* e i *tempi lordi*, differenziare attività *vincolate al collo* da attività “libere”, introdurre accorgimenti per la movimentazione ergonomica, definire buffer tecnici solo dove servono (ad esempio dopo operazioni ad alta variabilità statistica) e mantenere una *tensione al miglioramento* che sposti via via il mix di perdite dalle tre categorie classiche verso la componente residua non eliminabile. Il flow è tanto un obiettivo strutturale quanto un *meccanismo rivelatore*.

Pull

Il *pull* ribalta la logica tradizionale di pianificazione: non si produce “per previsione” (push), ma *solo* quando un processo a valle o il cliente inviano un *segnale di consumo*. Il dispositivo tipico è il *kanban*, un segnale visivo/informativo che autorizza la *reintegrazione* di un contenitore standard quando il consumo lo rende necessario; il numero totale di kanban in circolazione limita il *WIP* e quindi il tempo di attraversamento. Pull non è sinonimo di assenza di pianificazione: significa *pianificare il ritmo* (takt) e i confini del sistema, lasciando che il dettaglio dei rilasci sia guidato dal consumo reale.

I benefici includono l’eliminazione della *sovrapproduzione* (il muda più insidioso perché genera tutti gli altri), la riduzione delle scorte e l’aumento di *trasparenza* sulle cause di instabilità: se un reparto non riesce a soddisfare i kanban in tempo, emerge un collo o un problema di qualità che va risolto, non coperto con stock. Pull richiede *affidabilità* a monte, tempi di setup contenuti e *livellamento* della domanda; altrimenti il sistema oscilla e il WIP cresce.

Perfezione

La *perfezione* in ottica Lean non è uno stato assoluto, ma la tensione a *migliorare continuamente* il sistema, riducendo gli sprechi iterazione dopo iterazione. L’idea è intrinsecamente *sperimentale*: si pianificano contromisure, si implementano su scala limitata, si verificano i risultati e si standardizzano le soluzioni efficaci (ciclo PDCA). La cultura del *kaizen* (miglioramento quotidiano) implica coinvolgimento capillare: operatori, tecnici e responsabili sono incoraggiati a segnalare anomalie, proporre aggiustamenti, documentare gli apprendimenti e sfidare gli standard esistenti quando i dati mostrano che è possibile fare meglio [10, 8].

Perseguire la perfezione significa anche accettare che gli standard sono *provvisori*: servono per stabilizzare e misurare, ma sono oggetto di revisione continua. È questa dinamica che consente alla Lean di rimanere *viva*: l’assetto organizzativo non è

un manuale statico, bensì un *programma di apprendimento* orientato al cliente e al flusso.

1.1.2 Muda, Mura, Muri

Le tre “M” — *muda, mura, muri* — offrono una tassonomia semplice e potente per *vedere e rimuovere* le perdite.

Muda indica ogni impiego di risorse che non genera valore per il cliente. La classificazione classica di Ohno comprende: sovrapproduzione, attese, trasporti, processi non ottimali (overprocessing), scorte eccessive, movimenti inutili e *difetti* (scarti/rilavorazioni). Ogni categoria ha radici *tecniche* (layout, parametri, progettazione del ciclo) e *organizzative* (regole, segnali, coordinamento). L’attenzione lean non è sulla colpa, ma sul *punto di vista di sistema*: perché si produce in eccesso? Perché si attende? Perché il pezzo percorre metri in più? Domande apparentemente banali che, poste con disciplina, orientano le contromisure strutturali [11].

Mura è la *irregolarità*: domanda a picchi/cali, mix che cambia in blocchi, metodi diversi tra turni, tempi di setup molto variabili. Le onde di carico si traducono in oscillazioni di WIP, stress organizzativo, cambi non sincronizzati: anche quando non compaiono difetti, il sistema assorbe *costi di adattamento* che non creano valore. La risposta lean è il *livellamento* (heijunka) e la standardizzazione: distribuire volumi e varianti nel tempo, ridurre l’ampiezza delle oscillazioni e stabilizzare il metodo [12].

Muri è il *sovraccarico*: chiedere a persone o macchine prestazioni oltre la loro capacità sostenibile. Muri non è solo “correre”: è progettare cicli non ergonomici, saturare macchine senza manutenzione programmata, comprimere i tempi oltre i margini di visita processo. Il risultato è un aumento di *guasti, errori e infortuni*. Lean non è “fare di più con meno” nel senso di spremere le risorse: è *progettare* in modo che nessuna risorsa lavori cronicamente al limite.

Esempio integrato. Un piano settimanale a *picchi e valli* (mura) induce pressioni sul collo di bottiglia: si comprimono i tempi, si posticipano manutenzioni e si chiedono straordinari (muri). La risposta del sistema è la crescita di attese, rilavorazioni e scorte a monte/valle (muda). La contromisura non è “correre di più”, ma *livellare* la sequenza, ridurre i setup con *SMED*, introdurre *kanban* per governare il WIP, standardizzare il metodo e programmare *TPM* sui vincoli. In breve: rimuovere mura e muri *previene* i muda, non solo li “cura” [11, 12].

1.1.3 Pilastri operativi della Lean

Just-in-Time (JIT) abilitato da Kanban

Il Just-in-Time sincronizza produzione e rifornimenti con il *takt* (ritmo dettato dalla domanda), riducendo drasticamente le scorte e i tempi di attraversamento. Il *kanban* è il meccanismo informativo che abilita il pull: un segnale (fisico o digitale) che autorizza il *reintegro* di un contenitore standard quando il consumo lo rende necessario. La coppia JIT-kanban crea un *circuito chiuso* in cui ogni processo a valle “tira” dal processo a monte la quantità esatta, nel momento giusto.

Progettare JIT significa dimensionare il *numero di kanban* (quindi il WIP massimo), definire le *regole* di prelievo e reintegro, stabilire *slot di consegna* e frequenze, e configurare *supermarket* nei punti opportuni del value stream. L'effetto operativo è duplice: (1) si *elimina la sovrapproduzione*, poiché nulla si muove senza segnale; (2) si *rendono visibili* le inefficienze: se il lead time di fornitura reale eccede il ciclo richiesto, i cartellini si accumulano e il problema appare sul gembu, non nel foglio di calcolo.

Affinché il JIT funzioni, occorrono *setup rapidi* (SMED), *layout* che minimizzino distanze e tempi di handling, *affidabilità* delle attrezzature (TPM) e *livellamento* (heijunka) per attenuare le onde di carico. Senza queste condizioni abilitanti, il sistema pull tende a oscillare e a generare stockouts o accumuli non controllati. In un contesto ben progettato, invece, JIT permette di *ridurre capitale immobilizzato*, migliorare la *puntualità* e aumentare la *flessibilità* con cui si alternano varianti e lotti piccoli [11].

Jidoka (con Andon e Poka-Yoke)

Jidoka significa costruire la *qualità alla fonte* e fermare il processo alla prima anomalia. Il principio si concretizza in due direttrici: (1) *rilevare* deviazioni e difetti appena emergono; (2) *interrompere* la propagazione dell'errore, proteggendo il cliente interno/esterno. Storicamente, il concetto discende dal telaio automatico di Sakichi Toyoda che si arrestava quando il filo si spezzava, impedendo metri di tessuto difettoso. In fabbrica, Jidoka vive attraverso *andon* (segnali visivi/acustici che indicano lo stato delle postazioni) e *poka-yoke* (accorgimenti “a prova d'errore” che impediscono inserimenti/scelte errate).

Operativamente, si progettano *interblocchi* e sensori che bloccano cicli in condizioni anomale, si dà *autorità* all'operatore di tirare il cavo andon e fermare la linea, si definiscono *tempi di risposta* e ruoli per l'assistenza (team leader, manutenzione, qualità) e si costruiscono *standard di reazione*: cosa controllare, come registrare, come ripartire in sicurezza. Jidoka non è “fermare sempre la linea”, ma “non permettere” la produzione cieca sotto deviazione: un fermo breve *al primo pezzo* evita scarti a valle e rilavorazioni massicce.

Il legame con la cultura del *kaizen* è diretto: ogni chiamata andon genera un *apprendimento*; ogni poka-yoke efficace sposta la barriera più vicino alla *fonte* dell'errore (source inspection). Nel tempo, l'organizzazione riduce gli allarmi “nuisance”, distingue cause speciali da cause comuni, standardizza i successi e mantiene le barriere semplici, visive e manutenibili [11].

Heijunka (Leveling)

Heijunka è la pratica di *livellare* volumi e mix per dare al sistema un input regolare e sostenibile. Livellare non significa rendere tutto costante a prescindere: significa *spalmare* la domanda nel tempo (giorni, turni) e alternare le varianti con *lotti piccoli e ripetuti* in modo da evitare blocchi monomodello che creano onde di carico a monte

e valle. L'effetto è la riduzione di *mura* (irregolarità) e, per conseguenza, di *muri* (sovraccarichi), condizione che rende più affidabile JIT.

Gli strumenti pratici includono la *heijunka box* (tavola di schedulazione livellata), regole di sequenziamento (ad es. “ABCD ABCD” invece di “AAA BBB CCC DDD”), e la definizione di *takt* per allineare attività operative e rifornimenti. Laddove il mix abbia tempi ciclo sensibili, si applicano *compensazioni* (multi-skilling, attrezzaggi rapidi, buffer minimi) per mantenere il ritmo. Il risultato è un flusso più *prevedibile*, con minori extra-capacità richieste per assorbire picchi e meno tempi morti nelle valli [12].

Standard Work (Lavoro standardizzato)

Lo *Standard Work* definisce il *modo migliore oggi conosciuto* per svolgere un'operazione: sequenza di passi, tempi obiettivo, punti di controllo qualità e *WIP minimo* tra le postazioni. La standardizzazione consente *misurabilità* e *ripetibilità*: senza un metodo condiviso, le prestazioni non sono confrontabili e non è possibile sperimentare miglioramenti in modo scientifico. Per l'ingegneria industriale, ciò significa costruire *istruzioni operative* chiare e visuali, progettare postazioni *ergonomiche*, definire *range parametrici* e criteri di escalation, e addestrare gli operatori a riconoscere *condizioni anomale*.

Standard non equivale a rigidità: è la *base* da cui partire per migliorare. Le proposte di modifica passano per mini-esperimenti controllati, misurazioni, confronto before/after e, se efficaci, diventano il nuovo standard. In termini di sicurezza e qualità, lo Standard Work riduce *variabilità* tra turni e persone, diminuisce l'errore umano e accelera il *ramp-up* di nuove risorse [12].

Total Productive Maintenance (TPM)

Il *TPM* coinvolge l'intera organizzazione per *prevenire* fermi imprevisti e degradazioni di performance, aumentando la *disponibilità* e la *vita utile* degli asset. L'approccio combina manutenzione *autonoma* (operatore custode dell'attrezzatura: pulizia, lubrificazione, ispezioni semplici) e manutenzione *specialistica* (pianificata, migliorativa, predittiva). Il fine è ridurre MTTR, aumentare MTBF e, soprattutto, garantire che le apparecchiature erogino *capacità affidabile* per abilitare flow e JIT.

Sul piano operativo si definiscono *piani* e *checklist* mirati al vincolo, si introducono *condizioni visive* (linee, indicatori, tag), si monitorano *perdite OEE* (Availability, Performance, Quality) e si realizzano interventi di *miglioramento* per rimuovere cause ricorrenti. TPM non è un costo “di servizio”: è un pilastro che *abilita* l'intero sistema snello, perché senza affidabilità non esiste flusso continuo [13].

1.1.4 Strumenti Lean (selezione essenziale)

Value Stream Mapping (VSM)

Il *VSM* è lo strumento principe per rappresentare il *flusso end-to-end*: simboli standard per processi, inventari, flussi informativi, tempi di ciclo e tempi di attesa

consentono di costruire una “fotografia” quantitativa dello *stato attuale*. La sua utilità principale è duplice: (1) fornisce una *lingua comune* per discutere miglioramenti tra funzioni diverse; (2) collega le scelte puntuali al *risultato di sistema* (lead time, WIP, livello di servizio).

La metodologia tipica prevede: raccolta dati *sul gemba* (non solo da sistemi informativi), disegno della mappa *as-is*, identificazione delle perdite dominanti e del *collo di bottiglia*, progettazione dello *stato futuro* (layout a flusso, supermarket, takt, heijunka, kanban), definizione di una *roadmap* con esperimenti e traguardi intermedi. Il VSM riduce il rischio di “ottimizzare un’operazione” peggiorando l’intero sistema e costituisce, in tesi e in pratica industriale, l’*asse di coerenza* tra teoria e implementazione [14].

SMED (Single Minute Exchange of Die)

SMED è la metodologia di Shingo per ridurre i *tempi di setup* idealmente a singole decine di minuti. Il principio è distinguere attività *interne* (richiedono macchina ferma) da attività *esterne* (eseguibili mentre la macchina lavora) e *trasferire* quante più operazioni possibile all’esterno; in parallelo, si *semplificano* e si *parallelizzano* le attività interne residue, si standardizzano attrezzaggi, si usano dispositivi a *posizionamento univoco*, si eliminano regolazioni fini tramite *reference* meccaniche e si prepara il materiale in *kit* [15].

L’impatto sistemico è enorme: tempi di cambio brevi permettono *lotti piccoli*, *sequenze livellate*, risposta rapida a variazioni di mix e riduzione di scorte tra cambi. SMED è quindi *abilitante* per heijunka e JIT; senza SMED, il pull resta spesso teoria, perché i costi/tempi di cambio impongono lotti grandi e cuscini di inventario.

1.1.5 Implementazione e funzionamento di un sistema Lean

Un’implementazione efficace richiede di *integrare* principi, pilastri e strumenti, evitando interventi isolati. Una sequenza tipica — adattabile ai contesti — è la seguente.

1. **Allineamento su valore e obiettivi.** Il management chiarisce requisiti cliente, metriche di esito (qualità, lead time, livello di servizio, costo) e vincoli. Si individuano le *famiglie di prodotto* e i flussi prioritari. Questo passaggio evita di migliorare “a caso” e fornisce criteri di successo condivisi [8].
2. **Diagnosi con VSM e misure sul gemba.** Il team cross-funzionale mappa lo *stato attuale*, misura tempi netti/lordi, identifica *collo* e perdite dominanti, e discute le *cause* a partire dai dati reali. Senza misure in campo, la discussione resta astratta; con VSM, le ipotesi diventano falsificabili [14].
3. **Progettazione dello stato futuro.** Si definiscono *layout* e sequenze per il *flow*, si posizionano *supermarket* e loop kanban, si dimensiona il *WIP* (numero di kanban), si imposta il *takt* e la strategia di *heijunka* per volumi e mix. In parallelo si pianifica *SMED* sulle risorse critiche per consentire lotti piccoli e

alternanze frequenti, e si formalizzano gli *standard di lavoro* (sequenze, tempi target, WIP minimo).

4. **Condizioni abilitanti: Jidoka e TPM.** Si introducono *poka-yoke* su errori ricorrenti, si stabiliscono *andon* e regole di escalation con tempi di risposta definiti; si lancia un programma *TPM* con manutenzione autonoma e piani preventivi/predittivi sui vincoli. L'obiettivo è garantire *qualità alla fonte* e *affidabilità* per sostenere il flusso continuo [11, 13].
5. **Esecuzione per esperimenti e PDCA.** Non si “installa” il sistema in un colpo solo: si procede per *esperimenti* con target concreti (es. dimezzare setup su una macchina, ribilanciare una cella, avviare un supermarket pilota), misurando prima/dopo e standardizzando i successi. Gli *A3* documentano problema, analisi, contromisure e risultati, offrendo base per la *replicabilità* [16].
6. **Governance e cultura.** Si istituiscono *rituali brevi* (riunioni giornaliere di reparto con metriche visuali), si allena la leadership a *andare al gemba* e a fare *coaching* su A3 e problem solving, si riconoscono comportamenti desiderati (ad es. chiamate andon “in tempo”). Si monitora il sistema con indicatori *coerenti* con il flusso (lead time, WIP, OEE, livello di servizio) e con *finestre mobili* per evitare valutazioni miopi [17].
7. **Consolidamento e diffusione.** Una volta stabilizzato il pilota, si *espandono* le pratiche ad altre famiglie/linee, adattando regole e parametri. La standardizzazione evita regressioni; il *miglioramento continuo* mantiene il sistema vitale, aggiornando standard, rivedendo dimensionamenti kanban, ritoccando sequenze e layout al variare di volumi e mix.

I *risultati attesi* si articolano lungo tre direttrici: *tempo* (lead time ridotto, maggiore puntualità, minori tempi morti), *qualità* (difettosità e rilavorazioni in calo, maggiore stabilità di processo), *costo* (riduzione scorte e movimentazioni, meno capitale immobilizzato, migliore produttività a parità di risorse) [8, 12]. L'elemento più importante è la *sostenibilità*: il sistema lean funziona quando le condizioni abilitanti (Jidoka, TPM, Standard Work, SMED, Heijunka) sono presenti *insieme* e quando la cultura organizzativa supporta l'apprendimento continuo anziché cercare soluzioni “eroiche” che mascherano le cause.

1.1.6 Chiusura

La Lean Manufacturing non è un insieme di “strumenti”, ma un *sistema socio-tecnico* che integra principi, pratiche e comportamenti. Il valore, il flusso del valore, il flow, il pull e la perfezione forniscono la bussola; le tre “M” aiutano a vedere e a priorizzare; i pilastri operativi (JIT-kanban, Jidoka, Heijunka, Standard Work, TPM) traducono i principi in *processi ripetibili*; VSM e SMED sono strumenti cardine per diagnosticare e abilitare *flusso e flessibilità*. La loro interazione, orchestrata tramite PDCA e leadership al gemba, consente di ottenere prestazioni superiori in maniera *robusta* e *replicabile* nel tempo [8, 11, 10, 13, 12, 14, 15, 16, 17, 9].

1.2 Caso di Studio

1.2.1 La linea TR200

La TR200 è una delle linee più datate del plant. È collocata nello stabile principale, adiacente all'area di assemblaggio, ed è articolata in due aree funzionali: una principale, che ospita i Centri di Lavoro (CdL) per le lavorazioni, e una secondaria, destinata al lavaggio dei pezzi e alla gestione del fluido refrigerante per l'intera linea (Sistema Cosema – cisterna interrata di grande capacità). La movimentazione interna tra i CdL è affidata a carrelli su binario con attrezzature di posizionamento, mentre i comandi principali sono posizionati su una piattaforma rialzata. (V. Fig. 1.1, 1.2, 1.3)

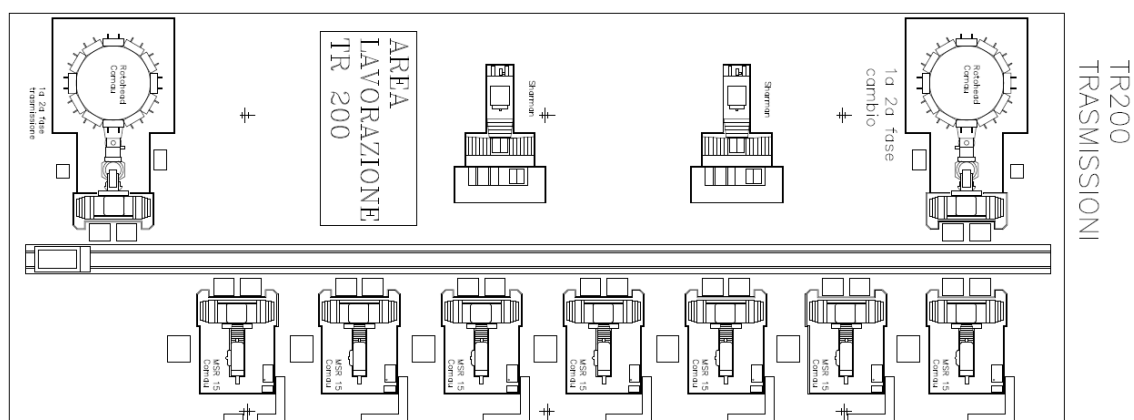


Figura 1.1: Schema layout semplificato della linea TR200 - Area Lavorazioni.

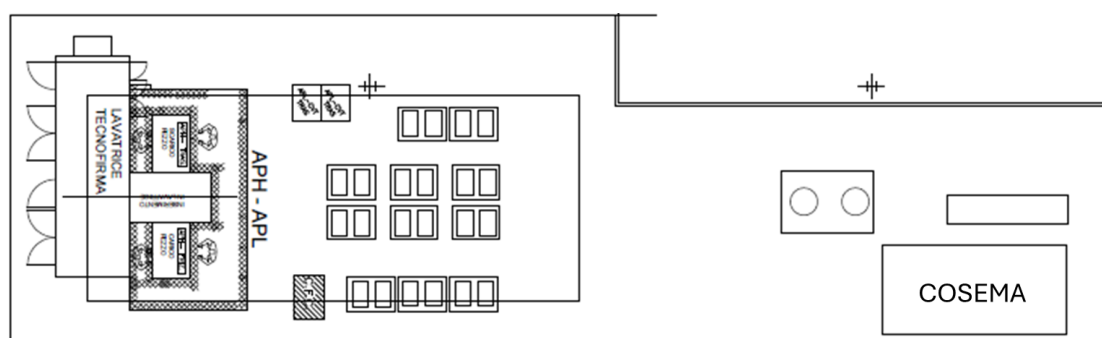


Figura 1.2: Schema layout semplificato della linea TR200 - Area Lavaggio.



Figura 1.3: Vista assiale della linea dalla piattaforma rialzata: binario di asservimento centrale e centri di lavoro MSR a destra, Scharmann (bianco) a sinistra.

La linea comprende 7 CdL CNC Comau MSR, 2 stazioni di foratura a testa multipla RotoHead e 2 CdL di finitura Scharmann. Il flusso operativo è comune alle due sottolinee — Trasmissioni e Frizioni — e prevede, in sequenza: carico del grezzo → MSR (1^a fase) → RotoHead (1^a fase) → ribaltamento → MSR (2^a fase) → RotoHead (2^a fase) → Scharmann per finitura → lavaggio/controllo. La gestione è semi-automatizzata: il conduttore di sottolinea carica/scarica i pallet ed effettua il ribaltamento con appositi dispositivi; sono presenti paranchi con ganci dedicati per la presa delle scatole. Alcune stazioni sono configurate in modo specifico per una sola sottolinea, altre possono essere riconfigurate o condivise in base alla pianificazione.

