

# POLITECNICO DI TORINO

**Corso di Laurea in**  
**Ingegneria della Produzione Industriale**  
**e dell'innovazione tecnologica**

## **Tesi di Laurea**

Industrializzazione della nuova linea BESS

Pramac Generac



**Relatore**

Prof. Sabrina Grimaldi

**Candidato**

Matteo Barbieri

Settembre 2023

## Sommario

Introduzione .....	8
Capitolo 1 – L’azienda Pramac .....	10
1.1 - La storia di Pramac .....	10
1.2 - Le divisioni aziendali .....	12
1.3 – Principali prodotti.....	14
1.3.1 - Gruppi elettrogeni.....	14
1.3.2 - Soluzioni di accumulo di energia a batteria .....	15
1.3.3 – Generatori portatili.....	16
1.3.4 - Transpallet, Carrelli elevatori, pese e sollevatori .....	17
Capitolo 2 - Battery Energy Storage System .....	19
2.1 – Panoramica sul prodotto: funzionamento ed utilizzi.....	22
2.2 – Segmentazione del mercato.....	26
2.3 – Il nuovo BESS.....	27
2.4 – Previsioni di miglioramento con i nuovi modelli.....	34
2.4.1 – Miglioramento costi.....	35
2.4.2 – Miglioramento Processi .....	37
2.4.3 – Miglioramento indici inquinamento ambientale.....	39
2.5 – Analisi del processo di produzione ad alto livello.....	39
2.5.1 – Creazione cavi .....	41
2.5.2 – Creazione subassemblati.....	41
2.5.3 – Assemblaggio meccanico .....	42
2.5.4 – Assemblaggio elettrico .....	42
2.5.5 – Assemblaggio batterie .....	43
2.5.6 – Test di sicurezza .....	43
2.5.7 – Pannellatura e pulizia.....	44
Capitolo 3 – Lo stabilimento produttivo .....	45
3.1 – Presentazione stabilimento Rugby .....	45
3.2 – Logica di produzione.....	50
3.3 – Layout stabilimento “As is” .....	50
3.3.1 – “Cut wiring” area.....	52
3.3.2 – “Subassembly” area .....	52
3.3.3 – “Assembly semi-finished good” area .....	54
3.3.4 – “Battery pack assembly” area.....	55

3.3.5 – “Testing” area .....	55
3.3.6 – “PDI area” .....	55
3.4 – Nuovi layout varie aree stabilimento.....	56
3.4.1 – Nuova “Cut wiring” area .....	57
3.4.2 – Nuova “Subassembly” area .....	58
3.4.3 – Nuova “semi-finished good” area.....	60
3.4.4 – Nuova “Battery pack” area .....	62
Capitolo 4 - La Lean production .....	64
4.2 - Cenni Storici .....	64
4.3 - I principi del Lean Thinking .....	66
4.3.1 – VALUE: L’identificazione del valore .....	67
4.3.2 – VALUE STREAM: L’identificazione del flusso .....	68
4.3.3 – STREAM: Far scorrere il flusso .....	72
4.3.4 – PULL: La logica che “tira” il flusso .....	72
4.3.5 – PERFECTION: La ricerca della perfezione .....	73
4.4 – Il miglioramento continuo .....	74
4.5 – Implementazione dei principi Lean .....	75
4.6 – Resistenza al cambiamento .....	77
4.7 - Gli strumenti Lean .....	78
4.7.1 - JIT (Just In Time) .....	78
4.7.2- Lead Time o Tempo di Attraversamento e Tempo Ciclo.....	79
4.7.3 Heijunka.....	79
4.7.4 – Kanban.....	80
4.7.5 – SMED: Single Minute Exchange of Die .....	81
4.7.6 – OEE: Overall Equipment Effectiveness .....	82
4.7.7 - Visual Management.....	83
4.7.8 Metodologia 5S.....	83
4.7.9 - Spaghetti Chart.....	84
Capitolo 5 – Miglioramenti apportati al processo.....	86
5.1 –Miglioramenti <i>Line 05</i> (area taglio cavi).....	87
5.1.1 – Carrelli “ <i>kit wiring</i> ” .....	88
5.1.2 – Nuova logica classificazione cavi.....	90
5.2 – Miglioramenti <i>Line 02</i> (area subassemblati) .....	92
5.2.1 – Nuovi banchi di lavoro .....	92
5.2.2 –Schermi interattivi .....	94