Nonostante tali possibilità, l'architettura rimane rigida: per completare un componente occorrono più passaggi su CdL in serie, per cui il fermo di una stazione interrompe la catena produttiva e richiede risorse per riconfigurare il flusso. Questa limitata flessibilità è una delle motivazioni che sostengono la transizione descritta nel §1.2.4. Per una lettura puntuale dei ruoli macchina, la Tabella 1.1 in chiusura mappa i CdL per sottolinea e fase; la descrizione dello stato operativo (capacità, disponibilità, performance, qualità e coperture) è riportata nel §1.2.3.

Tabella 1.1: Mappatura CdL per sottolinea

Sottolinea	Tipo macchina	ID macchina	Ruolo di fase	Versione Prodotto
Trasmissioni	MSR-15	203	2 ^a	40 km/h
Trasmissioni	MSR-15	204	1 ^a	40–50 km/h
Trasmissioni	MSR-15	208	2 ^a	50 km/h
Trasmissioni	RotoHead	209	1 ^a e 2 ^a	40–50 km/h
Trasmissioni	Scharmann	135	2 ^a	40–50 km/h
Frizioni	MSR-15	202	1 ^a	FPS
Frizioni	MSR-15	205	2 ^a	FPS
Frizioni	MSR-15	206	2 ^a	SPS
Frizioni	MSR-15	207	1 ^a	SPS
Frizioni	RotoHead	210	1 ^a e 2 ^a	SPS e FPS
Frizioni	Scharmann	136	2 ^a	SPS e FPS

1.2.2 Insourcing della Nuova Generazione APH SWB

L'insourcing della nuova generazione **APH SWB** nasce dall'esigenza di allineare la gamma di driveline principale alle richieste del mercato, in particolare europeo, dove le normative su sicurezza e impatto ambientale risultano più stringenti. Ciò ha portato a ottimizzare la sicurezza della cabina del trattore, il comfort interno e la digitalizzazione dei sistemi di bordo. Le modifiche introdotte si riflettono quindi sull'elemento strutturale portante del trattore, ossia la **driveline**.

Quest'ultima, composta da una **scatola Frizione** (collegata al motore e contenente il cambio) e da una **scatola Trasmissione** (in serie alla prima e contenente il differenziale, con pignone e corona, e il possibile rinvio per il **4WD**), svolge il ruolo di telaio portante nella filosofia costruttiva tipica di CNH. Le conseguenze per la produzione consistono in **lavorazioni aggiuntive o modificate** finalizzate a garantire il pieno supporto ai nuovi elementi idraulici, elettronici e della cabina. Come verrà approfondito nel §2.2, le differenze introdotte dalla nuova versione interessano **principalmente le superfici esterne** della driveline, con **piani fresati, forature e maschiature**.

In risposta a tali cambiamenti, i volumi produttivi attesi si riducono di circa il 25% e si ridistribuiscono tra due nuove versioni: APH SWB SPS (oggetto del presente studio) e APH SWB DCT, industrializzata con un progetto distinto su due CdL dedicati per requisiti metrologici più stringenti. La versione FPS della scatola Frizione procede verso il phase-out. Il grafico (Fig.1.4) evidenzia il cambio di mix: la Old Gen decresce fino ad azzerarsi (Q3–Q4 '26), mentre la DCT effettua il ramp-up fino al plateau di 3¹; la SPS New Gen converge allo stesso livello, configurando a regime volumi equivalenti tra le due nuove versioni e confermando la riduzione strutturale complessiva.

¹I valori riportati sull'asse delle ordinate sono stati anonimizzati per ragioni di riservatezza aziendale. Il grafico ha lo scopo di illustrare l'andamento qualitativo e la variazione del mix produttivo nel tempo.

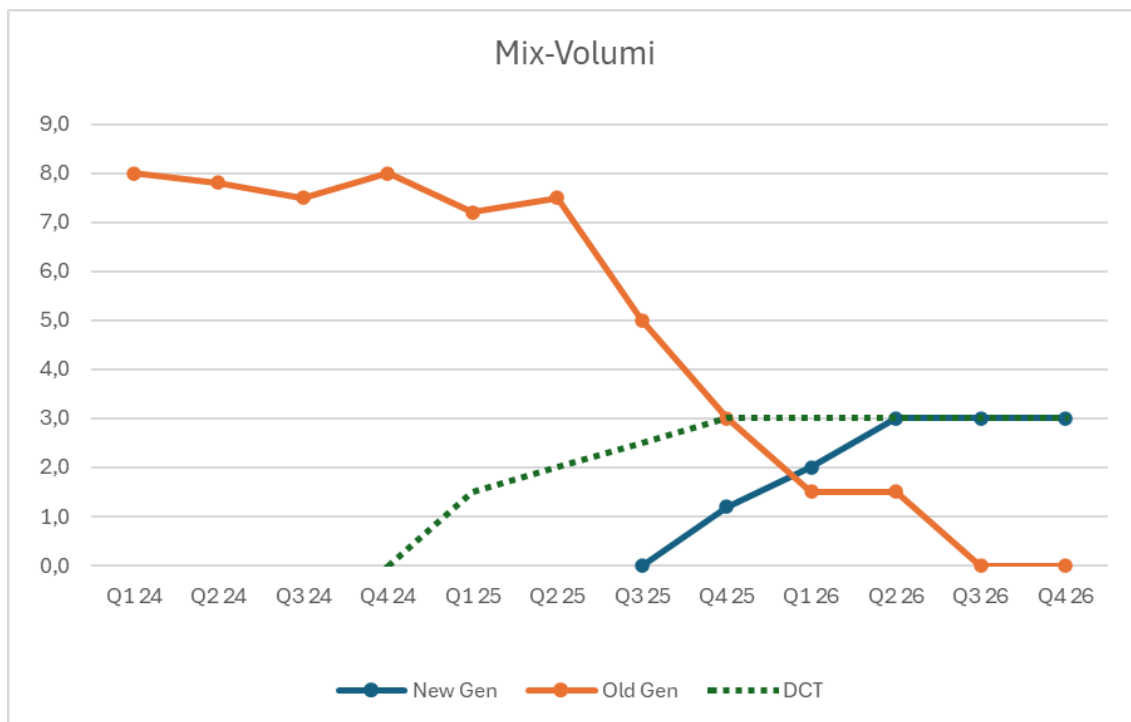


Figura 1.4: Evoluzione dei volumi: ramp-down Old Gen, ramp-up SPS/DCT; riduzione complessiva 25%.

1.2.3 Current State della linea TR200

La linea presenta diverse criticità, riconducibili in particolar modo alla sua obsolescenza. La principale riguarda la collocazione, che la rende problematica per il reparto di assemblaggio: la polvere generata dalle lavorazioni, essendo volatile, può contaminare processi che richiedono elevati livelli di pulizia, soprattutto per le parti idrauliche. Inoltre, la TR200 non garantisce al momento la copertura totale dei piani produttivi nella settimana lavorativa standard e richiede spesso straordinari e riattrezzaggi tra le sottolinee per coprire i volumi richiesti. Tale situazione è dovuta alla scarsa affidabilità — con guasti molto frequenti — e a performance limitate, dovute principalmente ai parametri caratteristici dei macchinari (velocità massima di rotazione del mandrino, velocità nei rapidi, cambio utensili) e ai microfermi, spesso imputabili a utensili di vecchia generazione non sempre aggiornabili su macchinari di questo tipo.

La baseline di progetto considera anche l'impatto economico che la linea ha sulle spese del plant. L'obsolescenza comporta un fabbisogno manutentivo continuo, non sempre gestibile in modo parsimonioso: non tutti i ricambi sono facilmente reperibili sul mercato e richiedono tempi di attesa molto lunghi; si aggiungono inoltre componenti non sostituibili con parti "commerciali", che necessitano della produzione su misura da parte di specialisti. Oltre al costo dei singoli ricambi, vanno considerate le ore che l'ente di manutenzione impiega sui CdL della linea per gli interventi.

Accanto ai costi di manutenzione, sono presenti spese rilevanti per energia, consumabili e servizi PRWS (Production Related Work Services). La linea è composta

da undici CdL singoli che lavorano simultaneamente e richiedono pertanto molta potenza elettrica; nei mesi invernali è inoltre necessario riscaldare l'ambiente di lavoro per garantire adeguate condizioni di comfort alla manodopera. Quest'ultima rappresenta a sua volta una criticità economica: per operare, la linea richiede attualmente una squadra di otto conduttori, organizzati su tre turni giornalieri, che spesso ricorrono a straordinari.

In conclusione, la TR200 è oggi in grado di continuare il proprio servizio, ma presenta lacune significative e difficilmente colmabili. Tali criticità costituiscono il catalizzatore della transizione descritta nel §1.2.4.

1.2.4 Razionale della transizione

L'introduzione delle nuove versioni non può essere ospitata dalla TR200: la linea non garantirebbe le caratteristiche di qualità richieste a un nuovo processo, specialmente per le lavorazioni CTQ. Inoltre, la riprofilazione dei volumi non giustifica il dispendio energetico e di manodopera necessario a mantenerla operativa. Considerata l'evoluzione del mercato, ulteriori modifiche di prodotto a medio termine risulterebbero comunque più onerose su una linea con teste multiple rispetto a centri di lavoro singoli.

Accanto a queste motivazioni di prodotto, permangono le criticità proprie della linea: collocazione in area di assemblaggio, costi elevati e fabbisogni organizzativi significativi. L'impegno economico e umano richiesto non è proporzionato ai volumi residui e lo spegnimento consentirebbe di riallocare risorse su attività a maggior valore.

Ne consegue l'esclusione dell'ipotesi di revamping: un intervento profondo su MSR, RotoHead e Scharmann avrebbe costi molto alti e, data l'obsolescenza della piattaforma, non offrirebbe garanzie sul livello qualitativo conseguibile.

La soluzione razionale è quindi la transizione verso **centri di lavoro già presenti nel plant** (Heller MCH460 e Mandelli Spark 1300), che offrono caratteristiche tecniche superiori e maggiore flessibilità. La presenza di unità gemelle consente inoltre di assorbire guasti o variazioni senza compromettere il piano produttivo, mentre magazzini utensili più capienti agevolano la gestione di lavorazioni multiple.

Il grafico 1.5 confronta la domanda con le capacità massime disponibili. La somma New Gen + DCT (viola), anche se lavorata sulla TR200, resta sotto la capacità storica (verde) e non la saturerebbe, complice la riduzione dei volumi. Spostando la New Gen su CdL dedicati, l'output (blu) si porta a ridosso della capacità CNC (azzurro), aumentando la saturazione e la stabilità. La transizione è motivata, tra le varie ragioni, anche dall'allineamento tra capacità effettiva e nuovo profilo di domanda, più che da un limite assoluto di capacità.²

²I valori riportati sull'asse delle ordinate sono stati anonimizzati per ragioni di riservatezza aziendale. Il grafico ha lo scopo di illustrare l'andamento qualitativo e la variazione del mix produttivo nel tempo.

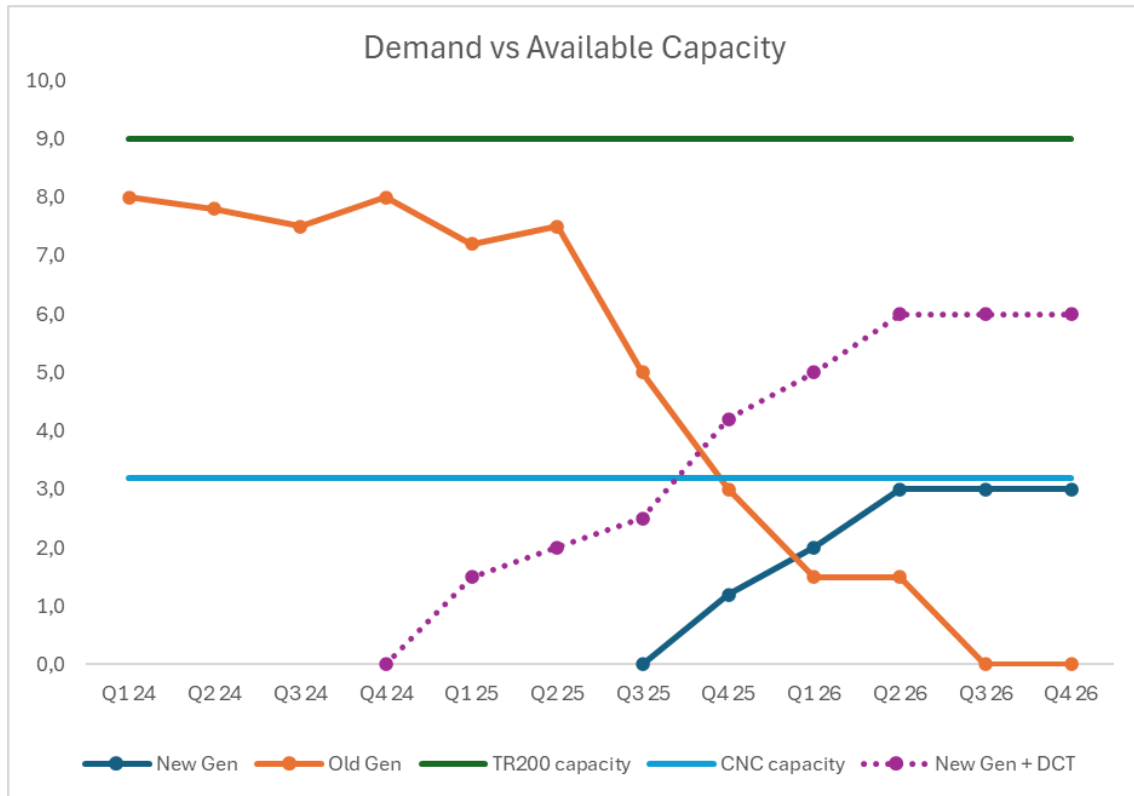


Figura 1.5: Domanda (Old Gen, SPS New Gen, DCT) vs capacità (TR200, CdL): riduzione volumi e maggiore saturazione sui CdL a regime.

Il progetto si articola in **due macro-fasi**: (i) studio del prodotto e del processo attuali; (ii) validazione in esercizio tramite **capability** sui nuovi CdL. Operativamente, il workflow è strutturato in quattro fasi — *Preparazione; Pilot/Primo pezzo; Parallel running & Cross-point; Shutdown* — che saranno descritte nel §2.5.

Capitolo 2

Obiettivi, Metodo e Strumenti

2.1 Obiettivi

Gli obiettivi qui formalizzati definiscono la direzione tecnica del progetto di transizione ai centri di lavoro (CdL) e costituiscono la base per derivare, nei paragrafi successivi, requisiti misurabili, KPI e workflow di implementazione. Si introducono dati concreti di riferimento per guidare scelte e verifiche, rinviando al §2.4 la definizione operativa di soglie e finestre temporali [12, 8].

2.1.1 Capacità e Flessibilità

L'obiettivo è che, al termine della transizione, il nuovo Centro di Lavoro assicuri la copertura della domanda settimanale nei normali cinque giorni lavorativi, senza ricorso sistematico a straordinari. In aggiunta, il sistema deve garantire flessibilità operativa, consentendo di trasferire le lavorazioni su un CdL gemello in caso di indisponibilità del principale, così da preservare la continuità produttiva. I criteri quantitativi e le soglie di accettazione sono specificati in §2.4; le modalità operative per conseguirli sono descritte in §2.5.

2.1.2 Qualità

L'obiettivo è quello di aumentare la qualità del processo rispetto alla baseline. Questo si tramuta in una capability di validazione sulle quote CTQ con C_p e $C_{pk} \geq 1,33$ e sulle quote non-CTQ con la piena conformità al disegno. Inoltre, verranno definite le modalità di monitoraggio di stabilità di processo, attraverso i diversi strumenti a disposizione della Lean Manufacturing. Le modalità specifiche sulla validazione del processo verranno trattate in §2.4 mentre le strategie di monitoraggio nel §2.5.

2.1.3 Economici

L'obiettivo è ridurre in modo sistematico le principali voci di costo del processo, intervenendo sulle leve che incidono maggiormente: manutenzione (fermi non pianificati e tempi di ripristino), energia (con distinzione tra funzionamento e inattività),

consumabili (oli, lubrificanti, utensili), organizzazione del lavoro e costi della non qualità (scarti e rilavorazioni). Rientra nella valutazione anche il valore d'uso dello spazio liberato, considerato come potenziale abilitante per riconfigurazioni di layout o investimenti futuri.

Il risultato economico atteso deve essere coerente con gli standard aziendali di ritorno sull'investimento; i relativi criteri e soglie sono specificati nel §2.4 e verranno consolidati nel Capitolo 3.

2.2 Studio del Prodotto

2.2.1 Analisi delle differenze

La transizione del processo passa obbligatoriamente per lo studio del prodotto. Nel caso di studio riportato l'analisi mette a confronto la generazione precedente con la New Gen, focalizzandosi sulle differenze geometriche rilevanti per la producibilità. Le differenze rilevate sono prevalentemente esterne (piani, fori/maschiature, porte idrauliche), mentre le caratteristiche critiche interne rimangono invariate. Le poche variazioni interne riscontrate non modificano i CTQ e non alterano i criteri di capability.

L'output di questa analisi è una lista di lavorazioni potenzialmente critiche in termini di ingombri, dimensioni utensile richiesto e difficoltà intrinseca delle stesse. Questo primo step di processo si basa quindi sul preparare un report sulle possibili problematiche, cercando di eliminarle alla radice.

La Tabella 2.1 riporta l'allineamento tra versioni e codici utilizzati nell'analisi. Per la variante 40 km/h si fornisce il solo allineamento dei codici, non essendo emerse differenze significative rispetto al perimetro analizzato. Le uniche differenze con la versione 50 km/h interessano i diametri interni delle sedi cuscinetto per gli alberi di trasmissione, i quali saranno realizzati da utensili specifici illustrati nel Capitolo 3.

Tabella 2.1: Allineamento versioni e codici.

Variante	Codice Vecchio	Codice Nuovo
Frizione SPS	51439475	92263869
Frizione FPS	51439511	-
Trasmissione 50 km/h	47963251	92282710
Trasmissione 40 km/h	47963253	92282711

Per ciascuna scatola si adottano le sei facciate convenzionali, in riferimento alla posizione di guida del trattore: **TOP**, **BOTTOM**, **FRONT**, **REAR**, **LH**, **RH**. Le differenze sono classificate come *Modifiche* (variazioni di geometrie esistenti) e *Aggiunte* (nuove feature).

FRIZIONE SPS – DA 51439475 A 92263869

SIDE LH:

Sul lato sinistro (Fig. 2.1) si riscontra innanzitutto l'incremento di quattro forature da $M14 \times 1,5$ a $M16 \times 1,5$, soluzione adottata per assicurare un fissaggio più robusto dell'elemento di supporto cabina. A questa modifica si affianca l'aggiunta di un piano fresato che accoglie quattro porte idrauliche ISO 6149: tre $M16 \times 1,5$ e una $M27 \times 2$. Completano il quadro tre ulteriori piani fresati, ciascuno predisposto con due fori $M8 \times 1,25$, oltre a sei fori $M8 \times 1,25$ ricavati su borchie singole (in gruppi di tre), destinati al sostegno di supporti per condotti idraulici.

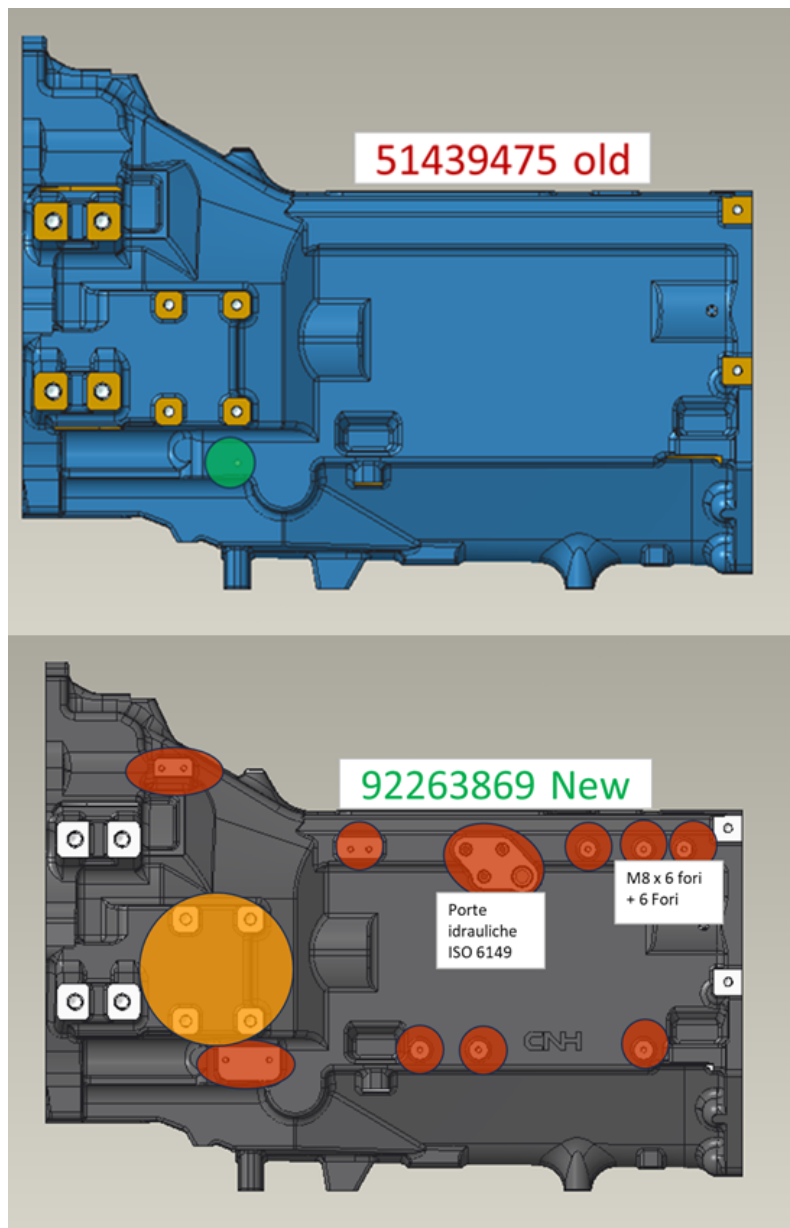


Figura 2.1: Frizione SPS, side LH.