5.3 –Miglioramenti <i>Line 01</i> (area meccanica ed elettrica).....	95
5.3.1 – “ <i>Stillages</i> ” .....	95
5.3.2 – Termocamere .....	97
5.4 – Miglioramenti sistema informativo Oracle .....	98
5.4.1 – “ <i>Bill of materials</i> ” specifiche .....	98
5.4.2 – Nuove categorie di approvvigionamento .....	100
5.4.3 – Sistema di “ <i>Picking lists</i> ” .....	101
5.5 – Cambiamenti del layout dovuti al nuovo prodotto .....	103
5.5.1 – LINE 05 .....	104
5.5.2– LINE 02 .....	105
5.5.3– LINE 01 .....	107
Capitolo 6 – Il flusso dei materiali.....	108
6.1 – Funzioni pianificazione Oracle .....	108
6.1.1 – Logica utilizzo “ <i>Work order</i> ” .....	109
6.1.2 – Logica “ <i>Pick order</i> ” .....	110
6.2 – Logistica interna .....	110
6.3 - Logistica esterna .....	118
Conclusione.....	119
Bibliografia .....	123
Sitografia.....	123
Indice degli acronimi .....	123
Indice dei termini stranieri .....	124
Ringraziamenti .....	126

## Indice delle figure

Figura 1 - Logo Generac .....	10
Figura 2- Logo Pramac .....	10
Figura 3 - filiali Pramac in Europa .....	11
Figura 4 - filiali Pramac resto del mondo .....	12
Figura 5 - Divisioni aziendali Pramac .....	12
Figura 6 – gruppo elettrogeno serie GQW- TwinGen .....	15
Figura 7 - Gruppo elettrogeno Hybrid .....	15
Figura 8 – BESS taglia LX .....	16
Figura 9 - BESS taglia MX .....	16
Figura 10 – BESS Taglia SX.....	16
Figura 11 – generatore serie P.....	17
Figura 12 - generatore Serie S.....	17
Figura 13 – generatore Serie PI.....	17
Figura 14 - Carrello commisionatore .....	18
Figura 15 - Carrello elevatore .....	18
Figura 16 - Transpallet elettrico AGILE.....	18
Figura 17 - Scheda tecnica BESS serie SX.....	19
Figura 18 - Scheda tecnica BESS LX.....	19
Figura 19 - Scheda tecnica BESS MX.....	19
Figura 21 - Scheda tecnica generatori a gas naturale .....	20
Figura 20 - Scheda tecnica generatori portatili serie S .....	20
Figura 22 - Scheda tecnica serie GRW generatori stazionari .....	21
Figura 23 - Scheda tecnica Serie P generatori a gasolio .....	21
Figura 24 - grafico carico generatore per fascia oraria .....	24
Figura 25 - Schema esplicativo uso BESS .....	25
Figura 26 - differenze costi con e senza BESS .....	25
Figura 27 - Gamma BESS con tutte le taglie.....	26
Figura 28 - nuova unità LX .....	27
Figura 29 - nuova unità SX .....	27
Figura 30 - schema nuova cofanatura LX.....	28
Figura 31 - schema resistenza a trazione nuova unità SX.....	28
Figura 32 - schema resistenza a compressione nuova SX.....	28
Figura 33 - esempio nuova scocca interna nuova serie LX .....	29

Figura 34- struttura interna linea BESS attuale.....	29
Figura 35 - Schema flussi aria nuova serie LX.....	30
Figura 36 - immagine prototipo BESS LX.....	30
Figura 37 - schema quadri potenza e controllo nuova serie LX.....	31
Figura 38 - pannello di controllo nuova serie LX.....	31
Figura 39- schermo LCD di controllo.....	31
Figura 40- particolare del quadro di potenza prototipo BESS LX.....	31
Figura 41 - vista laterale quadri nuova linea LX.....	31
Figura 42 - schema nuovo pacco batterie per LX.....	32
Figura 43 - Attuale griglia batterie BESS LX.....	32
Figura 44- Particolare nuovo pacco batterie.....	33
Figura 45 - nuove batterie a chimica LFP.....	33
Figura 46- Nuovo convertitore di corrente.....	33
Figura 47- visione laterale prototipo BESS LX.....	36
Figura 48 - schema interno nuova serie LX.....	38
Figura 49 - particolare nuovi cavi di collegamento.....	38
Figura 50 - Schema processo produttivo BESS.....	44
Figura 51 - mappa Midlands inglesi.....	45
Figura 52 – Layout stabilimento unità 3-4.....	47
Figura 53 - Layout unità 5.....	48
Figura 54 - Layout unità 6.....	49
Figura 55 - layout stabilimento con linee denominate.....	51
Figura 56 - layout "cut wiring" area.....	52
Figura 57 - layout "subassembly" area.....	53
Figura 58 - layout "mechanical assembly area".....	54
Figura 59 - layout "electrical assembly" area.....	54
Figura 60- layout "testing" and "PDI" area.....	56
Figura 61 - Layout nuova "wire cutting" area.....	58
Figura 62 - Layout nuova "Subassembly" area.....	59
Figura 63 - Layout nuova "semi-finished good" area.....	61
Figura 64 - Particolare layout cella di produzione flessibile.....	62
Figura 65 -schema posizionamento "battery pack" area.....	63
Figura 66 - schema Lean thinking.....	67
Figura 67 - "Esempio di value stream map".....	71

Figura 68 - simboli principali" value stream map" .....	71
Figura 69 - raffigurazione del concetto kaizen .....	75
Figura 70 - orientamento Lean .....	77
Figura 71 - schema funzionamento kanban .....	80
Figura 72 - le 5S del Lean thinking .....	83
Figura 73 - esempio di spaghetti chart .....	85
Figura 74 - macchina tagliacavi.....	87
Figura 75 - Carrelli kit cavi.....	88
Figura 76 – Dettaglio struttura carrello kit cavi .....	89
Figura 77 - Tempi prima della modifica dell'area cavi .....	90
Figura 78 – Tempi dopo la modifica dell'area cavi .....	90
Figura 79- tavoli mobili con cavi da 25 mm .....	91
Figura 80 - Vecchi banchi di lavoro .....	93
Figura 81 - Banco di lavoro con uso del metodo 5S lean.....	93
Figura 82 - Schermo interattivo .....	94
Figura 83 - Nuovi "Stillages" per le cofanature.....	96
Figura 84 - vecchio metodo di stoccaggio delle cofanature .....	96
Figura 85 - Esempio di utilizzo di una termocamera .....	97
Figura 86 - Nuova "Bill of materials" per la linea LX .....	99
Figura 87 - Layout generale "as is" .....	104
Figura 88 - Layout generale "to be" .....	104
Figura 89 - LINE 05 "to be" .....	105
Figura 90 - LINE 05 "as is" .....	105
Figura 91 - LINE 02 "as is" .....	106
Figura 92 - LINE 02 "to be" .....	106
Figura 93 - Layout LINE 01 "as is" .....	107
Figura 94 - Layout LINE 01"to be" .....	107
Figura 95 – Schema di flusso dei materiali per la nuova unità BESS.....	111
Figura 96 - Particolare del flusso inerente all'area cavi .....	112
Figura 97 - Particolare flusso materiali "Semi-finished good" .....	114
Figura 98 - Particolare flusso dei materiali di batterie e cofanatura .....	116

## Introduzione

Nel mondo moderno dell'impresa e più in particolare della produzione, è fondamentale la cura del dettaglio ed il minuzioso controllo dei processi, al fine di rendersi il più possibile efficienti e rimanere competitivi. In un periodo storico dove le informazioni viaggiano da una parte all'altra del mondo in pochi secondi, essere in grado di differenziarsi dalla concorrenza non è più solo questione di tecnologie utilizzate e di forniture differenti, ma diventa fondamentale curare il proprio processo produttivo nei minimi dettagli per assicurarsi un perfetto funzionamento della produzione, con un conseguente aumento dei margini di guadagno.

Questo scritto mira a presentare il lavoro svolto per la multinazionale PR Industrial durante il periodo di tirocinio presso gli stabilimenti di Casole d'Elsa (Siena, Italia) e Rugby (Warwickshire, Inghilterra), evidenziando in particolare il lavoro di industrializzazione del nuovo prodotto *Battery Energy Storage System* (BESS) ideato negli uffici tecnici della sede italiana del gruppo e creato nel sopracitato stabilimento inglese.

Nel primo capitolo viene presentata brevemente la storia di Pramac, con cenni storici sulla sua fondazione e spiegazione della sua partizione nelle varie divisioni aziendali, oltre ad una schematica presentazione delle sue principali tipologie di prodotti, fornitori e clienti.