SIDE FRONT:

Nella zona inferiore, in corrispondenza dell'asse 4WD, sono state introdotte lavorazioni "di guardia" (Fig. 2.2,2.3): superfici lavorate con finitura specificata ($Ra\ 12,5\ \mu m$) e senza tolleranze dimensionali strette. Tali lavorazioni hanno funzione preventiva, garantendo lo spazio necessario dove potrebbero verificarsi interferenze con utensili o componenti, a fronte di incertezze localizzate sui grezzi.

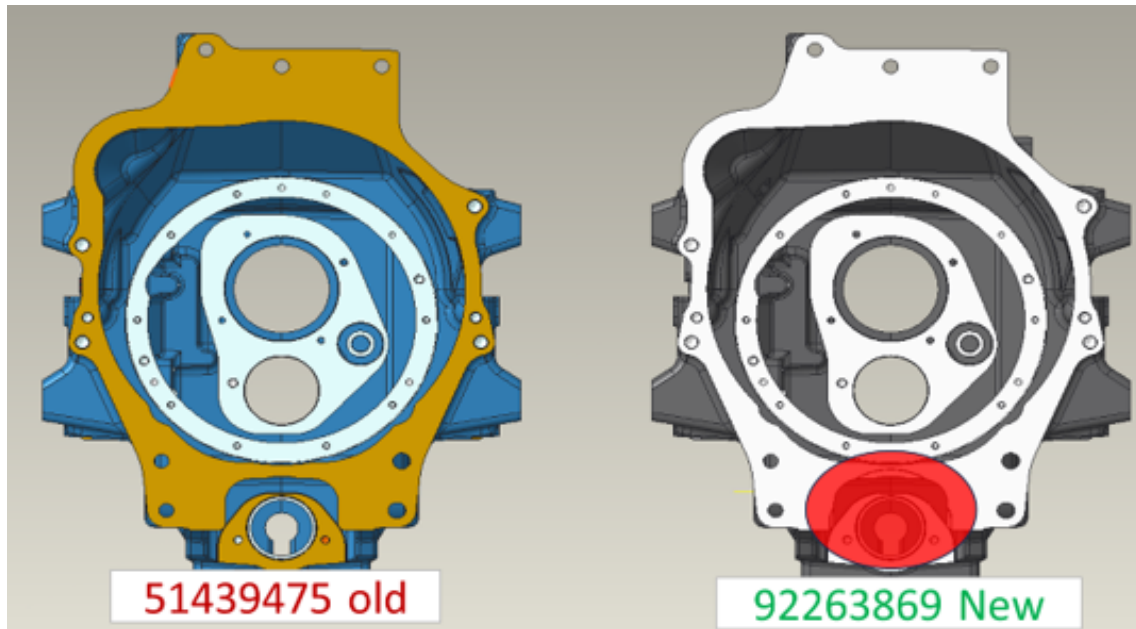


Figura 2.2: Frizione SPS, side FRONT.

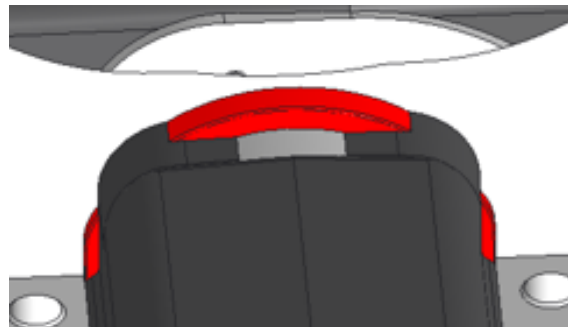


Figura 2.3: Frizione SPS, side FRONT, dettaglio sulle lavorazioni di guardia: in rosso si possono osservare le asole da ricavare in più rispetto al profilo originale.

SIDE RH:

Oltre all'allineamento dei quattro fori maschiati già presenti in modo analogo sul lato LH, è stata modificata la zona che in precedenza comprendeva un foro passante e un filetto M6 (Fig. 2.4): il filetto viene eliminato, mentre il foro passante è trasformato in porta idraulica ISO 6149 M20×1,5, con contornatura su piano fresato esterno di $\varnothing 38$ mm. Si aggiungono inoltre fori di supporto M8 e due porte ISO 6149 M22×1,5 in posizione dedicata.

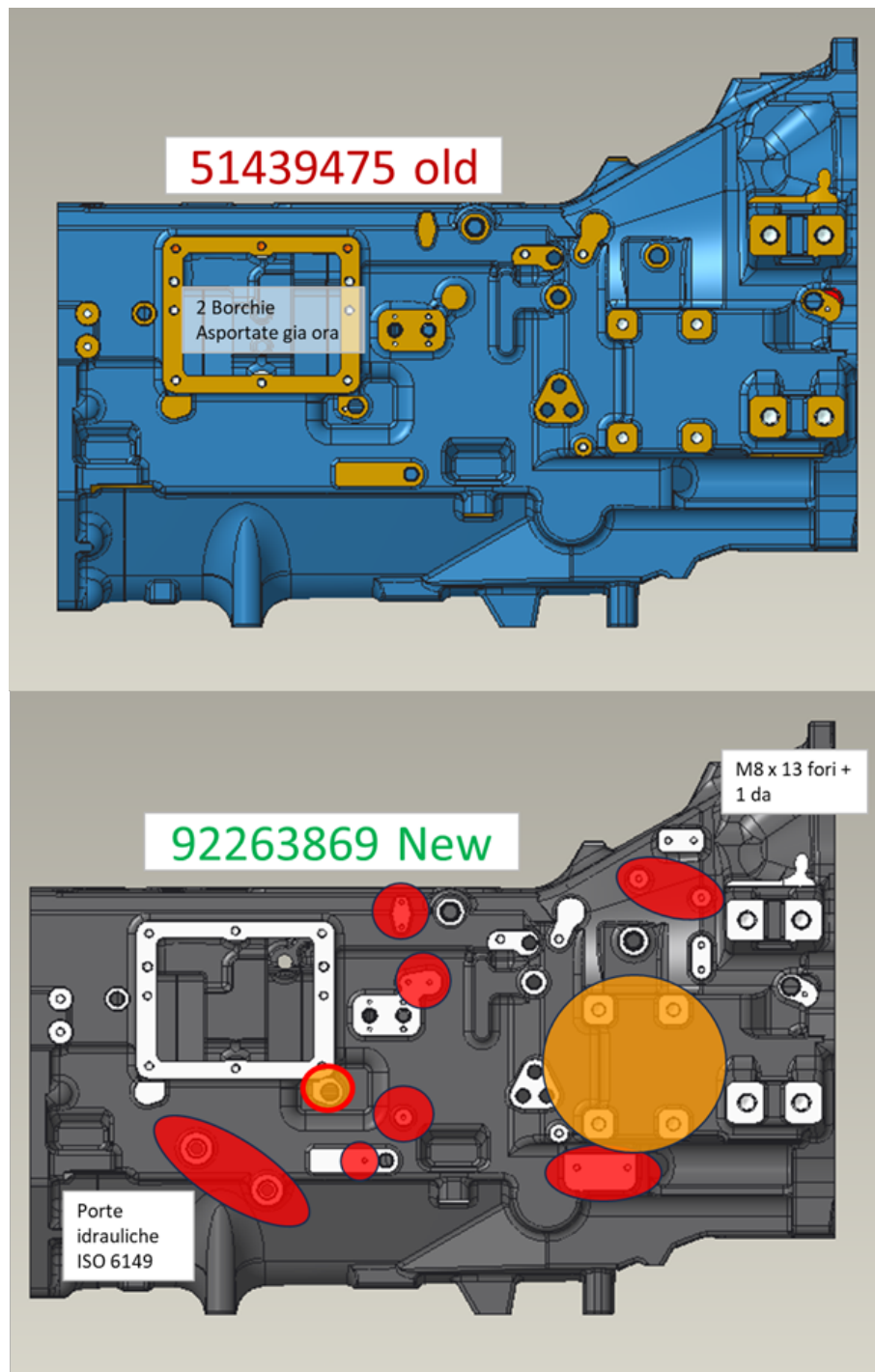


Figura 2.4: Frizione SPS, side RH.

SIDE TOP:

Sulla sommità vengono aggiunti numerosi fori M8×1,25 e due fori M6×1, predisposti per il fissaggio di componenti idraulici ed elettronici distribuiti in più aree della superficie (Fig. 2.5).

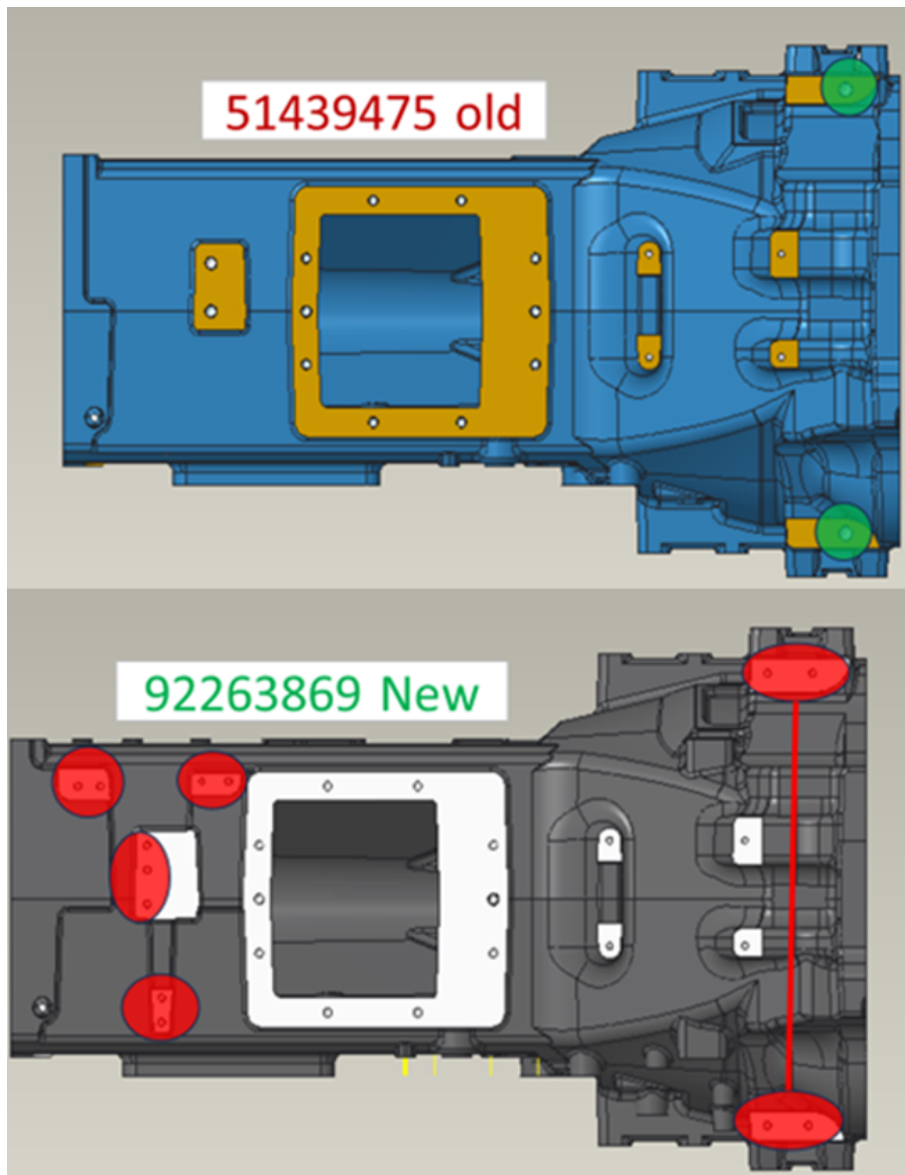


Figura 2.5: Frizione SPS, side TOP.

SIDE REAR e BOTTOM.

Per queste facciate non si rilevano differenze rispetto alla generazione precedente.

TRASMISSIONE 50 km/h – DA 47963251 A 92282710

SIDE LH:

In prossimità delle interfacce laterali, un foro filettato viene portato da M8×1,25 a M12×1,25, con conseguente ri-profilatura del piano fresato su cui è praticato. Una variazione analoga è presente nell'angolo superiore sinistro, con l'aggiunta di un ulteriore foro M8×1,25 e l'adeguamento del relativo piano fresato (forma e dimensioni) alla nuova configurazione. Sulla circonferenza della zona riduttore viene inoltre semplificata una foratura precedentemente a doppio diametro ($\varnothing 6$ e $\varnothing 13$ mm), ora ricondotta a $\varnothing 6$ mm unico, mentre l'asola esterna è riprogettata con raggio 20 mm. In aggiunta, lungo la medesima circonferenza sono realizzati tre fori M14×1,5 destinati all'ancoraggio per AGV e movimentazioni in assemblaggio (punti tecnici separati dai fori di tenuta del riduttore, lasciati liberi fino al montaggio). Completano il lato le lavorazioni per la sede del sensore di prossimità (contagiri): foro di misura $\varnothing 14$ H9 e foro di fissaggio M6×1 ricavati su una fresatura a bassorilievo rettangolare con angoli smussati (Fig. 2.6).

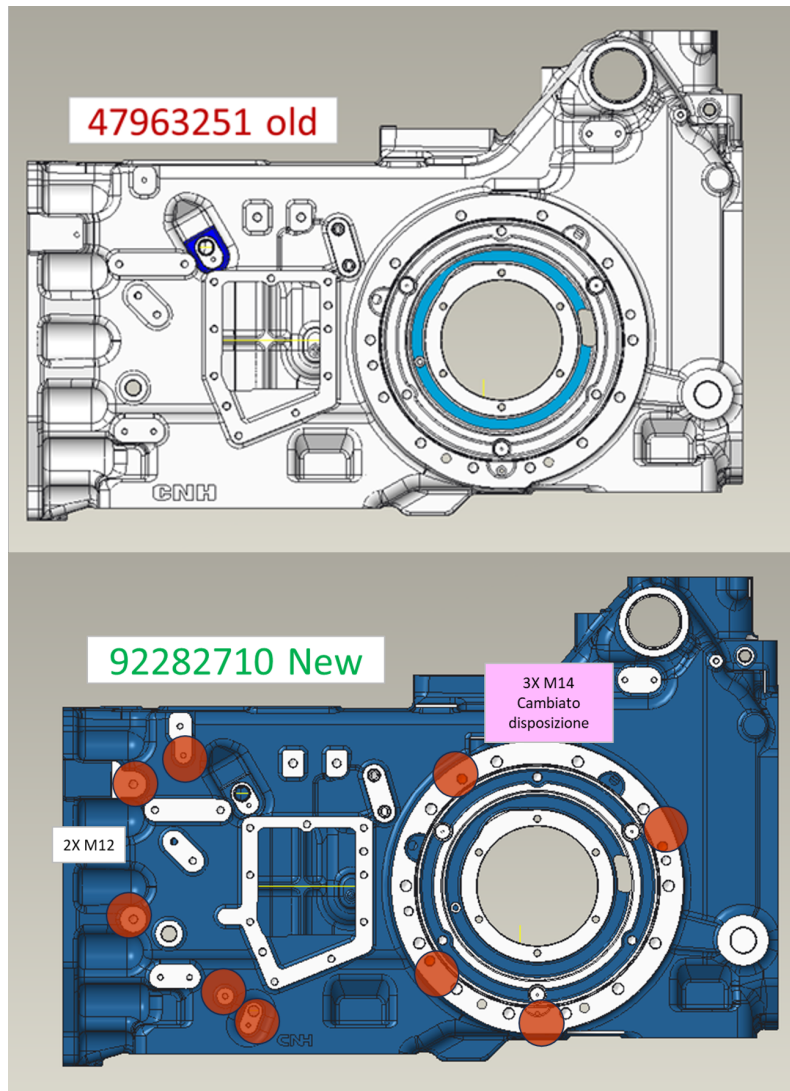


Figura 2.6: Trasmissione 50 km/h, side LH.

SIDE RH: Sul lato destro (Fig. 2.7) vengono riproposti i tre fori M14 di supporto per il montaggio e la sede del sensore (in coerenza con il lato opposto); si aggiungono fori filettati M8 e M10 per supporti dedicati e una porta idraulica ISO 6149 M22×1,5 in prossimità dell'attacco freni.

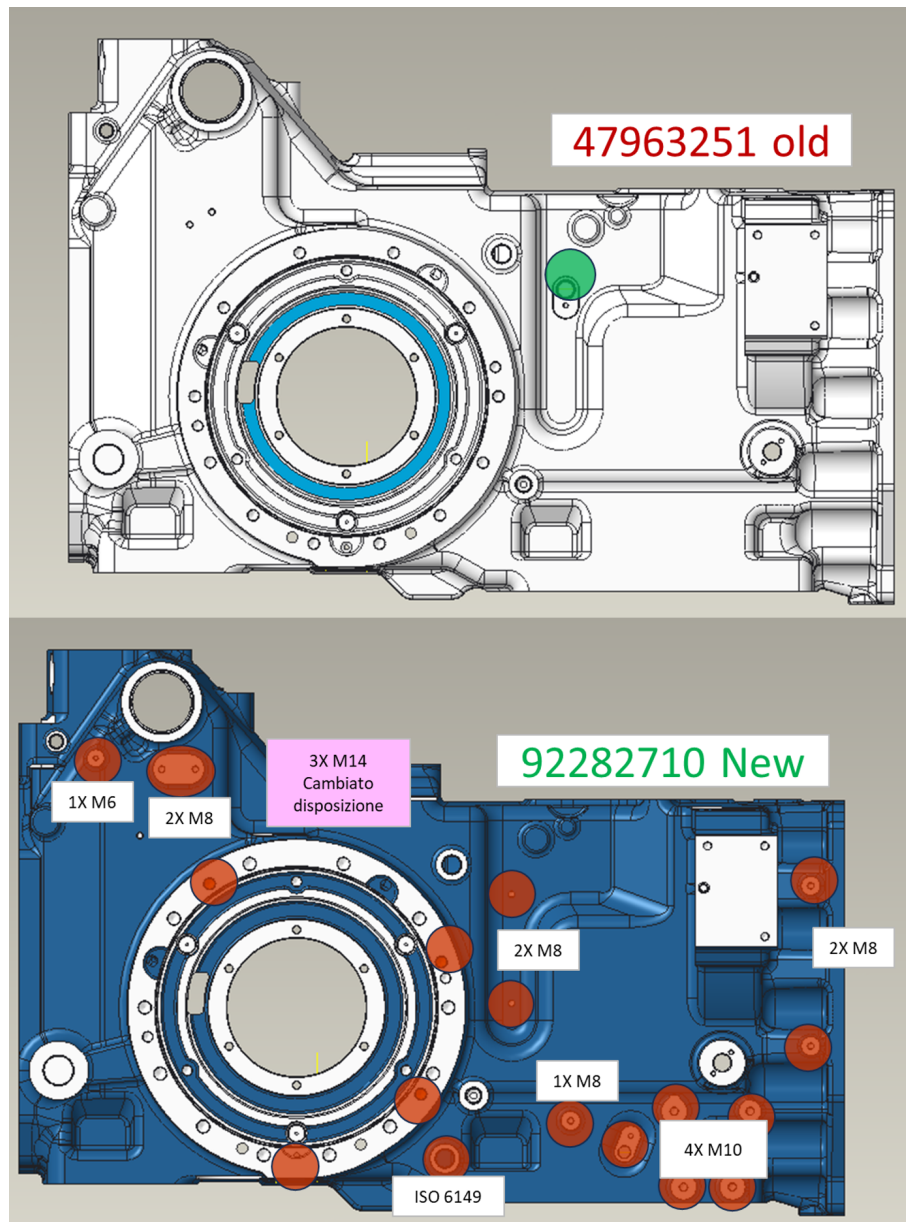


Figura 2.7: Trasmissione 50 km/h, side RH.

SIDE TOP:

Sul piano fresato centrale le tre porte idrauliche passano da M16 a M18×1,5 (ISO 6149). Il piano anteriore (manifold) viene ampliato e riorganizzato, accogliendo un numero maggiore di fori (fissaggio, grani di centraggio, condotti idraulici). Sono inoltre aggiunti svariati M8×1,25 per supporti elettronici e idraulici, con un'ulteriore porta ISO 6149 M14×1,5 in posizione centrale, a valle dell'asse del sollevatore posteriore (Fig. 2.8).

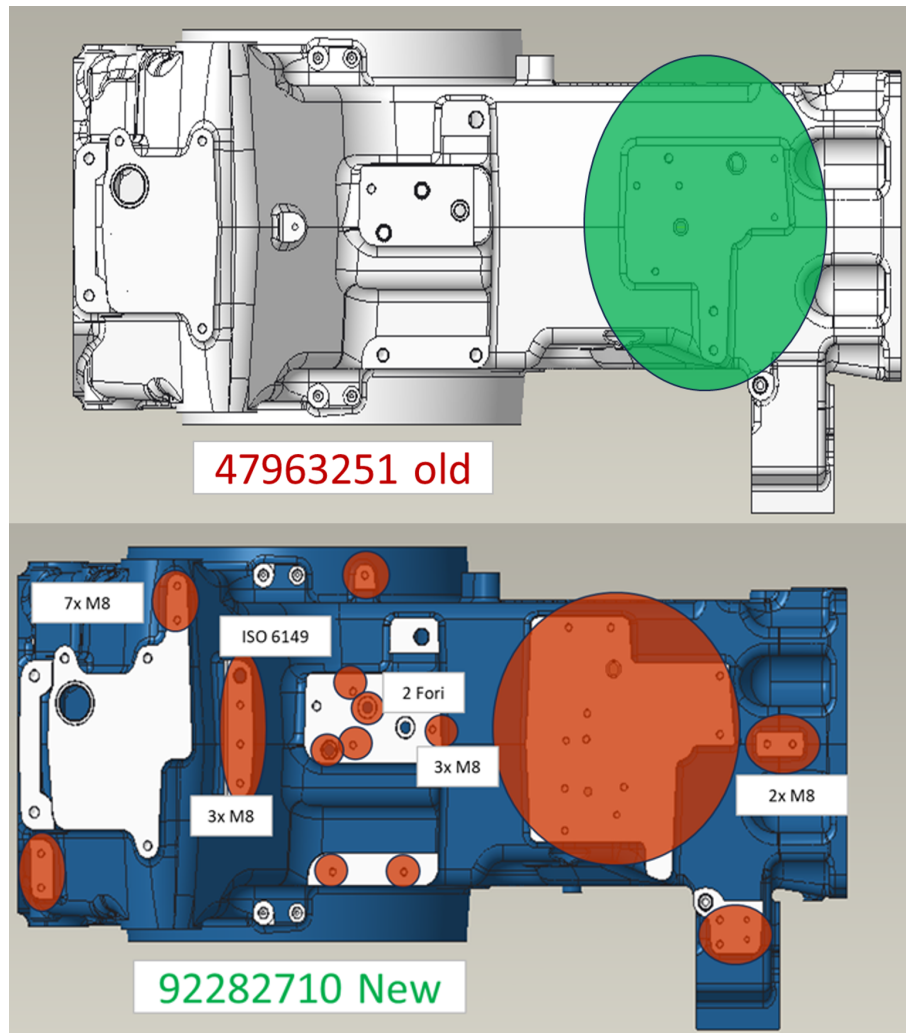


Figura 2.8: Trasmissione 50 km/h, side TOP.