Il secondo capitolo analizza il nuovo *Battery Energy Storage System*, ne presenta il funzionamento, i possibili impieghi e le differenze rispetto alla versione precedente. In questo capitolo vengono presentate la struttura meccanica ed elettrica della nuova unità, evidenziando le differenze dall'unità precedente, le migliorie specifiche che sono state apportate nella creazione del nuovo prodotto e le richieste del mercato che hanno portato alla loro introduzione.

La presentazione dello stabilimento produttivo di Rugby si articola nel terzo capitolo, con una particolare attenzione riservata alle differenze nella logica di produzione fra vecchie e nuove unità BESS ed alla conseguente modifica del layout. Verrà prima presentato il layout allo stato attuale, e successivamente mostrate tutte le modifiche effettuate a ciascuna area dello stabilimento con approfondimenti sulle ragioni ed i benefici che ne derivano.

Il quarto capitolo espone le basi teoriche dietro al lavoro di modifica dei processi produttivi, introducendo il concetto di Lean production. Viene presentata la storia del "pensiero snello" ed i suoi principali fautori, vengono spiegati i 5 pilastri su cui si articola tutta la struttura del Lean thinking ed i principali strumenti utili alla sua implementazione.

Il quinto capitolo presenta tutti i miglioramenti apportati al processo produttivo, dividendoli per aree di impiego ed andando a fare una breve panoramica sul motivo e sull'implementazione di ogni singola miglioria. In questo capitolo viene inoltre presentato il sistema informativo aziendale utilizzato dall'azienda, e vengono presentati i miglioramenti adottati anche per quest'ultimo.

Il sesto capitolo è incentrato sulla presentazione del flusso dei materiali interno ed esterno allo stabilimento. Vengono analizzate nel dettaglio la logistica interna inerente al vecchio prodotto e la sua evoluzione e modellazione in base alle esigenze della nuova unità. È inoltre presente una breve digressione sulle funzioni di pianificazione della produzione utilizzate dall'azienda, insieme ad una breve analisi sulla logistica esterna e le motivazioni dietro la scelta di determinati fornitori.

Il settimo ed ultimo capitolo presenta infine le conclusioni del progetto, con una riflessione su come la naturale evoluzione dei prodotti nel tempo possa portare una profonda modifica all'interno delle logiche di produzione ed al layout dell'impianto produttivo, con un cenno ai miglioramenti pianificati per il futuro.

## Capitolo 1 – L’azienda Pramac

L’azienda Pramac, con sede legale a Casole d’Elsa, conta ad oggi più di 1100 dipendenti in tutto il mondo, con stabilimenti produttivi in Italia, Spagna, Inghilterra, Cina, Brasile e India, oltre a 16 filiali commerciali. È presente in più di 150 Paesi dove esporta l’85% della sua produzione. Lo stabilimento di Casole d’Elsa (Siena, Italia) è il più grande, con la sua superficie di circa 40000 m<sup>2</sup>, ed ospita circa 250 dipendenti, rappresentando il punto di contatto tra l’azienda senese e Generac.

Generac è un’azienda americana leader nella progettazione e produzione di gruppi elettrogeni che dal 2016 possiede il 65% del capitale sociale di PR Industrial (nuovo nome dell’azienda dopo aver inglobato la Lifter s.r.l.). L’acquisizione è arrivata a seguito di alcuni problemi economici che l’azienda ha dovuto affrontare negli anni successivi alla crisi economica del 2008, ed ha aiutato il gruppo a risollevarsi e tornare a competere in ambito internazionale.



*Figura 2- Logo Pramac*



*Figura 1 - Logo Generac*

### 1.1 - La storia di Pramac

La storia dell’azienda ha inizio nel 1966, quando Mario Campinoti fonda “L’Europea”, una società di costruzioni, che aveva nel mercato italiano il principale bacino d’utenza. Una volta acquisita la Lifter S.r.l nel 1988, la società cambia poi nome in Pramac Industriale S.p.a. nel 1994. Fino all’anno del debutto in borsa nel 2007, l’azienda continua a crescere e ad espandere i propri mercati grazie all’integrazione di varie realtà commerciali leader nei settori della movimentazione industriale e della produzione di generatori elettrici, riuscendo così a soddisfare una sempre maggiore varietà di clienti italiani ed esteri, crescendo commercialmente su scala globale. Il 2007 però segna anche l’inizio di un periodo buio per l’azienda, la costituzione della società Pramac Swiss S.A., dedicata alla produzione di pannelli e componenti per impianti fotovoltaici, e il conseguente ingresso nel