Side FRONT e BOTTOM. Per queste facciate non si riportano differenze.

Le sovrapposizioni 3D (V. Fig. 2.9, 2.10) evidenziano una elevata continuità dimensionale tra Gen V e New Gen: le superfici funzionali mantengono posizioni e ingombri coerenti, mentre le variazioni si concentrano su piani esterni, pattern di foratura e porte. Questo aspetto, di natura intrinsecamente “di prodotto”, semplifica la progettazione delle attrezzature (basamenti, riferimenti, punti di presa) e dei dispositivi di ribaltamento, che possono essere derivati concettualmente da soluzioni esistenti, con adeguamenti mirati alle nuove interfacce. I dettagli di adattamento verranno discussi nelle sezioni successive.

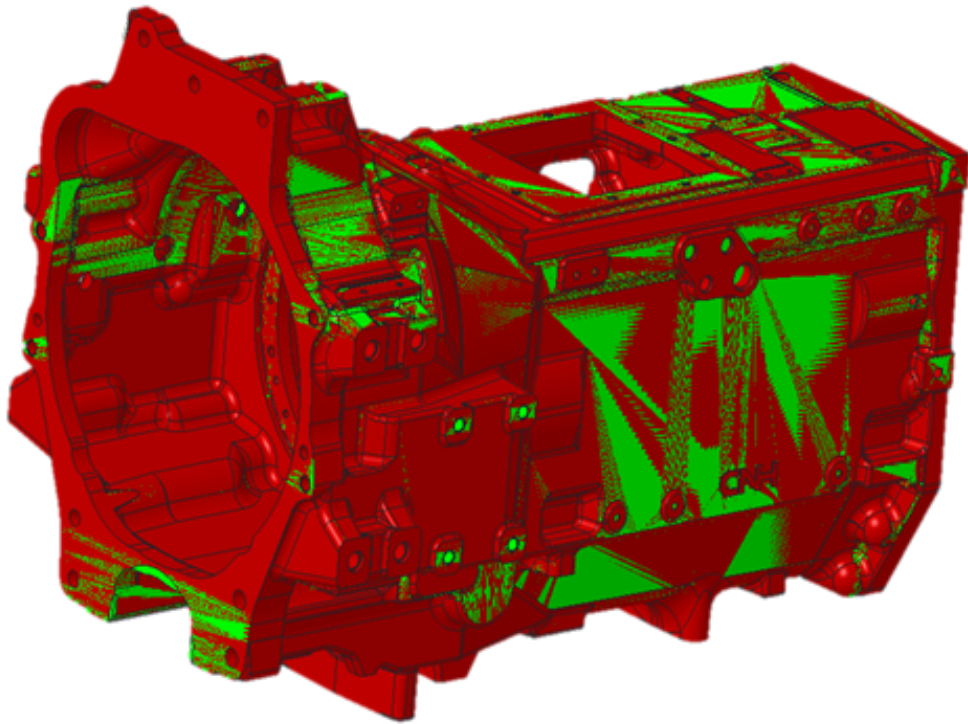


Figura 2.9: Sovrapposizione 3D Gen V / New Gen: continuità dimensionale globale; differenze localizzate su superfici esterne; Frizione.

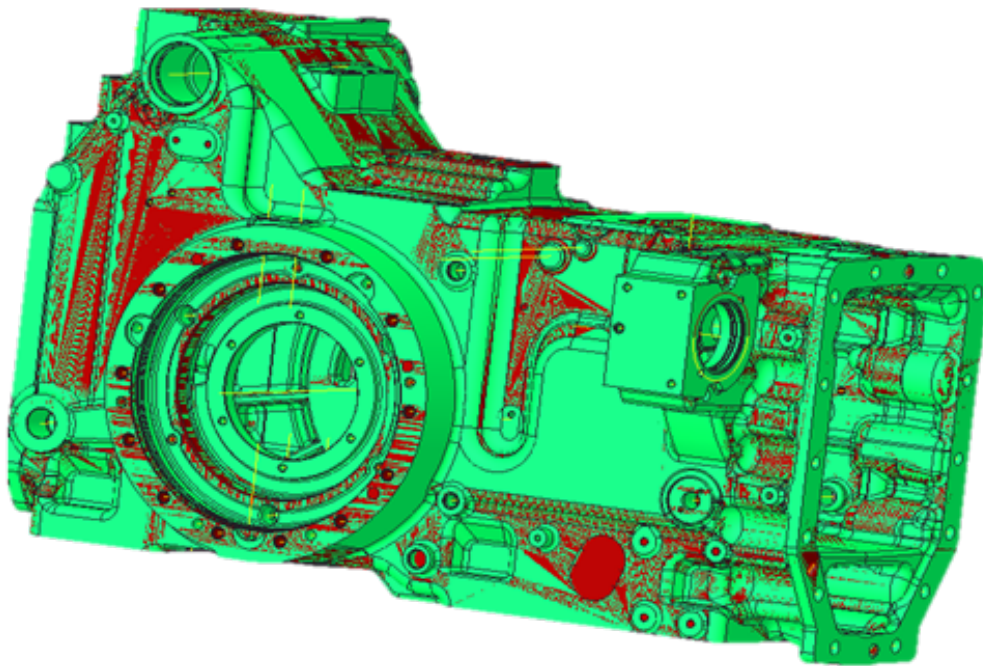


Figura 2.10: Sovrapposizione 3D Gen V / New Gen: continuità dimensionale globale; differenze localizzate su superfici esterne; Trasmissione.

2.2.2 Ottimizzazione Caratteristiche

Una volta evidenziate le differenze di lavorazione tra la versione precedente e la nuova, lo studio si concentra sull'ottimizzazione. Tale fase, parte essenziale dell'attività preparatoria, consente di prevenire la maggior parte delle possibili complicazioni prima dell'avvio in macchina. L'analisi viene condotta sui disegni tecnici e sui modelli 3D, esaminando sistematicamente tutte le lavorazioni: pur impegnativa in termini di tempo, essa permette di individuare sottogruppi omogenei per valutarne l'unificazione, verificare la fattibilità delle operazioni e intercettare eventuali incongruenze o errori a disegno.

L'output atteso è l'apertura di un dialogo strutturato con l'ente di Ingegneria, che opera come nodo di coordinamento tra Manufacturing, Assemblaggio e Fonderia. A Ingegneria compete la ricomposizione dei vincoli e delle esigenze talvolta in tensione (ad esempio, richieste di montaggio che non sempre coincidono con la massima semplificazione delle lavorazioni), la valutazione della fattibilità tecnica delle proposte e la relativa approvazione.

Le ottimizzazioni proposte si fondano sull'esperienza diretta maturata in progetti precedenti e costituiscono un caso di yokoten (diffusione laterale delle buone pratiche) e di miglioramento continuo basato su evidenze operative. In tal modo si applica sistematicamente il principio Lean di integrare nel processo le lezioni apprese sul campo.

Di seguito si riportano alcune delle ottimizzazioni discusse. I risultati che queste hanno portato saranno discussi nel paragrafo §3.1.

- Riduzione del raggio di fresatura di un piano attualmente in parte sottosquadro. L'obiettivo è semplificare la lavorazione per poterla effettuare senza ingombri diretti del pezzo (Fig. 2.11).
- Unificazione della profondità di diverse forature con la stessa filettatura disposte in diverse superfici delle scatole (Fig. 2.12).
- Riduzione del diametro di un foro eseguito sullo stesso asse di una filettatura M10x1,25. Il pre-foro di quest'ultima ha un diametro di 8,8 mm mentre il foro successivo richiesto è di 9 mm. Eseguendo un pre-foro più largo non si garantirebbe la corretta maschiatura (Fig. 2.13).

In sintesi, le ottimizzazioni proposte mirano a semplificare l'industrializzazione, riducendo varianti non necessarie e ambiguità operative, con un impatto atteso circoscritto alle lavorazioni coinvolte. Le proposte sono valutate secondo il criterio di no-regression, senza modificare le caratteristiche critiche (CTQ) né i relativi criteri di capability. L'output atteso è l'approvazione da parte dell'ente di Ingegneria, quale atto di indirizzo per l'implementazione; gli esiti quantitativi e le misure sui KPI saranno riportati nel §3.1.

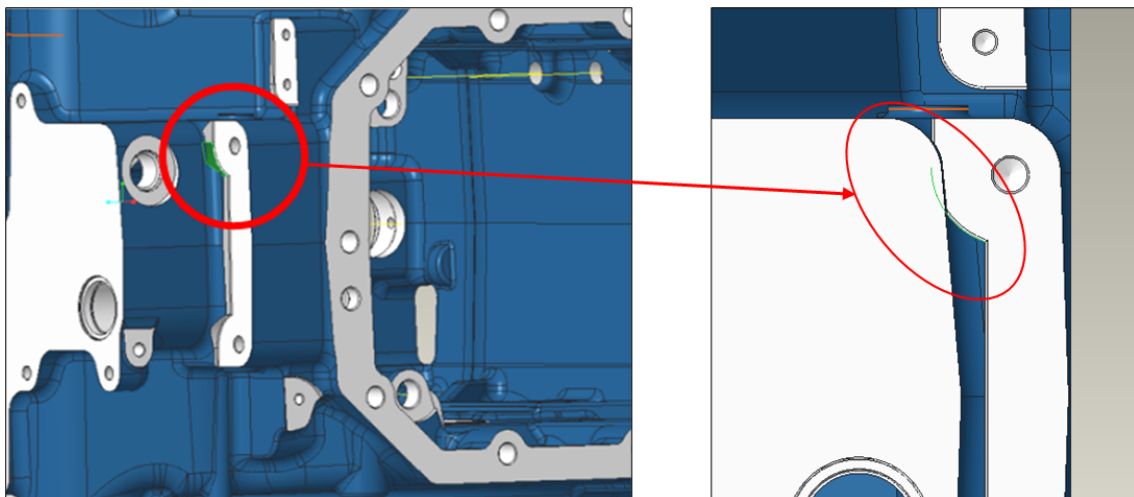


Figura 2.11: Dettaglio della fresatura sottosquadro critica.

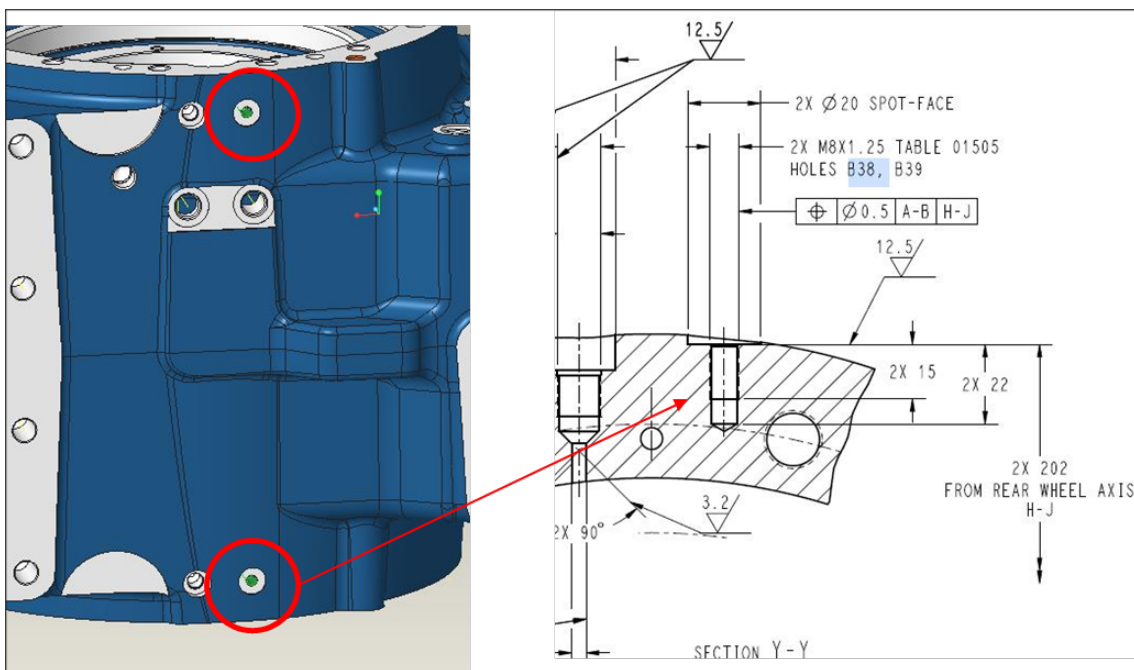


Figura 2.12: Esempio di alcuni fori cui è stata richiesta l'unificazione della profondità.

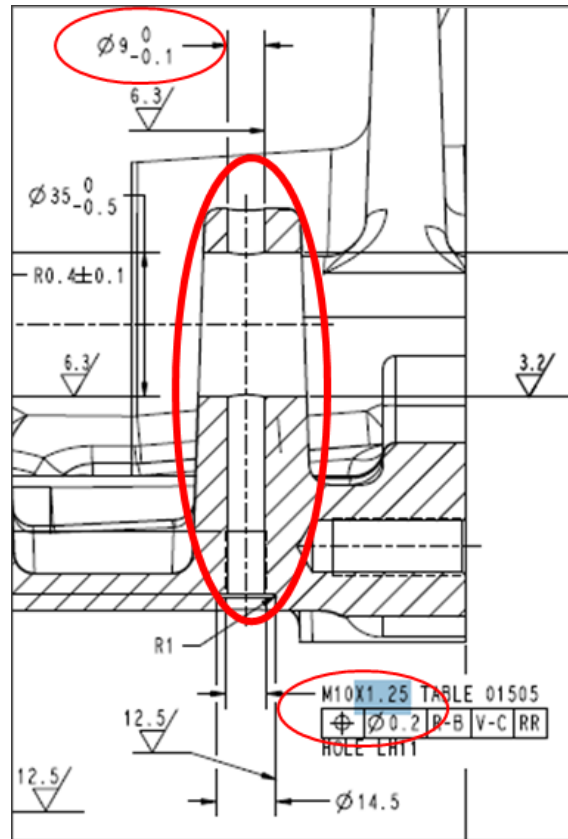


Figura 2.13: Dettaglio estratto dal disegno tecnico della filettatura M10×1,25.

2.3 Studio del Processo

2.3.1 Analisi del processo attuale

L'analisi del processo attuale realizzato sulla TR200 viene eseguita con il solo scopo di identificare quelle criticità ricorrenti che causano perdite al flusso produttivo. Come già anticipato, la produzione di una scatola della Driveline da grezza a finita è costituita da due diverse fasi. La linea è articolata in due sottolinee (Frizioni e Trasmissioni) che operano in parallelo coinvolgendo macchinari diversi, a seconda del codice interessato. Il flusso, per entrambe, può essere riassunto così:

Grezzo → OP10 (MSR) → OP10 (RotoHead) → Ribaltamento → OP20 (MSR) →
OP20 (RotoHead) → OP20 (Scharmann)

Dove tra OP20 (RotoHead) e OP20 (Scharmann) viene alzato il pezzo e riposizionato su un'altra attrezzatura poiché le Scharmann non sono asservite dal carrello di trasporto.

In OP10 il pezzo è disteso sul fianco (RH side). Qui vengono eseguite lavorazioni di sgrossatura per i piani e, più importanti, vengono ricavati i fori per i grani di posizionamento. Questi sono dei fori la cui precisione è fondamentale in quanto fungono da riferimenti per il posizionamento del pezzo in seconda fase. In quest'ultima vengono, infatti, realizzati i diametri principali per l'alloggiamento degli alberi primari e secondari di trasmissione.

Nel RotoHead in prima fase vengono eseguite le forature delle flange anteriori e posteriori (le facciate FRONT e REAR). Questa operazione è la più breve (circa 5 minuti per la frizione SPS) ed è effettivamente il punto di forza della TR200. Allo stesso tempo il RotoHead è uno dei maggiori ostacoli alla flessibilità ricercata dal mercato odierno: eseguire una modifica di prodotto ogni 2-3 anni richiederebbe un investimento continuo nel cambio delle teste multiple, le quali hanno un costo ed una complessità elevata.

Negli MSR in OP20 vengono realizzate le lavorazioni di sgrossatura e semi-finitura dei diametri principali, mentre nel RotoHead vengono forate e filettate le superfici laterali dove sono presenti il maggior numero di forature.

Infine, i componenti semi-finiti vengono spostati sulle Scharmann per le lavorazioni di finitura, in particolar modo quelle degli assi principali. Queste macchine (n°135 e n°136) possono lavorare due codici ognuna (due Frizioni e due Trasmissioni) e determinano quindi il pacemaker delle sottolinee.

Tabella 2.2: Tempi ciclo per codice, fase e risorsa [min/pezzo]¹

Risorsa	FPS		SPS		TRASM. 50 km/h		TRASM. 40 km/h	
	<i>Prima fase</i>	<i>Seconda fase</i>	<i>Prima fase</i>	<i>Seconda fase</i>	<i>Prima fase</i>	<i>Seconda fase</i>	<i>Prima fase</i>	<i>Seconda fase</i>
MSR	72,32	101,54	73,21	85,65	80,56	117,2	69,14	119,92
RotoHead	4,60	19,65	4,88	22,31	10,98	25,52	13,98	26,52
Scharmann		29,78		38,74		47,68		47,99
Somma per Fase	72,32	131,32	78,09	146,7	91,54	190,4	83,12	194,43
Totale per versione	203,64		224,79		281,94		277,55	

Per la natura del progetto, l'analisi del processo è stata condotta a livello qualitativo: un confronto puntuale di capacità tra linea transfer e centro di lavoro (CdL) sarebbe fuorviante, trattandosi di filosofie produttive differenti. Lo studio mira quindi a evidenziare la sostenibilità operativa dell'assetto attuale—in particolare i limiti di affidabilità ed efficienza—rispetto ai volumi prospettici, con focus su obsolescenza di macchine e attrezzature, criticità metodologiche e relativi costi (manutenzione, energia, presidio).

L'obiettivo è quello di dare una visione generale dei parametri di processo attuali per poter individuare ciò su cui vanno concentrati gli investimenti dell'ufficio tecnico. Le problematiche ricorrenti individuate saranno analizzate nel paragrafo successivo.

La tabella seguente sintetizza i risultati assumendo, ai soli fini espositivi, una domanda settimanale pari a 80 pz per sottolinea, $FPY = 0,95$ e un parametro di Performance P stimato sulla base dell'esperienza di reparto. FPY e P non sono supportati da serie storiche; P include le perdite di velocità e i micro-fermi non classificati come guasti.

Tabella 2.3: KPI sintetici per sottolinea (scenario sostenibile)

KPI / Parametro	Frizioni (worst)	Trasmissioni (worst)
Availability A	73,6%	89,2%
Performance P (scenario)	75,0%	75,0%
OEE = A·P·Q	52,4%	63,6%
CT pacemaker (Scharmann 2 ^a)	38,74 min/pezzo	47,99 min/pezzo
Output teorico pacemaker	≈ 96,2 pz/sett	≈ 94,1 pz/sett
Buoni attesi	≈ 91,4 pz/sett	≈ 89,4 pz/sett
Copertura sottolinea	≈ 114,2%	≈ 111,7%
OEE complessivo (indicativo)	≈ 58% (P=0,75)	—

¹le attività di ribaltamento/orientamento non sono cronometrate nella tabella; l'impatto è limitato e/o variabile e non altera le conclusioni sui colli di processo.

Definizioni parametri²

- **Availability (A)**: quota di tempo in cui la risorsa è effettivamente disponibile (esclusi guasti, setup, fermate non pianificate).
- **Performance (P)**: perdite di velocità e micro-fermi non tracciati come guasti (riduzioni di feed/speed, assestamenti post-setup, micro-intoppi, piccoli riposizionamenti).
- **Quality (Q / FPY – First Pass Yield)**: resa di primo colpo (pezzi conformi al primo passaggio, senza rilavorazioni).

2.3.2 Criticità riscontrate

L'analisi del processo attuale ha evidenziato criticità che impattano sia il flusso produttivo sia la qualità del prodotto. Le cause radice non sono univoche: da un lato limiti prestazionali dell'impianto (assenza di upgrade significativi negli ultimi ~10 anni), dall'altro aggiornamenti incompleti di attrezzature/utensili e metodi che, pur aggiornati nel tempo, oggi risultano incompleti rispetto agli standard correnti. Le evidenze sono state raccolte tramite interviste ai conduttori e osservazioni in reparto (*Gemba*), quindi analizzate con approccio Kaizen (Ishikawa) per la ricerca delle cause radice.

Serraggio e posizionamento con staffe

Il posizionamento e il fissaggio del pezzo avvengono tramite staffe. L'assenza di riferimenti pienamente vincolanti e la possibile usura/gioco di alcune componenti determinano variabilità del basamento: piccole differenze di appoggio o serraggio si propagano alle lavorazioni successive, innescando deviazioni geometriche e necessità di riposizionamenti. L'effetto operativo è duplice: tempi aggiuntivi in ciclo per verifiche/ritocchi e rischio di scarti quando l'errore sfugge ai controlli in-process.

Accumulo di truciolo e contaminazione delle sedi

Dopo la prima fase si osserva un accumulo di truciolo nell'attrezzatura (vedi Fig.A.1) e sporcizia localizzata in zona carico/scarico e sulle sedi di appoggio. La combinazione di evacuazione insufficiente e schermature/soffiaggi non efficaci obbliga a pulizie frequenti, con perdita di tempo e rischio di impronte sui piani di riferimento della seconda fase. Il fenomeno, ripetuto nel tempo, compromette la ripetibilità di posizionamento e aumenta la probabilità di rilavorazioni.

Instabilità della coassialità dei diametri principali

Una quota non trascurabile di pezzi presenta coassialità fuori tolleranza. La sequenza di processo—sgrossatura/semi-finitura su MSR, finitura su Scharmann—fa sì che eventuali errori di posizionamento introdotti in semi-finitura vengano seguiti dagli alesatori in finitura, rendendo difficile la correzione finale. L'impatto emerge

²Nota metodologica: in assenza di log storici strutturati (MES/Pareto difetti), i valori di P e FPY sono stimati con criterio prudenziale sulla base dell'esperienza di reparto; si intendono valori di ordine di grandezza per guidare le scelte. Si sottolinea che uno degli obiettivi chiave delle fasi operative successive, in particolare durante il Parallel running, sarà la raccolta di dati strutturati sul campo per validare e, se necessario, rettificare queste stime preliminari, garantendo così che le decisioni finali si basino su evidenze quantitative oggettive.

spesso in assemblaggio (accoppiamenti, allineamento, gioco): aumentano scarti e rilavorazioni, con instabilità del livello qualitativo complessivo.

Maschiatura con portamaschi a compensazione assiale

La compensazione in spinta/tiro del portamaschi può mascherare condizioni di utensile a fine vita o danneggiato: la macchina non rileva con sufficiente sensibilità coppie anomale o micro-blocchi, e la lavorazione procede apparentemente in regola. Il rischio è produrre filettature incomplete su lotti interi, con non conformità rilevate solo in assemblaggio. L'effetto è particolarmente critico in termini di qualità percepita e costi di non qualità.

Centraggio in seconda fase con grano e ogiva cilindrici

Il centraggio del pezzo in seconda fase avviene tramite grano e ogiva cilindrici che si inseriscono in fori realizzati in prima fase. La vasta superficie laterale di contatto genera attriti elevati e difficoltà d'inserimento: si ricorre talvolta a forzature, con rischio di danneggiamento delle sedi o rottura dei componenti di centraggio. L'esito operativo è la perdita di tempo in posizionamento, l'aumento del rischio di scarto e, in caso di rottura, fermi per sostituzione.

In sintesi, le anomalie sono sistemiche (macchina–attrezzaggi–metodi) piuttosto che imputabili alla sola obsolescenza impiantistica. Le contromisure e le relative implementazioni sono riportate nel Cap. 3, dove si mostrano gli effetti delle azioni intraprese su affidabilità, qualità ed efficienza.

Per completezza del quadro decisionale, oltre all'analisi tecnica del processo è stata condotta una valutazione economica preliminare della linea TR200 e della transizione ai Centri di Lavoro. Tale ricognizione, basata su dati interni anonimizzati, ha stimato i costi correnti per principali voci (manutenzione, forza lavoro, energia e consumabili) e l'ordine di grandezza dell'investimento necessario. I risultati quantitativi non sono discussi in questa sezione; nel seguito (§2.4) si formalizzano i requisiti, mentre gli esiti economici attesi sono presentati nel Capitolo 3.

2.4 Requisiti e KPI

In questo paragrafo si formalizzano i requisiti tecnici ed economici che guidano la transizione dalla linea TR200 ai nuovi Centri di Lavoro, mantenendo una linea diretta rispetto agli obiettivi enunciati nel §2.1. I requisiti sono raggruppati lungo tre assi — capacità, qualità ed economia — così da garantire coerenza tra obiettivi, verifiche e decisioni di avanzamento progetto.

2.4.1 Requisiti e KPI di capacità

Il processo deve garantire la copertura del piano nei cinque giorni lavorativi, senza ricorso sistematico a straordinari. L'efficienza della manodopera è misurata tramite l'Index Manufacturing (IM), definito come rapporto tra il tempo ciclo teorico al collo di bottiglia CT_{th} e il tempo uomo per pezzo misurato sul periodo mensile:

$$IM = \frac{CT_{th}}{\text{Ore-uomo/Pezzi buoni}} \geq 1,17. \quad (2.1)$$

Il target è verificato alla chiusura di ogni mese (mese solare) e ne viene monitorata la tendenza mese su mese.

In aggiunta, si richiede flessibilità operativa: in caso di indisponibilità del CdL primario, il tempo di ripartenza su CdL gemello (dalla dichiarazione di fermo al primo pezzo OK) deve essere ≤ 1 turno, con standardizzazione di utensili, offset e setup a supporto del trasferimento.

2.4.2 Requisiti e KPI di qualità

La qualità è presidiata con una logica a due livelli: capability sulle quote a bandierina (CTQ) e conformità a disegno per le non-CTQ. L'impostazione privilegia verifiche mirate sul campo, evitando report mensili e concentrandosi su finestre di misura brevi e intensive.

(a) Validazione iniziale — Capability su CTQ (settimana 0)

Nella fase di avvio, la capability delle CTQ è verificata con uno studio di 1 settimana su un lotto indicativo di 15–30 pezzi. Criterio di accettazione: $C_p, C_{pk} \geq 1,33$ per ciascuna CTQ considerata; in caso di scostamenti si attivano azioni correttive (parametri/utensili/attrezzaggi) e si ripete la verifica sulla settimana successiva.

(b) Monitoraggio periodico — Mini-capability trimestrali

A regime, la stabilità del processo è verificata tramite mini-capability ogni 3 mesi, sempre su una finestra di 1 settimana e un campione di 15 pezzi per CTQ. Criterio a regime: mantenimento di $C_{pk} \geq 1,33$; eventuali trend discendenti o segnali di instabilità comportano analisi causa-effetto e riallineamento dei parametri.

(c) Conformità per le non-CTQ

Per le caratteristiche non a bandierina vale il requisito di conformità a disegno. La verifica avviene in parallelo alle finestre di capability (iniziale e trimestrali), con criterio di accettazione: 100% conformi.

(d) Difettosità complessiva (PPM)

La qualità complessiva del flusso è misurata come PPM di non conformità interne (scarti + rilavorazioni/classi NOK), riferita ai pezzi buoni. La lettura del PPM è consolidata in concomitanza delle finestre di capability (iniziale e trimestrali) e confrontata con la [soglia aziendale]; in alternativa può essere analizzata su base trimestrale aggregata. Criterio: $PPM \leq 50$ con tendenza non crescente.

2.4.3 Requisiti e KPI economici

Il requisito economico principale è il rispetto della policy aziendale di rientro dell'investimento entro 24 mesi (*simple payback* ≤ 24 mesi). In aggiunta, si valutano gli effetti attesi sul costo totale per pezzo attraverso variazioni percentuali delle voci più rilevanti (manutenzione, forza lavoro, energia, consumabili e altri oneri operativi), mantenendo l'analisi a un livello aggregato.

- *Simple payback* del progetto: ≤ 24 mesi (requisito vincolante).
- Variazioni percentuali per voce di costo: miglioramento rispetto alla baseline TR200.

Nel presente paragrafo non si riportano importi assoluti né ipotesi finanziarie di dettaglio; tali elementi vengono discussi nel Capitolo 3 insieme alla dimostrazione del rispetto del requisito di *simple payback*.

I requisiti e i KPI qui definiti costituiscono i criteri di verifica ai gate operativi descritti nel §2.5.

2.5 Workflow

Il presente paragrafo inquadra il flusso di lavoro già eseguito e quello previsto per la validazione del processo. L'impostazione adottata è *Kaizen-oriented* ma non corrisponde a un "Kaizen event" in senso stretto: per natura, il progetto è un *Kaikaku* (cambio di architettura e di modello operativo) e richiede finestre di osservazione più lunghe e passaggi a gate. Le quattro Kaizen Week hanno svolto ruoli differenti: le prime due hanno avuto carattere maggiormente diagnostico e di definizione del mandato (perimetro, costi/investimenti, scelta dei CdL, saving attesi), mentre la terza e la quarta si sono configurate come momenti esecutivi dedicati a utensileria, attrezzature e preparazione dell'implementazione, fino alla formalizzazione degli ordini tecnici necessari.

La coerenza metodologica resta quella del ciclo PDCA, con *Check/Act* talora non immediatamente completabili: alcune verifiche richiedono misure su finestre temporali significative (capability su CTQ, trend di affidabilità e consumi energetici in esercizio stabile, confronto del tempo ciclo in marcia — di seguito *CT_run* — con il modello di programma). In particolare, la capability iniziale è pianificata su famiglie prodotto distinte con avvisi scaglionati (*trasmissione* a dicembre 2025; *frizione* a gennaio 2026), così da consolidare evidenze oggettive in condizioni rappresentative. La governance della transizione è organizzata per fasi e criteri di passaggio: **Preparazione → Set-up & Primo pezzo (pilot) → Parallel running → Spegnimento TR200**; il *cross-point* è un punto interno al *parallel running*, non una fase a sé. I *Go/No-Go* discendono dalle soglie operative di §2.4 e valgono il principio di *no-regression* su sicurezza, qualità e costo unitario.

2.5.1 Le quattro Kaizen Week

Prima Kaizen Week (aprile 2025). Con la partecipazione di Produzione, Ufficio Tecnico e Manutenzione, è stato ricostruito lo stato attuale della linea sotto il profilo economico-gestionale e definita la strategia di riferimento, ossia la transizione. Sulla base dell'analisi del carico macchine sono stati selezionati i CdL destinati alle lavorazioni; sono stati inoltre stimati gli investimenti tecnici necessari e i saving attesi. *Output*: perimetro di transizione, selezione dei CdL, stima investimenti e saving.

Seconda Kaizen Week (maggio 2025). Con un tecnologo dell'Ufficio Tecnico, l'ingegnere di processo e due operatori esperti della TR200, sono state identificate nel dettaglio le principali criticità del processo che generano errori ricorrenti, valorizzando l'esperienza al banco. Le criticità sono state distinte tra quelle imputabili alla linea (risolvibili con la transizione) e quelle dovute a mancati aggiornamenti/investimenti (affrontabili con accorgimenti già sperimentati in altri processi). In parallelo è stato analizzato il prodotto per evidenziare possibili problematiche di lavorazione ed è stata aperta una finestra di dialogo con la Progettazione per convergere su un compromesso. *Output*: elenco delle azioni tecniche prioritarie in tema di attrezzature e utensileria.

Terza Kaizen Week (giugno 2025). Con il programmatore e il tecnologo dell'Ufficio Tecnico, è stato condotto uno studio preventivo mirato a mitigare possibili

criticità future (non un “attacco” a un problema specifico in logica Kaizen classica). In collaborazione con il fornitore sono stati analizzati gli utensili per gli assi principali delle scatole, che coinvolgono la quasi totalità delle quote CTQ e richiedono particolare attenzione; in parallelo sono state studiate le attrezzature di fissaggio, implementando gli accorgimenti emersi nella seconda Week. *Output*: emissione degli ordini per i due componenti principali del processo (utensili e attrezzature di fissaggio).

Quarta Kaizen Week (giugno 2025). In continuità con l'impostazione preventiva, programmatore e tecnologo hanno riesaminato tutti gli utensili suscettibili di aggiornamenti tecnici, valutando parametri di taglio, ingombri con le nuove attrezzature e possibili alternative. In parallelo sono state avviate le gare per dispositivi di ribaltamento, ganci di sollevamento e calibri per l'autocontrollo. *Output*: elenco delle parti taglienti da ordinare e individuazione dei vincitori di gara.

Con le quattro Kaizen Week il team tecnico ha definito la strategia e completato la preparazione della transizione. L'obiettivo era arrivare a **settembre 2025** con *ordini emessi* per utensili primari e secondari, attrezzature di fissaggio, ribaltatori, ganci e calibri; considerati i tempi di realizzazione di alcuni componenti, la fase di studio è stata conseguentemente accelerata. *Si precisa che tale scadenza ha natura di deadline preventiva: il gate è definito in §2.5.2 ed è subordinato alla ricezione dei materiali e alla disponibilità dei programmi NC.* L'avvio della transizione è previsto per **dicembre 2025**, con lo spostamento della trasmissione sul CdL corrispondente.

2.5.2 Fasi e Gate di progetto

Il progetto è articolato in fasi consecutive, ciascuna sorvegliata da un gate che consente di procedere solo a fronte di evidenze oggettive. I criteri di passaggio rinviano a §2.4 (processo in controllo e, ove richiesto, capability; copertura del piano; coerenza del *CT_run* con il modello; trend di *Availability (A)* rispetto alla baseline; energia per pezzo; flessibilità operativa; impiego dell'*Index Manufacturing* su base mensile).

Preparazione.

Questa fase mette a terra le condizioni abilitanti prima della messa in macchina: studio congiunto di processo e prodotto per anticipare migliorie alla fonte, emissione ordini per utensili primari/secondari, attrezzature di fissaggio, dispositivi di ribaltamento, ganci e calibri; aggiornamento dei programmi NC; definizione del piano dei controlli metrologici e completamento della formazione essenziale; verifica di *readiness* organizzativa (turni, approvvigionamenti, ricambi, misure). È la fase più estesa (da *aprile 2025* a *novembre 2025*). **Gate (readiness OK):** materiali *ricevuti* e programmi NC disponibili (gli ordini critici risultano *emessi* entro settembre 2025, ma il gate è la ricezione a fine novembre).

Set-up & Primo pezzo (pilot).

Il banco di prova è il pezzo reale: l'avvio deve produrre un primo pezzo conforme e, dove previsto, una capability iniziale sulle CTQ nella finestra dedicata; l'attenzione è rivolta anche alla stabilità dell'avvio (tempo di *set-up* sul CdL e numero di regolazioni) e alla plausibilità del *CT_run* rispetto al modello di ciclo. Questa fase è prevista tra *dicembre 2025* e *gennaio 2026*. **Gate (GO a parallel):** processo in controllo e allineamento ai criteri di §2.4.

Parallel running (con *cross-point* interno).

In coabitazione con la TR200 si validano capacità e servizio su finestre temporali rappresentative: copertura del piano su cinque giorni senza straordinari; *CT_run* in marcia coerente con il modello; trend di *Availability (A)* non decrescente rispetto alla baseline (confronto su MTBF/MTTR/A in finestra mobile); stabilità dimensionale tramite mini-capability e controlli programmati; energia per pezzo non superiore alla baseline TR in condizioni comparabili. All'interno della stessa finestra cade il *cross-point* di produzione, cioè il punto di pareggio produttivo/di rischio che abilita il disaccoppiamento progressivo dalla TR200. **Gate (uscita da parallel):** evidenze convergenti sui criteri di §2.4, rispetto del principio di *no-regression*, flessibilità operativa dimostrata (ripartenza su CdL gemello entro un turno con primo pezzo OK) e impiego dell'*Index Manufacturing (IM)* su base mensile (cfr. eq. 2.1).

Spegnimento TR200.

Completata con esito positivo la finestra di *parallel*, si procede al decommissioning tecnico e organizzativo: piano di spegnimento, chiusura documentale e aggiornamento degli standard operativi/manutentivi. La validazione finale richiede il mantenimento delle prestazioni conseguite su finestra definita, l'assenza di arretrati e la tracciabilità completa dei dati a supporto della decisione; il requisito economico del *Simple Payback* ≤ 24 mesi (richiamato in §2.4) resta monitorato nelle sedi opportune.

Stato di avanzamento. La *Preparazione* risulta sostanzialmente chiusa per gli ordini critici (emessi entro settembre 2025) e in completamento per gli aspetti organizzativi; il *pilot* è programmato su *trasmissione* a dicembre 2025 e su *frizione* a gennaio 2026. A valle delle capability iniziali si aprirà il *parallel running*, con *cross-point* atteso all'interno della relativa finestra; lo *spegnimento TR200* verrà avviato solo dopo il superamento dei gate di uscita dal *parallel*.

Il workflow di progetto è riassunto nel Gantt riportato in Fig.A.3.

Capitolo 3

Risultati

Questo capitolo presenta, in primo luogo, i risultati già conseguiti tramite implementazioni tecniche su prodotto e processo; in secondo luogo, riporta le prestazioni attese e gli impatti sui KPI che saranno verificati con le misure di capability e con il piano di validazione previsto (dicembre–gennaio). I target e i criteri di accettazione rimandano al § 2.4.

3.1 Risultati conseguiti

3.1.1 Risultati di Prodotto

Nel corso delle Kaizen Week sono state presentate complessivamente 37 modifiche di prodotto orientate al Design for Manufacturing (DFM). La maggior parte di queste proposte è stata approvata in via completa o con minime condizioni tecniche; alcune sono attualmente in attesa di approvazione definitiva, in quanto richiedono ulteriori verifiche incrociate con altri reparti di progettazione.

Di seguito si riportano tre esempi ad alto impatto, selezionati per il loro effetto atteso su tempi ciclo e stabilità di processo.¹

Esempio 1 — Piano fresato sottosquadro — Stato: APPROVATA CON CONDIZIONE.

Come già anticipato in § 2.2, è stato richiesto di ridurre il raggio di fresatura di un piano che da disegno è sottosquadro. Il reparto di progettazione, dopo aver valutato gli effetti di questo adeguamento geometrico all’assemblaggio, ha approvato la richiesta con una condizione minima. Per garantire il corretto fissaggio dell’elemento dedicato, è necessario garantire diametri minimi di 40 mm centrati come nel disegno seguente (Fig.3.1). Questa soluzione comporta una significativa riduzione dei costi poiché non è più richiesta una fresa speciale per lavorare sottosquadro, ma è sufficiente la stessa fresa da $\varnothing 18$ mm utilizzata nel resto delle lavorazioni. Ne consegue

¹*Nota metodologica.* Le stime di riduzione del tempo ciclo (ΔCT_{th}) sono fornite come valori indicativi e saranno validate nelle sessioni di capability (§ 3.2).

anche una piccola riduzione del tempo ciclo dovuta alla mancata necessità di cambio utensile.

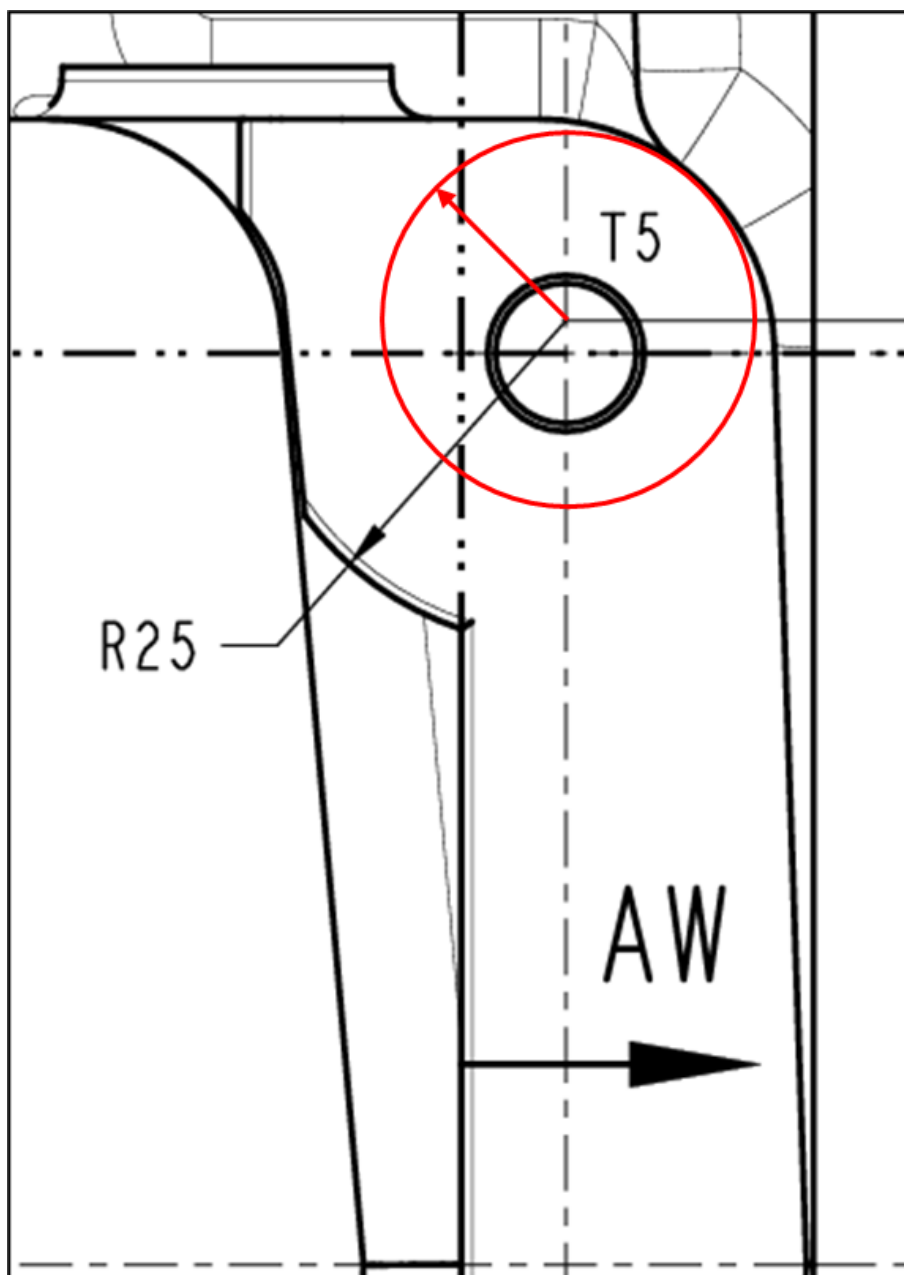


Figura 3.1: Dettaglio del disegno tecnico - visualizzazione esemplificativa del vincolo da rispettare.