mercato dell'energia rinnovabile, porteranno numerose difficoltà all'azienda. Questo periodo si concluderà con il concordato preventivo del 2012 che vede la fusione della Lifter S.r.l, interamente dedicata alla divisione “*Material handling*” (attrezzi di movimentazione logistica, transpallet e carrelli elevatori) e della Pramac, che dà vita a PR Industrial, il cui capitale viene ceduto al 50% al gruppo tedesco Prettl. Il vero cambiamento si ha però a inizi 2016, quando il gruppo americano Generac, leader nella produzione di gruppo elettrogeni a gas e torri faro, acquisisce il 65% dell'azienda da Prettl e dalla famiglia Campinoti. Il colosso americano vanta un fatturato di 1,3 miliardi di dollari nel 2015 e circa 3500 dipendenti nel mondo, ma prima dell'acquisizione risultava, a livello commerciale, molto compatto e presente “soltanto” in USA, Canada e Messico. L'acquisizione dell'azienda senese (definita dallo stesso amministratore delegato dell'impresa americana Aaron Jagdfeld come una vera e propria pietra miliare nella storia della multinazionale statunitense) garantisce a Generac l'utilizzo di canali di vendita ramificati, potendo sfruttare la capillarità delle 16 filiali commerciali ed entrando così nel mercato europeo e asiatico. Attualmente, il colosso americano gestisce direttamente le vendite in USA, Canada e Messico, mentre PR Industrial rappresenta il quartier generale di Generac per il “resto del mondo”.

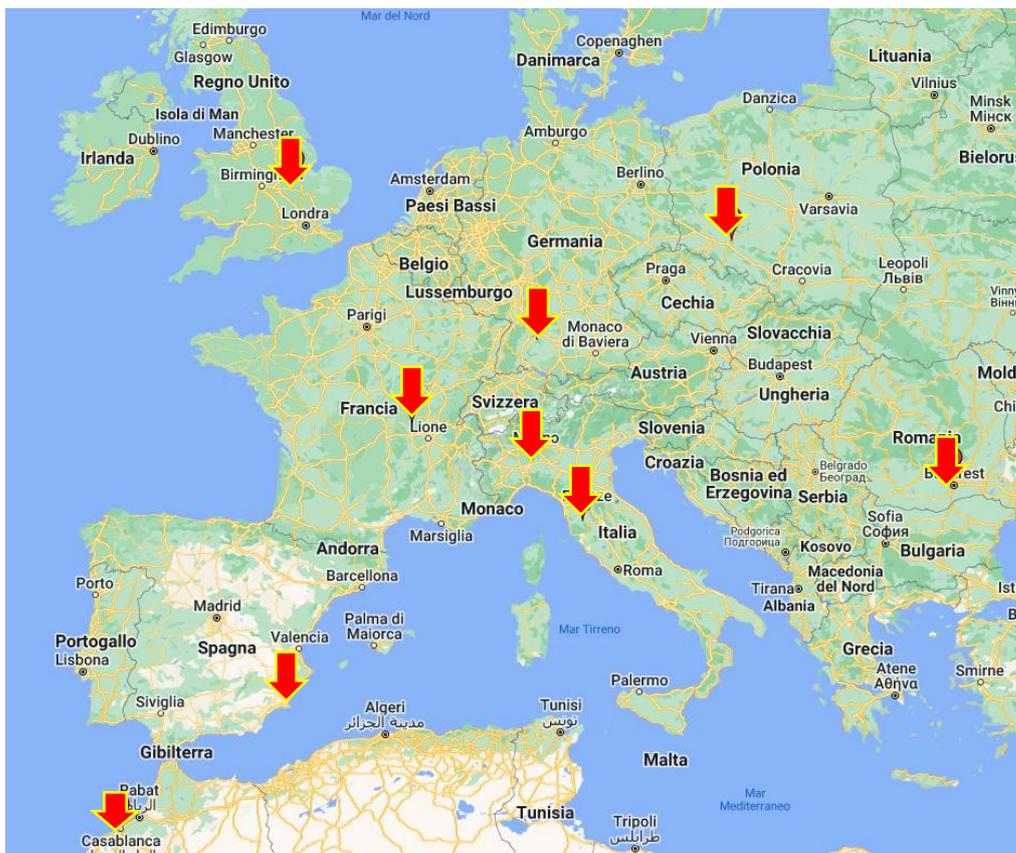


Figura 3 - filiali Pramac in Europa

Il restante 35% del capitale rimane nelle mani di Paolo Campinoti, figlio di Mario che, con l'ingresso del gruppo americano, resta nel ruolo di amministratore delegato di PR Industrial ed assume quello di vicepresidente esecutivo di Generac per l'Europa, Medio Oriente, Asia Pacifico, Africa e Sud America. La fusione tra Generac e PR Industrial ha di fatto dato vita al terzo attore sulla scena mondiale della produzione di generatori di energia elettrica.