Esempio 2 — Unificazione profondità fori — Stato: APPROVATA.

L'approvazione comporta un notevole risparmio di tempo. Infatti, unificare la profondità di una buona quantità (circa 24) di fori elimina la necessità di effettuare diversi cambi utensile e riduce il costo dovuto alle diverse parti taglienti. Considerando un costo medio di 1,500 € per utensile e supponendo di raggruppare i 24 fori presi in osservazione in base alle profondità originali, sarebbero necessari 8 utensili per un totale di 12,000 €. Dopo la miglioria proposta, sarà possibile eseguire la maggior parte dei fori con un solo utensile, poiché un'unica punta speciale potrà realizzare il foro e, nel contempo, smussare il piano. Lo smusso era infatti la discriminante che portava ad avere utensili differenti: una punta che esegue un foro profondo 20 mm e realizza uno smusso a 45° sul piano non può eseguire un foro profondo 22 mm; occorre quindi un'ulteriore punta per asportare i 2 mm rimanenti. Questo aspetto genera evidenti complessità quando si hanno decine di fori diversi. Prevedendo la riduzione del numero di cambi utensile e del tempo risparmiato per ogni lavorazione, si stima un delta sul tempo ciclo pari a $\Delta CT_{th} \approx -5,0$ min/pezzo (valore sintetico ottenuto con software interno di stima; da validare).

Esempio 3 — Riduzione diametro foro per corretta filettatura — Stato: IN ATTESA DI APPROVAZIONE.

È in valutazione la modifica di un foro di lubrificazione, attualmente richiamato a $\varnothing 9,0$ mm (tolleranza $-0,1$ mm, quindi $\varnothing 8,9$ mm ammesso a disegno). Il foro è coassiale a una filettatura M10 $\times$ 1,25 e, per la sequenza di lavorazione vigente, viene inizialmente realizzato il preforo di filettatura a $\varnothing 8,8$ mm. L'eventuale passaggio successivo con punta $\varnothing 9,0$ mm comporterebbe l'allargamento del preforo, rendendolo non conforme ai requisiti dimensionali previsti per la filettatura M10 $\times$ 1,25. Si propone pertanto di eseguire l'intero tratto del foro a $\varnothing 8,8$ mm, limitando la maschiatura alla sola porzione in cui è richiesta la filettatura, così da preservare la conformità del preforo e semplificare la sequenza operativa. Progettazione sta verificando che la riduzione da $\varnothing 9,0$ ($\varnothing 8,9$ mm ammesso) a $\varnothing 8,8$ mm non pregiudichi la portata d'olio; l'approvazione è ritenuta verosimile, in quanto la differenza residua (0,1 mm sul diametro) è contenuta e compatibile con la tolleranza già prevista a disegno.

3.1.2 Risultati di Processo

Le innovazioni, prettamente tecniche, introdotte mirano a migliorare il processo o quantomeno ad allinearlo a quelli già presenti nell'unità MBU1 dove verranno trasferite le lavorazioni. Per semplificarne la presentazione, le soluzioni sono presentate divise tra *Attrezzatura* e *Utensileria*. Anche in questo caso i risultati conseguiti sono direttamente collegati agli esempi riportati nel § 2.3 e mirano a migliorare aspetti generali del processo.

ATTREZZATURA

Serraggio e posizionamento: standardizzazione staffe — Stato: Implementata. Nell'attrezzatura di fissaggio attuale le staffe sono libere di ruotare in modo indipendente, con il risultato di errori di posizionamento della parte in appoggio alla scatola. L'inserimento di guide lungo il cilindro interno delle staffe rende il posizionamento univoco, riducendo la probabilità di serrare il pezzo in un punto errato, che talvolta generava cricche nel materiale. Lo studio eseguito con il fornitore ha inoltre ridotto il numero dei “pressapoco”, elementi d'invito fissi che, se non progettati con accorgimenti adeguati, possono danneggiare il componente o ostacolarne l'inserimento. L'adozione di staffe standardizzate, ormai diffuse sul mercato, rende più rapida ed economica la fornitura dei ricambi e riduce il tempo di setup: l'operatore non deve più mantenere in posizione la piastra d'appoggio durante il serraggio, ma applica semplicemente la coppia prescritta al bullone e il fissaggio avviene in modo guidato. La figura seguente (Fig. 3.2) mostra una sezione della staffa dal 3D dell'attrezzatura: un piccolo grano sul corpo cilindrico esterno scorre lungo una guida ricavata dal pieno e impone il percorso della piastra d'appoggio. Nelle attività previste per la fase di *Setup* è incluso il check del tempo di attrezzaggio con misura della ripetibilità, oltre alla valutazione da parte degli operatori.

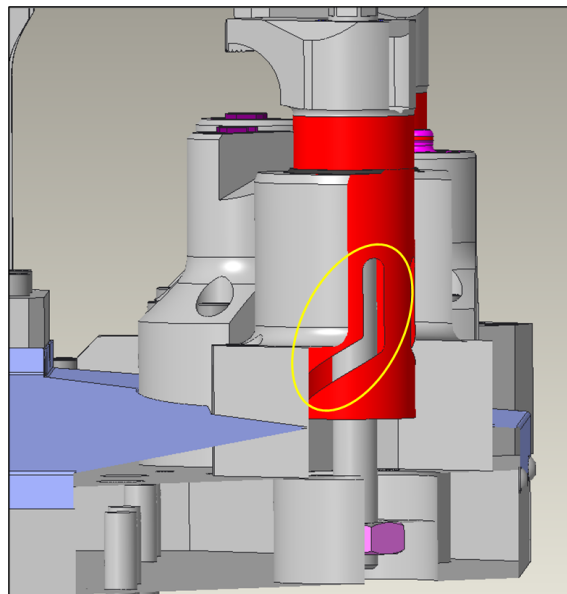


Figura 3.2: Sezione della staffa di fissaggio - Viene evidenziata la guida interna ricavata dal pieno che guida la staffa durante la sua chiusura.

Centraggio in seconda fase: grano/ogiva sferica guidata — Stato: Implementata. Come anticipato nel Capitolo 2, le attrezzature facilitano il centraggio del pezzo in seconda fase tramite un grano e un'ogiva, posizionati per eliminare rispettivamente gradi di libertà di traslazione (grano) e rotazione (ogiva). L'uso di forme cilindriche, in particolare per il grano, espone a superfici laterali ampie di contatto, con attriti elevati e difficoltà d'inserimento. L'implementazione di un grano a geometria sferica (Fig. 3.3, 3.4) riduce l'area di contatto con il foro sul pezzo, “smista” gli errori radiali e limita le forze parassite: ne consegue un centraggio con minori attriti e maggiore ripetibilità.

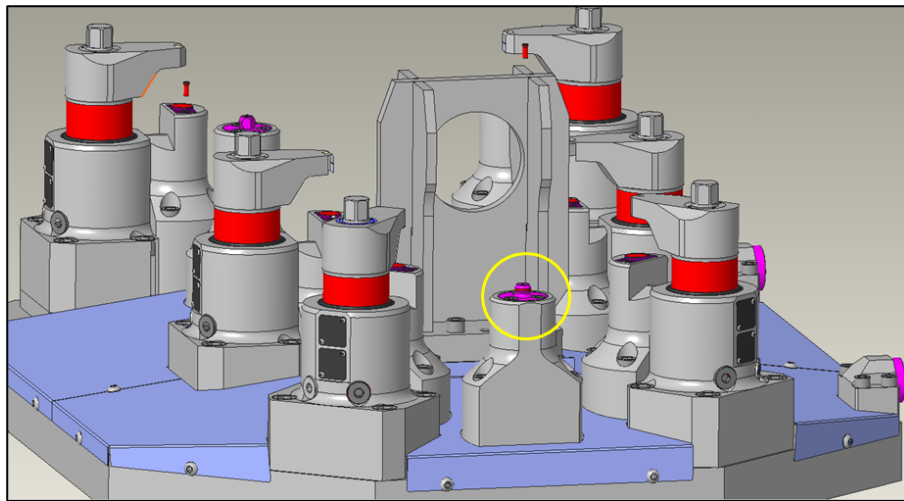


Figura 3.3: 3D della nuova attrezzatura - Evidenziato il grano sferico.

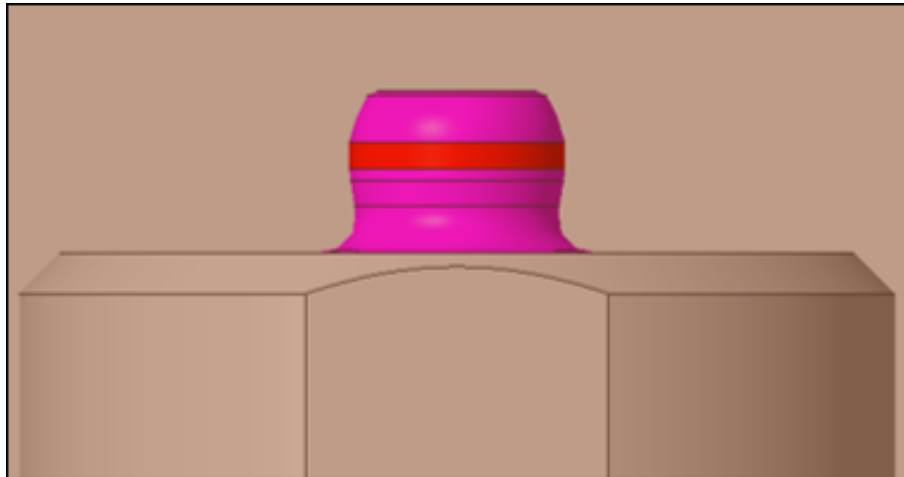


Figura 3.4: 3D della nuova attrezzatura - Dettaglio del grano sferico, evidenziata la corona circolare d'appoggio per il pezzo (rosso).

Evacuazione truciolo e schermature — Stato: Implementata. Le attrezzature esistenti mostravano un elevato accumulo di truciolo, dovuto soprattutto alla forma del dispositivo di fissaggio, che non ne favoriva l'espulsione. La realizzazione di carter inclinati (Fig. 3.5), unita a una maggiore attenzione al flusso di lubrorefrigerante, consente di allontanare i residui già in macchina, evitando il loro trasferimento alla postazione di carico/scarico. I carter funzionano anche da protezione contro danni da collisione: considerato che le scatole ingranaggi hanno massa di circa 300 kg, è preferibile danneggiare un carter piuttosto che un'attrezzatura dal valore di migliaia di euro.

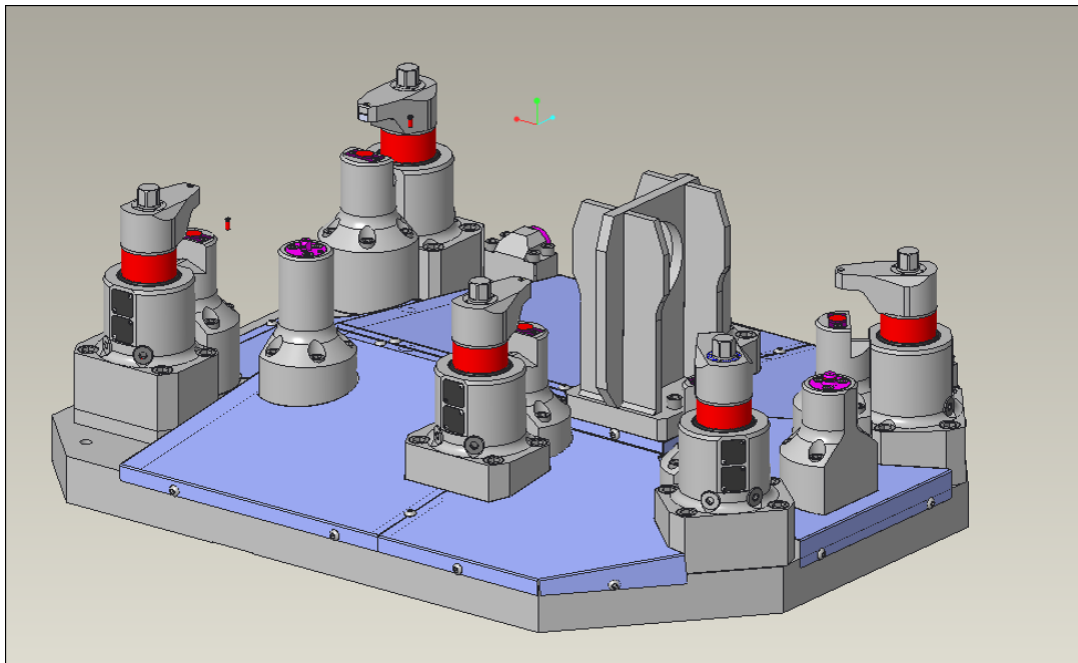


Figura 3.5: 3D della nuova attrezzatura - In azzurro sono evidenziati i nuovi carter inclinati, fissati tramite bulloni al corpo dell'attrezzatura e facilmente sostituibili.

UTENSILERIA

Coassialità: barene a lama-pattino su diametri critici — Stato: Implementata.

Per mitigare i frequenti errori di coassialità rilevati sulla linea attuale, sono state introdotte soluzioni di barenatura a lama-pattino sviluppate con il fornitore. Tali utensili generano il diametro con un solo tagliente attivo, mentre i pattini scorrono sul foro pre-lavorato centrando e stabilizzando la traiettoria: il taglio risulta più regolare, le vibrazioni si riducono e la registrazione micrometrica consente micro-correzioni del raggio e il raddrizzamento dell'asse, obiettivo non conseguibile con alesatori che tendono a seguire il profilo esistente. Ne deriva una diminuzione della varianza di coassialità e cilindricità a parità di condizioni di taglio, con finitura elevata; la stabilità è abilitata da runout contenuti, adeguata rigidità del sistema e corretta evacuazione del truciolo, mentre la tastatura/compensazione automatica mantiene la quota nel tempo. Nel caso delle scatole di trasmissione, che presentano più fori coassiali di diametro simile per l'alloggiamento degli alberi, la barenatura a lama-pattino è particolarmente efficace perché consente l'impiego di bareni combinati a stadi (v. Fig.A.4), in grado di eseguire in sequenza diametri diversi ma allineati (ad es. $\varnothing 85\text{ H7} \rightarrow \varnothing 90\text{ H7}$) mantenendo il riferimento di asse. In questo modo si riducono i cambi utensile, si accorciano i tempi di set-up e si preserva la coassialità lungo l'intera catena fori. L'integrazione su CdL singoli è favorita da portautensili registrabili e set-up rapidi, a differenza della TR200, dove la regolabilità è più onerosa. L'efficacia dell'intervento viene monitorata misurando la coassialità sulle CTQ tramite capability iniziale (con $C_p, C_{pk} \geq 1,33$ ove richiesto) e, in parallelo, osservando indicatori operativi quali il *tempo al primo OK*, il numero di *regolazioni post-setup* e la quota di *rilavori per centraggio*, così da collegare il miglioramento geometrico alla stabilità del processo.

Maschiatura: rigida con micro-compensatore — Stato: Implementata.

Le maschiature costituivano il secondo principale problema utensile sulla linea attuale: eseguite sul RotoHead, richiedevano portamaschi a compensazione assiale per sopperire alla mancata sincronizzazione fine tra rotazione e avanzamento, con rischi di passo non conforme, strappi e rotture. Il passaggio ai centri di lavoro abilita la maschiatura rigida: il controllo numerico mantiene la sincronizzazione continua tra mandrino e asse Z, mentre un micro-compensatore assiale ($\approx \pm 0,5\text{ mm}$) nel portautensile assorbe i piccoli disallineamenti residui, proteggendo filetto e utensile. I CdL dispongono inoltre di monitoraggio di coppia più sensibile: il sistema riconosce stalli, sovra-coppie o mancato taglio, attiva il ciclo di sicurezza (arretramento/stop) e consente ripristini rapidi evitando danni al pezzo. Nelle nuove lavorazioni è previsto un portamaschi a micro-compensazione (v. Fig. A.6) ottimizzato per ghisa. In sintesi, la maschiatura rigida assicura coerenza di passo e profondità, riduce la variabilità e gli eventi di rottura, e migliora la qualità del filetto a parità di tempo ciclo. La verifica avverrà monitorando PPM interno dei filetti, tempo al primo OK, curve di coppia del ciclo di maschiatura e percentuale di rilavori per bava/filetto.

Unificazione utensili secondari e adozione utensili standard — Stato: Implementata.

La transizione ai centri di lavoro ha consentito di riprogettare il parco utensili secondari privilegiando la standardizzazione di catalogo e l'unificazione delle varianti. Laddove in passato erano impiegate soluzioni speciali e eterogenee, sono stati selezionati utensili standard con codici unificati, medesimo attacco e sporgenza controllata, così da ridurre i cambi “isolati” durante il ciclo e semplificare approvvigionamenti e scorte. La soluzione è stata completata con preset esterno su master e gestione sistematica degli offset (lunghezza/raggio) in tabella utensili: all'avvio macchina si caricano utensili già riferiti, l'usura prevedibile viene compensata e la deviazione iniziale post-cambio si riduce. Ne derivano tempi macchina più continui, minori fermi ciclo per cambio/azzeramento, costi utensile inferiori e lead time di fornitura più stabili; inoltre, la ripetibilità dimensionale migliora perché la variabilità legata a corpi e attacchi differenti è contenuta. L'efficacia è favorita dai magazzini utensili dei CdL (ampiezza e gestione delle liste), mentre sulla TR200 l'eterogeneità storica e gli attacchi dedicati rendevano più onerose le sostituzioni. La verifica dei risultati avviene monitorando i cambi utensile per pezzo, il tempo perso per offset e le deviazioni iniziali dopo cambio; in parallelo si osservano gli effetti su costo utensili €/pezzo e stabilità di fornitura, a conferma della sostenibilità operativa dell'unificazione.

3.2 Prestazioni Attese e Impatti sui KPI

3.2.1 Capacità e flessibilità (metodo, ipotesi e scenari)

La valutazione della capacità attesa sui nuovi centri di lavoro adotta il medesimo impianto metodologico impiegato per l'assetto precedente, applicato però alle condizioni operative dei CdL. L'obiettivo è verificare, in modo trasparente e parametrico, la possibilità di coprire il piano settimanale nei cinque giorni lavorativi, in coerenza con i KPI di §2.4.1 (copertura, Index Manufacturing, trasferibilità).

Il *tempo produttivo teorico settimanale* (PPT) è assunto pari a **112,5 h/sett** (3 turni $\times$ 7,5 h/giorno $\times$ 5 giorni). Non si sottraggono esplicitamente le pause: le indisponibilità reali sono contabilizzate negli indici di *Availability* (A) e *Performance* (P). L'*Availability* è letta in senso operativo e **include i guasti** (deriva da MTBF/MTTR), oltre alle fermate non pianificate e ai ripristini. La *Performance* misura la velocità in marcia, inglobando micro-fermi, regolazioni e scostamenti tra parametri programmati ed effettivi.

Per i tempi ciclo, si assume un **miglioramento strutturale del 10% rispetto alla baseline** (TR200/assetto legacy) sull'*operazione con ciclo più lungo* (seconda fase), che risulta dimensionante per la cadenza complessiva. Indichiamo con $CT_{baseline}$ il tempo ciclo pre-transizione e con CT_{th} il tempo ciclo teorico dei CdL *post-ottimizzazioni*:

$$CT_{th} \approx 0.90 \times CT_{baseline} \quad (3.1)$$

In *fase di avvio*, si ammette la fisiologica differenza tra tempo teorico e tempo

osservato in marcia, assumendo

$$CT_{\text{run}} \approx 1,05 \times CT_{\text{th}} \quad (3.2)$$

Tale maggiorazione del 5% è una stima prudenziale legata ad assestamenti iniziali (strategie CAM, rapidità reali, minorazioni sui cambi utensile); a *regime* si prevede la **convergenza di CT_{run} verso CT_{th}** .

La stima dei pezzi settimanali si ottiene rapportando il tempo utile disponibile alle unità di tempo ciclo osservato sull'operazione dimensionante e correggendo per A e P; i *pezzi buoni attesi* derivano dalla *resa al primo passaggio* (FPY). In forma concettuale:

$$\text{Buoni/sett} = \left[\frac{\text{PPT} \cdot A \cdot P}{CT_{\text{run}}} \right] \cdot \text{FPY} \quad (3.3)$$

La *copertura del piano* è quindi il rapporto fra Buoni/sett e domanda settimanale. L'*Index Manufacturing* (IM) si legge su base mensile confrontando il CT_{th} dei CdL (riferimento post-ottimizzazioni) con le *ore-uomo per pezzo consuntivate* nel mese; in assenza di consuntivi stabili si può stimare inizialmente lo *staffing* medio degli operatori. Per questa stima si assume $N = 0,50$ **operatori equivalenti** sulla cella (1 operatore su 2 CdL), da sostituire con i consuntivi non appena disponibili. Il target resta **IM $\geq 1,17$** .

Le ipotesi iniziali riflettono la natura di ramp-up:

- $A \in [0,80; 0,90]$, già comprensiva di guasti (da MTBF/MTTR) e ripristini;
- $P \in [0,90; 0,97]$, per tenere conto di regolazioni e micro-perdite tipiche delle prime serie;
- $\text{FPY} \in [0,96; 0,98]$, coerente con capability iniziale su finestre brevi;
- $CT_{\text{baseline}} = 180,0 \text{ min/pezzo}$ (2^a fase, operazione dimensionante);
- $CT_{\text{th}} = 0,90 \times CT_{\text{baseline}} = 162,0 \text{ min/pezzo}$;
- $CT_{\text{run}} = 1,05 \times CT_{\text{th}} = 170,1 \text{ min/pezzo}$ (*avvio*);
- Domanda settimanale di riferimento: **30 pz/sett**.

Sulla base di tali grandezze si presentano tre scenari (*prudente*, *base*, *teso*) per *Copertura* e *IM*. Nello *scenario base*, la combinazione di A, P e FPY con la riduzione del 10% del tempo ciclo (e la maggiorazione del 5% fra teorico e osservato in avvio) mostra, in via previsionale, la **copertura in cinque giorni**; nello *scenario prudente* si quantifica il margine di rischio qualora l'Availability iniziale sia più bassa o la messa a punto richieda più iterazioni. Lo *scenario teso* evidenzia il potenziale migliorativo a parità di domanda quando preset utensili, standard work di avvio e routine di manutenzione proattiva sono già stabilizzati.

Rimane il requisito di *flessibilità di trasferibilità*: il pacchetto utensili–offset–procedure è standardizzato in modo da consentire la **ripartenza su CdL gemello entro un**

turno con primo pezzo OK. Tale prova, prevista nei gate di §2.5, verifica che i presupposti di capacità non dipendono da una singola macchina, ma dal *metodo replicabile*.

Tabella 3.1: Scenari di capacità e IM con $CT_{\text{baseline}} = 180$ min (valori sintetici).

Parametro	Prudente	Base	Teso
A [-]	0,80	0,86	0,90
P [-]	0,92	0,95	0,97
FPY [-]	0,96	0,97	0,98
CT_{baseline} [min/pezzo]	180,0	180,0	180,0
$CT_{\text{th}} = 0,90 \cdot CT_{\text{baseline}}$ [min/pezzo]	162,0	162,0	162,0
$CT_{\text{run}} = 1,05 \cdot CT_{\text{th}}$ [min/pezzo]	170,1	170,1	170,1
PPT [h/sett]	112,5	112,5	112,5
Domanda [pz/sett]	30	30	30
Staffing N [-]	0,50	0,50	0,50
Pezzi/sett (lordi)	29,21	32,42	34,64
Buoni/sett	28,04	31,45	33,95
Copertura [%]	93,46	104,83	113,17
IM (-)	1,35	1,51	1,63

Note. (i) CT_{th} è il tempo ciclo teorico post-ottimizzazioni; CT_{run} è l'osservato in avvio (+5%).
(ii) IM calcolato su base mensile con ore di esercizio pari a $7,5 \times 3 \times 5 \times 4 = 450$ h/mese e staffing $N = 0,50$ (ore-uomo totali = $N \cdot 450$ h); il numeratore usa sempre CT_{th} .
(iii) Tutti i valori sono di ordine di grandezza e verranno aggiornati ai gate di pilot/parallel running.

3.2.2 Qualità: capability attesa e condizioni di prova

Questo sottoparagrafo chiarisce come verrà condotta la capability iniziale sui CTQ del processo e quali esiti ci si attende in fase di stabilizzazione, mantenendo coerenza con i requisiti espressi in §2.4. L'obiettivo non è fornire valori numerici definitivi, ma rendere trasparente il metodo, le condizioni di esecuzione e i criteri di accettazione che guideranno le decisioni ai gate di progetto (cfr. §2.5).

Per le caratteristiche a bandierina si adotta il criterio di rilascio

$$C_p, C_{pk} \geq 1,33, \quad (3.4)$$

che costituisce la soglia minima per dichiarare il processo capace sulle CTQ ; per le caratteristiche non- CTQ è richiesta la piena conformità a disegno. Nei casi di tolleranza unilaterale (ad esempio alcune geometriche come coassialità o planarità, definite con limite superiore), si utilizzerà l'indice superiore

$$C_{pk_U} = \frac{USL - \mu}{3\sigma}, \quad (3.5)$$

in luogo del consueto $\min\{(\mu - LSL)/(3\sigma), (USL - \mu)/(3\sigma)\}$, così da evitare conclusioni fuorvianti nei casi non simmetrici.

La capability sarà eseguita su una finestra breve e controllata, tipicamente una settimana di esercizio, con un campione compreso tra 15 e 30 pezzi per ciascuna CTQ. La raccolta dati privilegerà sequenze omogenee a processo stabile, escludendo i pezzi di *warm-up*, in modo da rappresentare il comportamento tipico del ciclo. Le misure verranno effettuate con strumenti tarati e attrezzature coerenti con i riferimenti di produzione; per le caratteristiche geometriche sarà dichiarata la strategia metrologica (sistemi di riferimento, numero e distribuzione dei punti). Laddove il sistema di misura non risulti già consolidato, si prevede una verifica MSA essenziale (bias e linearità a campione; R&R snella quando necessario), con l'unico scopo di assicurare che l'incertezza non domini la variabilità del processo.

I dati saranno elaborati con schema $\bar{X}$ -R o equivalente; per ciascuna CTQ si stimeranno media e deviazione standard (o misura robusta della dispersione), si calcoleranno gli indici di capacità e capability (Cp, Cpk, oppure Cpk_U nei casi unilaterali) e si verificherà la coerenza con il criterio (3.4). Poiché in questa sede non è possibile riportare estratti del report aziendale, i risultati verranno comunque sintetizzati nel testo, evidenziando: (i) la conformità/n.c. rispetto alle soglie; (ii) le principali cause tecniche di eventuali scostamenti (parametri di taglio, riferimenti, evacuazione truciolo, usura utensili); (iii) le azioni correttive concordate e il relativo esito alla finestra successiva.

Alla luce delle ottimizzazioni introdotte su utensili e attrezzaggi, e del miglioramento del ciclo nelle fasi dimensionanti, è ragionevole attendersi una convergenza dei principali CTQ dimensionali e geometrici verso valori di Cpk non inferiori a 1,33 nella fase di stabilizzazione. È tuttavia previsto un *piano di reazione* rapido qualora una o più caratteristiche non rispettassero il criterio: verifica mirata del sistema di misura, affinamento parametri/processo (strategie CAM, feed/speed, passate), interventi su preset e riferimenti, quindi ripetizione della capability nella settimana immediatamente successiva su un lotto di ampiezza analoga. Questo approccio consente di procedere per passi brevi e verificabili, garantendo il principio di *no-regression* rispetto alla baseline e l'allineamento progressivo ai target di qualità indicati in §2.4.

Infine, gli esiti della capability iniziale costituiranno ingresso per i gate di *pilot* e *parallel running* (cfr. §2.5): il superamento della soglia (3.4) sulle CTQ a bandierina verrà utilizzato come criterio *Go/No-Go* per la prosecuzione del ramp-up; eventuali scostamenti attiveranno una finestra addizionale di verifica, prima della transizione a regime. In tal modo, la validazione della qualità è integrata nel percorso decisionale del progetto, senza introdurre tabelle o prospetti che non sarebbero oggi rappresentativi del processo oggetto di questa tesi.

3.2.3 Risultati economici attesi

I risultati economici attesi derivano dall'analisi svolta nella prima *Kaizen Week*, confrontando per ciascuna voce di costo la situazione della TR200 con la proiezione a regime sui CdL. Si presentano quindi i saving attesi per singola voce, l'investimento necessario alla transizione e, in chiusura, il ROI annuo e il *simple payback*. Gli importi sono riportati come *valori sintetici*: provengono da dati reali ma sono anonimizzati e, se opportuno, ulteriormente scalabili applicando la *stessa costante di scaling* a tutte le voci, preservando così le proporzioni.

Manodopera (Manpower)

Il contributo della manodopera vale circa **19,63%** del saving complessivo. La riduzione nasce da un diverso assetto organizzativo: con il passaggio ai CdL e un *presidio su due centri per operatore* (cfr. §3.2.1), si riduce il numero di conduttori imputato al prodotto. Dei dieci conduttori oggi associati alla TR200, uno è prossimo al pensionamento, uno viene riallocato in logistica e le restanti risorse si redistribuiscono all'interno di MBU1; **due** seguiranno il nuovo prodotto affiancandosi ai conduttori già attivi sui CdL. Il beneficio economico — **129 800 €** — poggia sul *minor touch time* abilitato da preset/SMED e su una *migliore utilizzazione* sui tre turni, coerente con l'*Index Manufacturing* atteso.

PRWS (Production Related Work Services)

La voce riguarda principalmente la *gestione del lubrorefrigerante esausto*. La TR200 utilizza una grande cisterna interrata (*Cosema*, $\approx 90 \text{ m}^3$) che comporta costi elevati di *trasporto e smaltimento*, oltre a richiedere interventi in ambiente confinato con *personale specializzato*. Con i CdL, le vasche sono a pavimento ($\approx 2,5 \text{ m}^3/\text{cella}$) e i *volumi gestiti* si riducono drasticamente. Il *net saving* stimato è **19 505 €** ($\approx 2,95\%$ del totale): una quota non dominante, ma strutturale.

Consumabili (lubrorefrigeranti e oli idraulici)

Il contenimento dei consumi è effetto congiunto della *riduzione del numero di macchine* (da 11 CdL della TR200 a **2 CdL**) e della *stabilizzazione del ciclo*: tempi in marcia più brevi e gestione più robusta del lubrorefrigerante riducono il consumo specifico. La stima utilizza i consumi storici del 2024 e degli ultimi 12 mesi, convertiti in *costo/pezzo* e proiettati sui volumi 2026; per i CdL si impiegano i valori medi MBU1. Il saving atteso è **139 134 €** ($\approx 21,04\%$), voce sensibile al CT_{run} (cfr. §3.2.1) e quindi da *monitorare* nelle prime settimane di regime.

Utilities (energia e riscaldamento)

Il confronto sui consumi elettrici parte dalle misure del *quadro blindo ventilato* della TR200, riportate in *costo/pezzo* e ricalcolate sui volumi 2026. La riduzione del CT_{run} e la compressione dei tempi *idle* (cfr. §3.2.1) permettono di stimare un *net saving* energetico; si aggiunge il beneficio dello *spegnimento degli aerotermini* a gas nell'area TR200 (≈ 110 giorni/anno), non richiesti nell'area MBU1 dove risiedono i CdL. Il risparmio complessivo è **94 217 €** ($\approx 14,25\%$ del totale).

Maintenance (manutenzione)

La manutenzione è la componente **prevalente** del saving: **278 600 €** ($\approx 42,13\%$). Lo storico recente (04/09/2024–18/06/2025) evidenzia numerosi interventi di piccola entità, diversi *retrofit* e una sostituzione di grande entità; i *ricambi non codificati* pesano circa il 10% e dilatano i tempi d’attesa. La transizione ai CdL elimina le principali *rotte di guasto* tipiche della linea legacy e *semplifica i ripristini*; in parallelo, la capability attesa (cfr. §3.2.2) riduce rilavorazioni e fermate correttive, consolidando il beneficio.

Investimenti per la transizione

L’investimento a carico del progetto è stato dimensionato con l’obiettivo di rendere stabile il nuovo assetto su CdL, evitando ri-lavorazioni a valle e mantenendo coerenza con gli standard già adottati in stabilimento. Il perimetro include *utensili*, *attrezzature di fissaggio* e *industrializzazione*; restano esclusi costi infrastrutturali generali (ad es. impianti di reparto non specifici del prodotto) e oneri già coperti da capitoli di spesa trasversali.

La quota *prevalente* riguarda gli *utensili* (**782 504 €**, $\approx 79,45\%$). Oltre al kit iniziale per lotti di avviamento, la stima copre i *portautensili* e i componenti di preset necessari a garantire la ripetibilità del set-up, in linea con le pratiche di MBU1. La famiglia più rilevante è quella delle *barene a lama-pattino* (~ 30 codici su ~ 150 totali): geometrie e lunghezze spinte (ordine dei **500 mm**) giustificano la maggiore incidenza economica e la scelta di specifiche conservative su rigidità e run-out. A completamento rientrano i kit per foratura/sgrossatura/finizione e gli accessori di controllo (battute, bussole di riduzione, riserve per usura) per preservare tempi di cambio ridotti e qualità di finitura già al primo pezzo. Questa impostazione si collega direttamente agli obiettivi di §3.2.1 (ciclo più corto e avvio standardizzato) e §3.2.2 (robustezza delle CTQ).

Le *attrezzature di fissaggio* assorbono **138 280 €** ($\approx 14,04\%$). La progettazione ha seguito i riferimenti *standard di plant* per minimizzare i rischi di ri-design in esercizio: basi modulari, punti zero dove applicabile, superfici di appoggio e battute coerenti con la catena di quotatura del disegno. Sono inclusi i *soft-jaws* per le varianti dimensionali previste, gli elementi di bloccaggio e i riscontri per garantire *coassialità* e *planarità* nelle fasi critiche. La scelta di convergere su soluzioni già collaudate riduce i tempi di messa a punto e rende più agevole la prova di trasferibilità su CdL gemello (cfr. §3.2.1).

La voce di *industrializzazione* ammonta a **64 216 €** ($\approx 6,52\%$) e copre ciò che consente di “mettere a terra” il processo: *dispositivi di ribaltamento* e *ganci di sollevamento* dedicati, *calibri per l’autocontrollo* e dima di riferimento, piccoli adattamenti hardware per integrazione nei CdL (cablaggi/maschere accessorie), oltre a *attività di messa in servizio* e allineamento iniziale (preset, validazione primo articolo, micro-ottimizzazioni parametriche). In questa quota è compreso un margine prudenziale per micro-adeguamenti in ramp-up, così da evitare ritardi sul percorso di *parallel running* (§2.5) senza aprire capitoli extra.

Nel complesso, l'investimento **chiude a 985 000 €**. La sua struttura riflette la scelta tecnica alla base del progetto: concentrare lo sforzo su *processo e utensileria* (per ottenere subito ciclo e capability), sostenendolo con *fissaggi* progettati correttamente al primo colpo e con un'*industrializzazione* essenziale ma completa, mirata a ridurre gli assestamenti nelle prime settimane di esercizio.

Sintesi e indicatori

Il *saving annuo a regime*² ammonta a **661 256 €**. Gli indicatori di ritorno si calcolano su base annua (a regime) come:

$$\text{ROI}_{12\text{m}} = \frac{S_{\text{tot}}^{\text{year}}}{I} \quad (3.6)$$

$$\text{Payback (mesi)} = 12 \cdot \frac{I}{S_{\text{tot}}^{\text{year}}} \quad (3.7)$$

Sostituendo i valori si ottiene $\text{ROI}_{12\text{m}} \approx 67,1\%$ e $\text{Payback} \approx 17,9$ **mesi**, in linea con l'obiettivo e coerenti con la catena tecnica illustrata: la riduzione del CT_{run} e la stabilizzazione di A e P sostengono Manpower e Utilities (cfr. §3.2.1); la capability riduce non-qualità e fermi correttivi (cfr. §3.2.2).

Tabella 3.2: Sintesi dei saving annui a regime per voce di costo.

Voce di costo	Saving [€]	Incidenza [%]	Note
Manodopera (Manpower)	129.800	19,63	Presidio 2 CdL/operatore
PRWS (lubrorefrigerante esausto)	19.505	2,95	Volumi ridotti
Consumabili (lubrorefrigeranti, oli)	139.134	21,04	CT_{run} corto; lubro stabile
Utilities (energia/riscaldamento)	94.217	14,25	Minor run/idle; stop aerotermini
Maintenance (manutenzione)	278.600	42,13	Modalità di guasto eliminate
Totale	661.256	100,00	

²*Nota di calendarizzazione:* la progressiva entrata a regime è gestita in un piano interno; qui si adottano valori *a regime*, mentre l'anno di transizione può includere overhead di avviamento non rappresentativi del nuovo stato stabile.

Capitolo 4

Discussione, Conclusioni e Sviluppi Futuri

4.0.1 Discussione dei risultati

Il progetto di tesi ha affrontato la transizione produttiva dalla storica linea TR200 ai nuovi centri di lavoro (CdL) flessibili, con l'obiettivo di migliorare capacità, qualità ed efficienza economica nel processo di produzione delle **driveline**. L'analisi dello stato attuale ha messo in evidenza criticità su stabilità dimensionale, accumulo trucioli, usura/obsolescenza delle attrezzature e complessità nella gestione utensili; tali fattori hanno motivato un cambiamento coerente con i principi Lean-Kaizen, orientato alla semplificazione del processo e al miglioramento continuo.

Nel corso delle Kaizen Week sono state implementate modifiche tecniche su prodotto e processo, mirate ai requisiti stabiliti nel Capitolo 2: ridisegno di attrezzaggi per aumentare rigidità e ripetibilità, standardizzazione e unificazione utensili per ridurre variabilità e tempi non a valore, soluzioni di centraggio (grani sferici) e maschiature rigide con micro-compensazione per stabilizzare le CTQ, sistemi di evacuazione truciolo e protezioni per migliorare la continuità operativa. In parallelo è stato delineato un piano di misura (capability iniziale + *mini-capability* periodiche) e un workflow di gate per la validazione in esercizio (pilot → parallel running), sintetizzato in Fig. A.3.

Verifica rispetto agli obiettivi

Capacità e flessibilità. Stato: *parzialmente raggiunto, in validazione.*

La **riduzione del tempo ciclo al vincolo** è stata ottenuta combinando (i) attrezzaggi più stabili (minor tempo di messa a punto e minori microfermi), (ii) **standardizzazione utensili** (riduzione tempi di cambio e di ripristino offset) e (iii) ottimizzazione delle sequenze. Queste azioni permettono di presidiare la capacità tramite $IM \geq 1,17$ su base mensile. La **flessibilità operativa** è abilitata dalla *trasferibilità* di utensili/offset/NC su CdL gemello; la prova di **ripartenza ≤ 1 turno con primo pezzo conforme** è pianificata come criterio di gate nel *parallel running*.

Esito attuale: riduzione tempi ciclo e predisposizione alla trasferibilità **conseguite**; conferma di copertura piano in 5 giorni e prova di ripartenza su gemello **da validare** in esercizio.

Qualità (CTQ / non-CTQ). Stato: *indirizzato, in verifica.*

L'adozione di **grani sferici** (centraggio più isotropo), la **barenatura** con soluzioni a maggiore rigidità e la **maschiatura rigida con micro-compensazione** riducono gli errori di posizionamento e di traiettoria, migliorano la coassialità e stabilizzano la filettatura; ciò **abbatte rilavori e variabilità** e rende perseguibile il requisito $C_p/C_{pk} \geq 1,33$ sulle CTQ. Per le non-CTQ, la semplificazione geometrica e la standardizzazione dei parametri favoriscono la **conformità 100% a disegno**. Il piano di **capability iniziale** e di *mini-capability trimestrali* garantisce il controllo su finestra breve e a regime.

Esito attuale: stabilizzazione dei meccanismi di processo **conseguita**; **raggiungimento formale** dei target C_p/C_{pk} e della conformità 100% **da verificare** durante pilot/parallel.

Economia (simple payback). Stato: *raggiungibile, stima aggiornata.*

Le leve tecniche (meno fermi e ripristini, riduzione CT_{run} , minori sprechi di consumabili e **energia/utenze**, semplificazione del presidio manutentivo) generano un saving a regime pari a $\sim 661.000 \text{ €/anno}^1$, che, a fronte dell'investimento, produce un **simple payback** $\approx 17,9$ mesi, ≤ 24 mesi come da requisito.

Esito attuale: **coerenza** con il requisito economico dimostrata a livello di stima; consolidamento a **finestra stabile** dopo parallel running.

Alla data di redazione, le evidenze mostrano un **allineamento sostanziale** tra soluzioni implementate e obiettivi del Capitolo 2: i *meccanismi causa-effetto* (rigidità attrezzaggi $\rightarrow$ variabilità minore; standardizzazione utensili $\rightarrow$ tempi di cambio e drift ridotti; gestione truciolo $\rightarrow$ continuità operativa; centraggio/maschiatura migliorati $\rightarrow$ capability CTQ) sono attivi e misurabili. La **convalida definitiva** dei target (copertura piano in 5 giorni con $IM \geq 1,17$, $C_p/C_{pk} \geq 1,33$, **simple payback** ≤ 24 mesi) è demandata ai **gate di pilot e parallel running** (dicembre 2025–gennaio 2026), nel rispetto del principio di **no-regression** e del workflow riportato in Fig. A.3.

4.1 Conclusioni

Il progetto ha dimostrato che la transizione verso un sistema produttivo basato su centri di lavoro flessibili rappresenta una valida strada per rispondere alle esigenze di mercato in termini di variabilità di prodotto, qualità elevata e contenimento dei costi. La metodologia adottata, ispirata ai principi Lean e alla filosofia Kaizen, ha permesso di creare un percorso strutturato di analisi, ottimizzazione e industrializzazione che ha già portato a risultati tangibili di miglioramento.

Nonostante i requisiti di capacità e qualità siano stati in gran parte raggiunti o indirizzati con soluzioni operative adeguate, la definitiva verifica dipenderà dall'effettiva

¹Valore sintetico, anonimizzato.

validazione in ambiente produttivo reale, prevista nelle prossime fasi del progetto. **Il presente lavoro costituisce un pre-studio fondativo:** definisce requisiti misurabili, criteri di gate e indicatori, rendendo **replicabile** la transizione in contesti analoghi.

L'approccio integrato prodotto–processo, unito a una gestione rigorosa degli indicatori di performance (KPI), costituisce un modello replicabile per futuri interventi di trasformazione produttiva all'interno dello stabilimento CNH di Modena e di altre realtà produttive simili.

4.2 Sviluppi futuri

Gli sviluppi futuri prevedono un'estensione delle attività di validazione e ottimizzazione, con focus su:

1. **Completa industrializzazione e stabilizzazione** del processo sul nuovo assetto CdL, garantendo una capability robusta e stabile sui CTQ e il rispetto continuo dei parametri qualitativi ($C_p/C_{pk} \geq 1,33$), nel rispetto del principio di **no-regression**.
2. **Implementazione e monitoraggio sistematico dei KPI**, tramite capability iniziale e *mini-capability* a cadenza trimestrale, e l'adozione di strumenti Lean per la gestione delle non conformità e interventi correttivi tempestivi; conferma della **flessibilità operativa con ripartenza su CdL gemello ≤ 1 turno e primo pezzo conforme**; presidio della capacità rispetto al target $IM \geq 1,17$.
3. **Analisi e ottimizzazione logistica e di flusso** nelle fasi di carico/scarico e movimentazione interna, per ridurre ulteriormente tempi morti e sprechi.
4. **Introduzione di tecnologie di automazione e sensorizzazione** per migliorare il controllo qualità in-process, abilitare manutenzione predittiva e ridurre i tempi di set-up e cambio produzione.
5. **Piano di formazione mirato per gli operatori**, finalizzato a consolidare le competenze tecniche e metodologiche necessarie per gestire efficacemente il nuovo sistema produttivo (standard work/TPM e trasferibilità su CdL gemello).
6. **Valutazione continua di impatto ambientale e sostenibilità economica**, con possibili azioni di miglioramento nel consumo energetico (profilo run/idle) e gestione dei materiali di scarto.