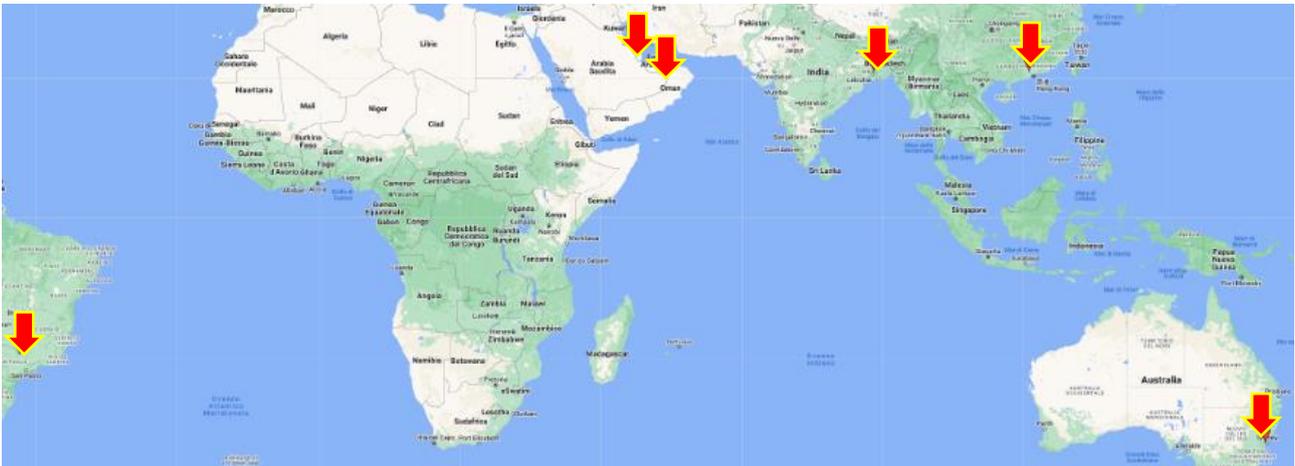


Figura 4 - filiali Pramac resto del mondo

## 1.2 - Le divisioni aziendali

Pramac commercializza in tutto il mondo linee di prodotti fortemente diversificate, ed è nota soprattutto per la produzione di macchinari per la movimentazione a terra e di gruppi elettrogeni per applicazioni commerciali, industriali, residenziali e per scopi ricreativi. Come si può vedere dalla seguente immagine, l'azienda ha organizzato il proprio business su quattro divisioni principali: due divisioni legate alla produzione, una al servizio al cliente post-vendita ed una sezione Racing, impegnata nel campionato del mondo della MotoGP.



Figura 5 - Divisioni aziendali Pramac

- **Power:** Alla divisione dedicata alla produzione di gruppi elettrogeni appartengono due sottodivisioni; Power System per i generatori portatili e Power Engineering per i generatori stazionari, alimentati sia a diesel che a gas. In questa divisione troviamo anche soluzioni per lo stoccaggio di energia a batteria, torri faro e dust-fighter, progettati per lavorare in diverse applicazioni dove è necessaria alimentazione temporanea. La produzione in Italia è suddivisa fra gli stabilimenti produttivi di Casole d'Elsa (dove si producono tutti i tipi di generatori) e Pavia (dove vengono prodotti esclusivamente dust-fighter e torri faro). Nel resto del mondo si possono trovare stabilimenti dedicati ad una singola categoria di prodotti (come lo stabilimento produttivo di Rugby per i Battery Energy storage system) oppure stabilimenti con una produzione mista di tutta la gamma di prodotti (come gli stabilimenti di Murcia in Spagna e di Foshan in Cina)
- **Material Handling:** Questa divisione è dedicata ai macchinari per la movimentazione materiali, in particolare transpallet manuali ed elettrici, pesatori e carrelli elevatori elettrici e semi-elettrici. Opera nel solo stabilimento di Casole d'Elsa ed esporta la sua produzione in tutte le filiali commerciali sparse per il mondo.
- **Service and Parts:** La terza divisione aziendale rappresenta l'impegno primario di Pramac per l'attenzione al cliente e alla sua totale soddisfazione, ne è la prova la creazione di una unità altamente specializzata ed informatizzata nei servizi a livello mondiale, interamente dedicata al Servizio al Cliente. Questa divisione è presente presso ogni stabilimento produttivo ed è una priorità di Pramac assicurarsi la sua completa efficienza in tutto il mondo.
- **Pramac Racing:** Nel 2002 nasce Pramac Racing con l'ingresso del marchio nella MotoGP, al fine di espandere e sostenere l'immagine del gruppo in tutto il mondo. Seguono anni di soddisfazioni, grazie anche all'accordo in essere con Ducati, che garantisce la propria motorizzazione ufficiale al gruppo Pramac dal 2005, arrivando fino alla conquista del titolo di "Best Independent Team" nel 2018. La divisione Racing è a tutti gli effetti una divisione aziendale senza un rapporto con la produzione, ma garantisce al marchio una caratura internazionale, ottima visibilità ed un motivo di grande orgoglio ed unicità.

Quello descritto in questo capitolo è il contesto in cui si inserisce il progetto che costituisce il corpo principale di questa tesi: una realtà aziendale diffusa in gran parte del mondo, un'azienda giovane e dinamica che si fonda su una solida base storica ma fa leva sulla sua versatilità e flessibilità per produrre macchinari innovativi e di alta qualità.

## 1.3 – Principali prodotti

Pramac è presente in tutto il mondo grazie ad una produzione che serve il mercato globale e si diversifica in molteplici settori. La grande forza dell'azienda risulta essere il marchio, sinonimo di qualità costruttiva ed affidabilità. Questo connubio è possibile anche grazie ai tanti fornitori con cui Pramac collabora come ABB, General Electric, Victron Energy, Mecc Alte, Volvo, Scania e molti altri *brand*, leader nei loro settori. Le macchine create da Pramac vengono commercializzate sia a privati, come ad esempio i generatori portatili ed alcuni modelli di *battery energy storage system*, sia ad aziende come Still, Aggreko, Sunbelt, Coates e Kilotou. Questi importanti marchi internazionali sono spesso legati al mercato del “*Rental*”, ovvero del noleggio di macchinari industriali e sistemi di sostentamento energetico. In particolare, Pramac si contraddistingue per la commercializzazione di gruppi elettrogeni, soluzioni di accumulo di energia a batteria e apparecchi industriali per il “*material handling*”. Segue una breve presentazione delle principali categorie di prodotti venduti da Pramac.

### 1.3.1 - Gruppi elettrogeni

In questa categoria possiamo trovare tutti i tipi di gruppi elettrogeni di grandi dimensioni, pensati principalmente per il mercato del noleggio. Vi sono gruppi raffreddati ad aria o acqua (come la serie P) progettati per la miglior performance con i più bassi livelli di rumorosità, sia in versione diesel che benzina. Perfetti per utilizzi che prevedono la minor quantità di emissioni acustiche possibile ed una fonte di energia stabile e duratura.

La nuova serie GPW è una soluzione creata anche per il mercato dei privati, dove funzionalità, maneggevolezza, e rapida messa in servizio sono massimizzate grazie alle dimensioni ridotte, ottime per favorire un ricollocamento veloce ed una efficienza ottimale. Vi sono soluzioni di dimensioni molto generose (come il GQW *TwinGen*), un gruppo elettrogeno composto da due generatori in parallelo alloggiati in un unico container. Questo sistema brevettato da Pramac è

progettato per lavorare in un'ampia varietà di applicazioni per le quali è necessaria una potenza elevata, modulare e stabile.

La Serie GRW è uno dei prodotti di punta dell'azienda, grazie alle sue qualità di rispetto dell'ambiente, sicurezza e durata. Facendo leva sulla affidabilità e sulla elevata capacità di erogazione di potenza, i generatori di questa linea sono il prodotto più diffuso del mercato rental nella produzione di energia in locazioni non elettrificate, per eventi o applicazioni industriali.

L'ultima aggiunta alla flotta di generatori Pramac è il gruppo elettrogeno ibrido in un pacchetto compatto *all-in-one*. Riduce significativamente il suo impatto ambientale, con una vasta scelta di modalità operative disponibili che consentono la corretta selezione in base alle specificità del sito di utilizzo.