L'integrazione di questi sviluppi assicurerà il mantenimento dei risultati conseguiti e la capacità di adattarsi velocemente ai futuri cambiamenti del mercato e delle strategie aziendali.

Appendice A

Tavole tecniche



Figura A.1: Esempio di accumulo di truciolo su attrezzatura: rischio contaminazione sedi e instabilità di posizionamento.

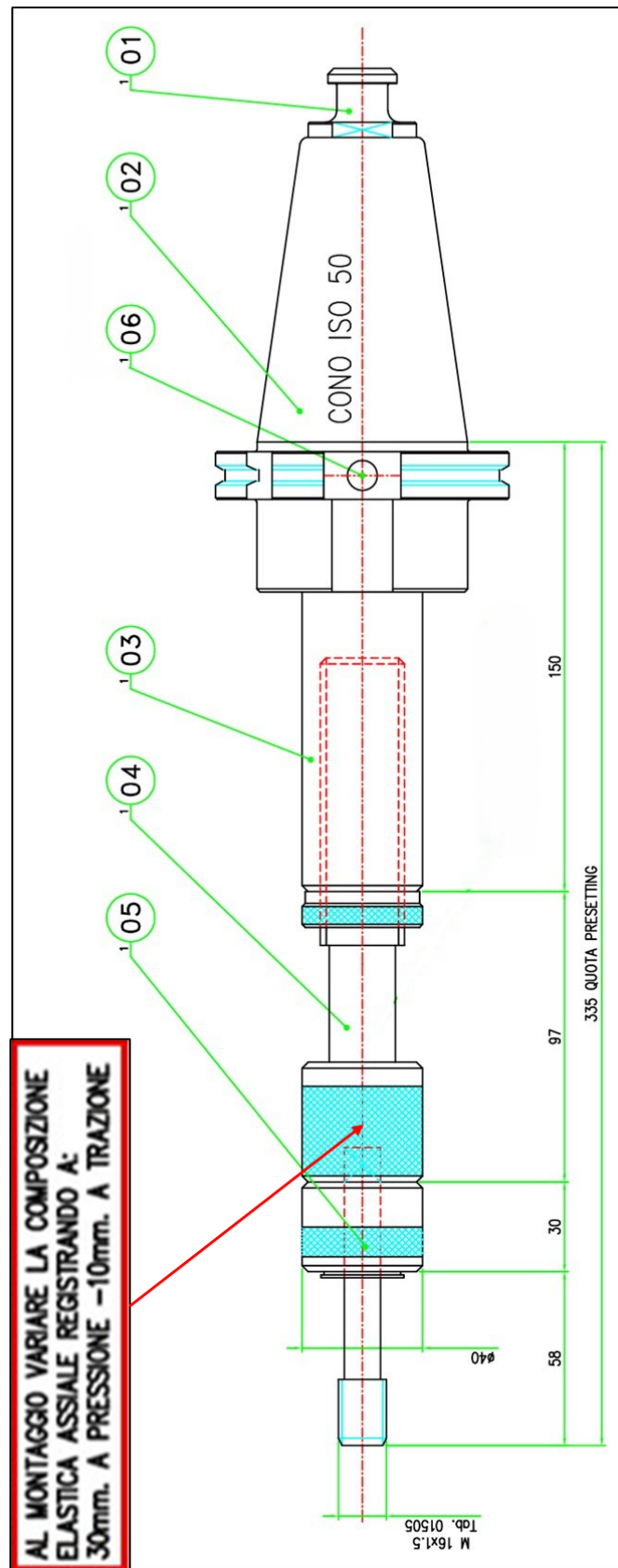


Figura A.2: Esempio di utensile per maschiature attualmente utilizzato - in rosso evidenziate le specifiche di compensazione.

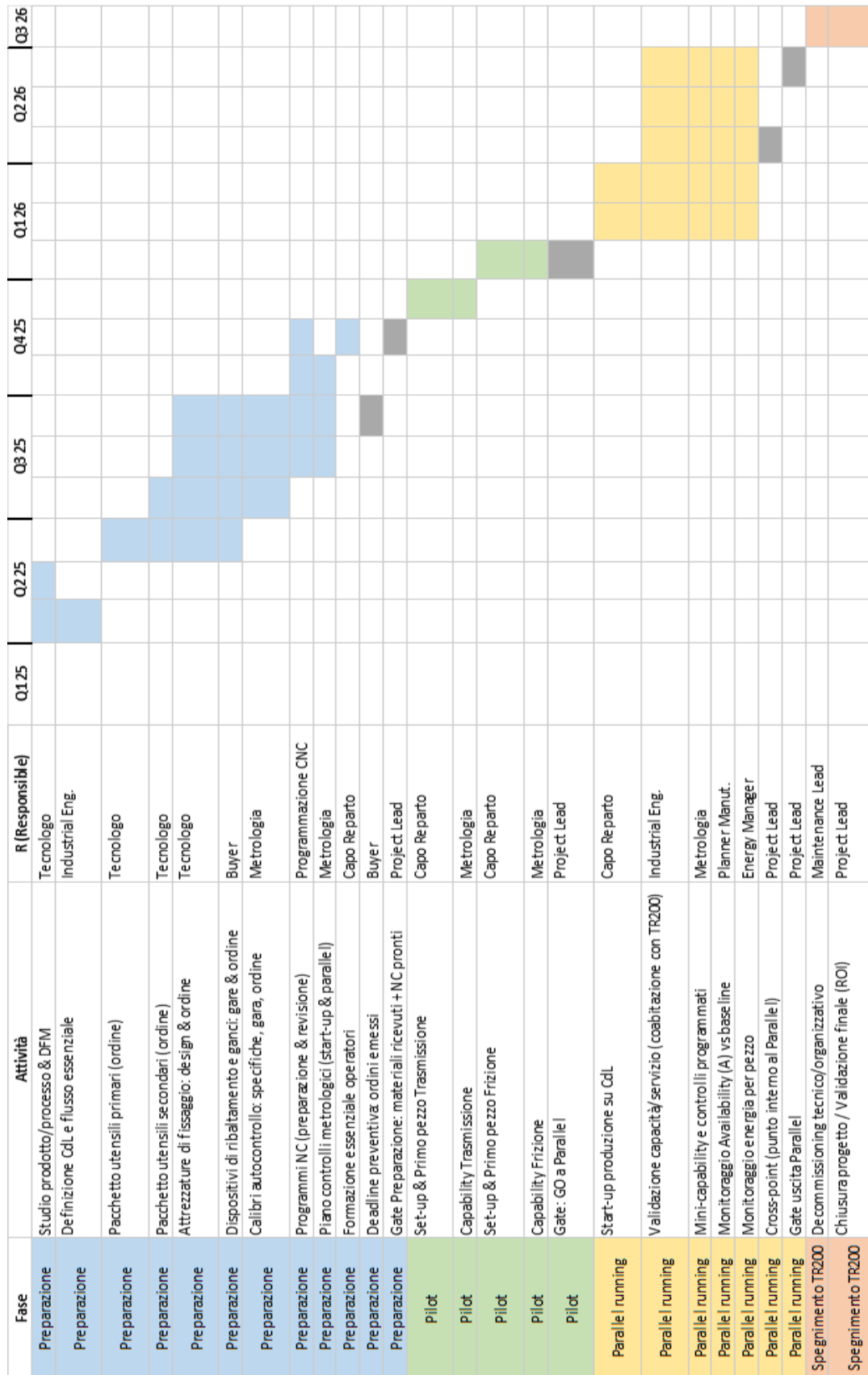


Figura A.3: Gantt fasi e gate (2025–2026)

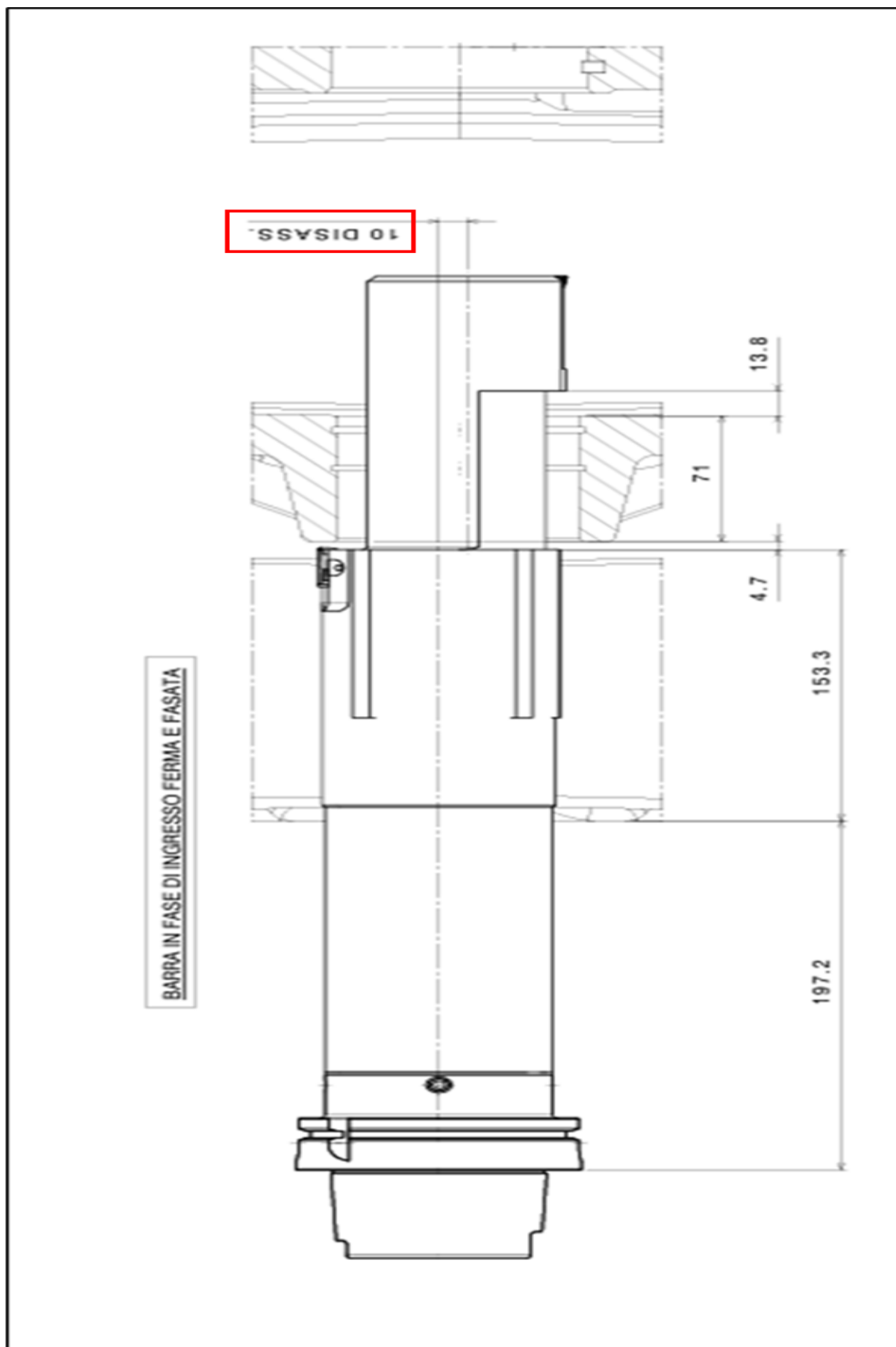


Figura A.5: Disegno tecnico di uno dei bareni a lama-pattino per gli assi principali - Viene mostrato come l'ingresso è eseguito in modo disallineato per poter raggiungere il secondo diametro.

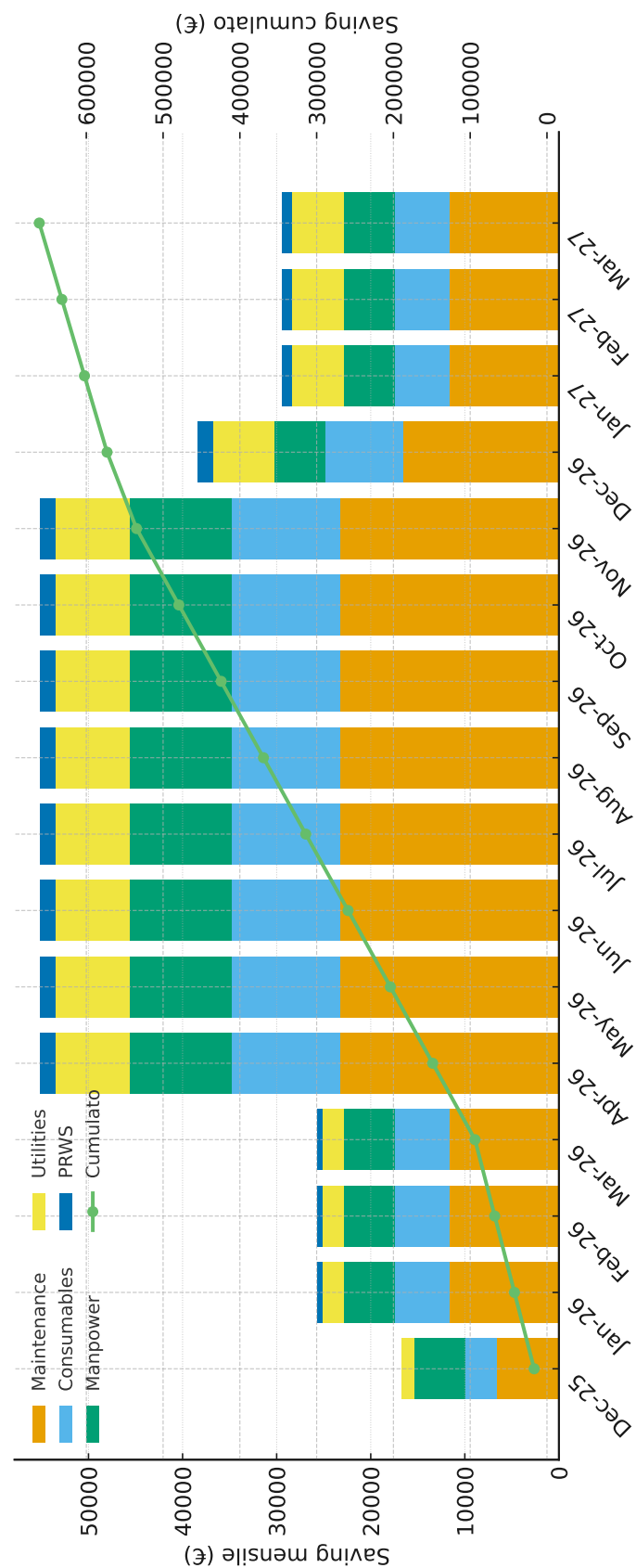


Figura A.7: Calendarizzazione mensile dei saving per voce (barre impilate) con andamento del *cumulato* (linea verde). Il grafico evidenzia la rampa di avvio, il plateau a regime e la stagionalità finale; valori coerenti con le ipotesi di §3.2.1–§3.2.2.

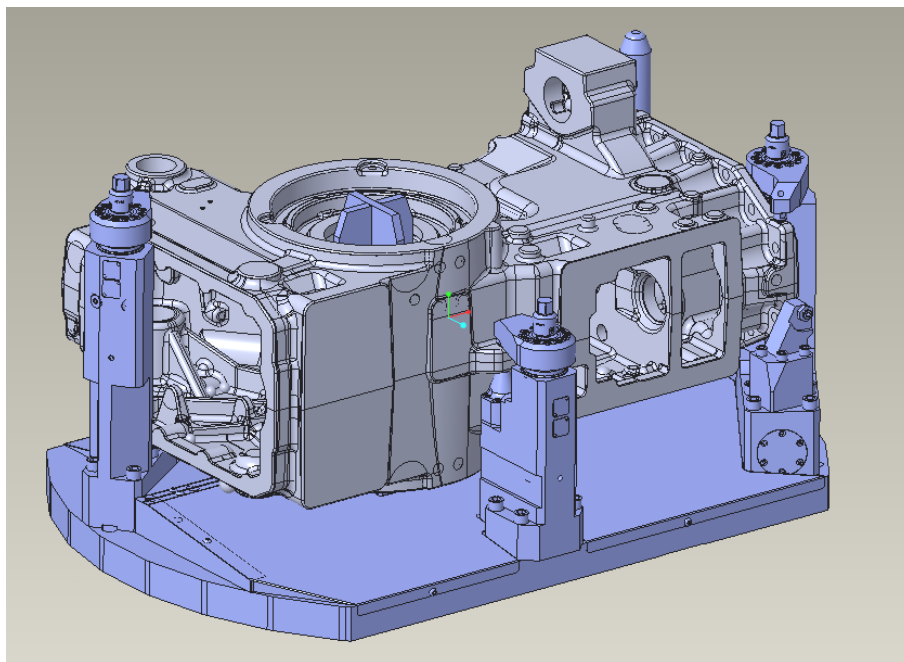


Figura A.8: Esempio di 3D della scatola Trasmissione posizionata sulla nuova attrezzatura in Prima Fase.

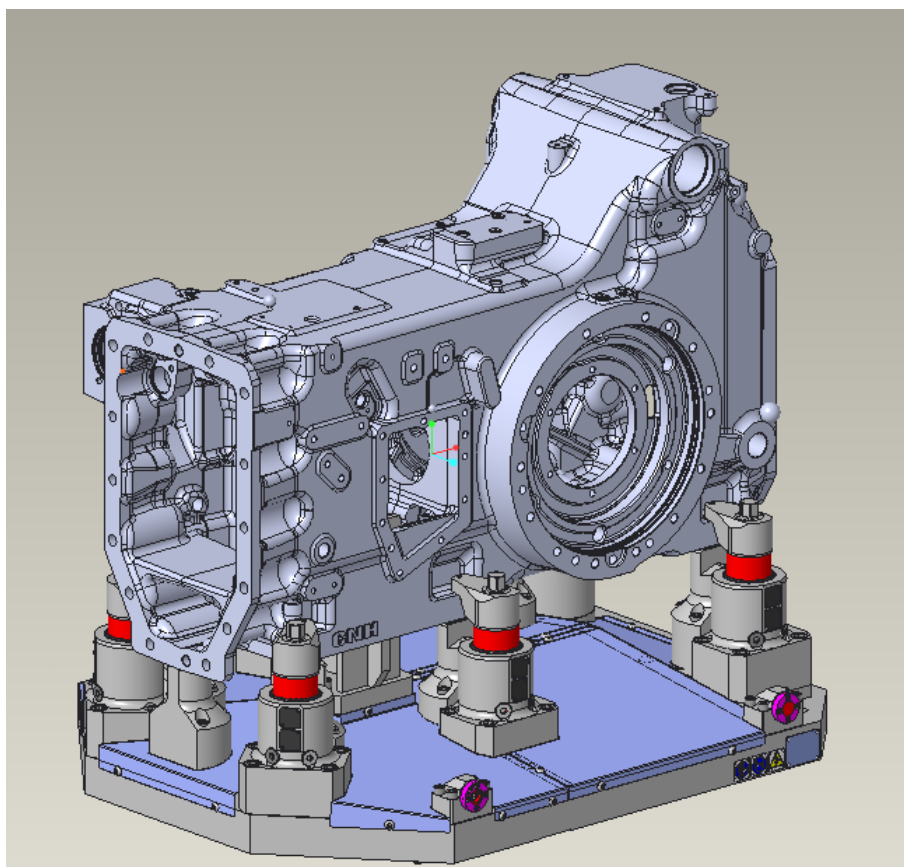


Figura A.9: Esempio di 3D della scatola Trasmissione posizionata sulla nuova attrezzatura in Seconda Fase.

Bibliografia

- [1] CNH Industrial. Media newsroom: comunicati su acquisizione raven (2021) e spin-off iveco group (2022); informazioni su ticker e perimetro post-scissione. <https://media.cnh.com>. Consultato per contesto storico e organizzativo.
- [2] Exor N.V. Profilo di cnh industrial: perimetro, presenza geografica, struttura azionaria (quota e diritti di voto). <https://www.exor.com>. Sintesi investitore istituzionale.
- [3] CNH Industrial. Annual report 2023: segmenti {Agriculture, Construction, Financial Services}, siti produttivi, dipendenti, ricavi, programma CBS+. <https://www.cnh.com>. Dati e dichiarazioni 2023; sezione Investor Relations.
- [4] CNH Industrial N.V. Investor presentation 2024. Investor presentation slide deck, 2024. Slide: “Multi-brand portfolio overview”.
- [5] 3LT TradeLink Media. Articolo divulgativo su CBS+: principi operativi (accountability, agilità, efficienza, sicurezza). <https://3lt.tradelinkmedia.biz>. Rassegna su approccio operativo CNH.
- [6] Investing.com News. Dichiarazioni del management su efficienza operativa e execution (earnings / capital markets day). <https://www.investing.com>.
- [7] Fiat Trattori. Scheda storica: modelli 702c e 700c; evoluzione post-bellica e transizioni societarie. <https://www.fiattrattori.com>.
- [8] James P. Womack and Daniel T. Jones. *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. Simon & Schuster, New York, 1996.
- [9] James Surowiecki. The open secret of success. *The New Yorker*, May 2008. Saggio divulgativo su pratiche di miglioramento e apprendimento organizzativo.
- [10] Masaaki Imai. *Kaizen: The Key to Japan's Competitive Success*. McGraw-Hill, New York, 1986.
- [11] Taiichi Ohno. *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Productivity Press, Portland, OR, 1988.
- [12] Jeffrey K. Liker. *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. McGraw-Hill, New York, 2004.
- [13] Seiichi Nakajima. *Introduction to TPM: Total Productive Maintenance*. Productivity Press, Portland, OR, 1988.

- [14] Mike Rother and John Shook. *Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda*. Lean Enterprise Institute, Cambridge, MA, 1999.
- [15] Shigeo Shingo. *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*. Productivity Press, Portland, OR, 1985.
- [16] Durward K. Sobek II and Art Smalley. *Understanding A3 Thinking: A Critical Component of Toyota's PDCA Management System*. Productivity Press, New York, 2008.
- [17] David Mann. *Creating a Lean Culture: Tools to Sustain Lean Conversions*. CRC Press, Boca Raton, FL, 3 edition, 2014.