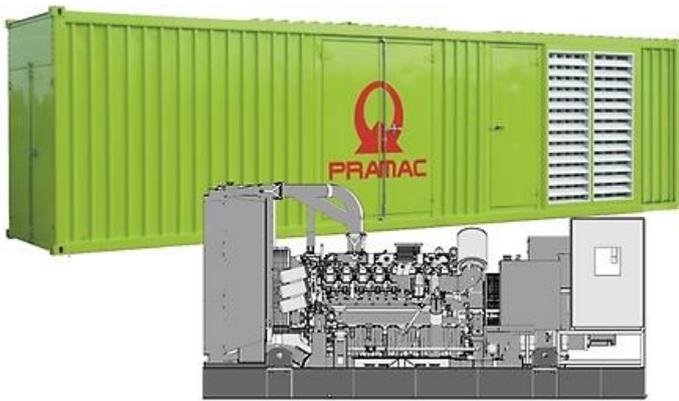


Figura 6 – gruppo elettrogeno serie GQW- TwinGen



Figura 7 - Gruppo elettrogeno Hybrid

### 1.3.2 - Soluzioni di accumulo di energia a batteria

Il “*Battery energy storage system*” è un sistema innovativo che permette di migliorare le prestazioni dei gruppi elettrogeni a cui viene accoppiato. Tramite l'uso di batterie, esso immagazzina energia per ridistribuirla quando necessario. La gamma possiede tre taglie di unità:

- la taglia SX è caratterizzata da dimensioni contenute, per le applicazioni di tipo portatile.

- La taglia MX possiede una scocca di medie dimensioni, per le applicazioni di ogni tipo in cui sia indispensabile un buon rapporto fra capienza energetica e facilità di spostamento.
- L'ultima taglia è l'LX ed è dotata di dimensioni generose, per le applicazioni nel quale viene richiesta una elevata capacità di immagazzinamento ed erogazione di energia.



Figura 9 - BESS taglia MX



Figura 10 – BESS Taglia SX



Figura 8 – BESS taglia LX

Questo prodotto verrà presentato ed approfondito nel secondo capitolo, entrando nel dettaglio dei suoi principali componenti e funzionamenti. È infatti proprio il “BESS” il prodotto per cui è stata fatta l’industrializzazione della nuova gamma, che questa tesi mira a presentare.

### 1.3.3 – Generatori portatili

Questi generatori forniscono potenza pulita e stabile per tutti i tipi di dispositivi. Facili da trasportare, efficienti nei consumi e con emissioni acustiche ridotte al minimo. Generatori leggeri, compatti e con dimensioni molto ridotte, come quelli della serie PI, sono il miglior compromesso tra prezzo e performance per l'utilizzo professionale. Montano serbatoi maggiorati e bandelle di protezione laterali in acciaio, che combinano efficienza, durabilità e autonomia.

La serie P è pensata per applicazioni intensive, combinando resistenza e ottima affidabilità. Questi generatori sono studiati per un utilizzo variegato, adatto a molte situazioni e alla maggior parte degli scenari. È dotato di ruote per migliorare il trasporto e permettere un veloce ricollocamento.

Troviamo infine generatori premium professionali con protezione elettrica IP54 e regolatore elettronico di tensione, come la serie S. Questa rappresenta il top della gamma portatile, e permette prestazioni di alta fascia con dimensioni ridotte e affidabilità superiore.



Figura 11 – generatore serie P



Figura 12 - generatore Serie S



Figura 13 – generatore Serie PI

### 1.3.4 - Transpallet, Carrelli elevatori, pese e sollevatori

Una gamma completa di transpallet manuali ed elettrici che offrono una varietà di strumenti ideali per movimentare pallet di qualsiasi dimensione. La linea Agile comprende un nuovo tipo di transpallet innovativo che coniuga funzioni elettriche e manuali: motorizzato con due ruote motrici per ottimizzare il lavoro dell'operatore e garantire prestazioni elevate in massima sicurezza.

Resistenti carrelli elevatori manuali, elettrici e semi-elettrici, adatti per ridurre lo sforzo durante lo stoccaggio merci in magazzino. I prodotti sono disegnati per lavorare in spazi ristretti e coprire gli utilizzi leggeri ed intensivi, come la gamma di carrelli “straddle” sia elettrici che manuali.

È presente, inoltre, una linea completa di prodotti di pesatura mobile specificamente progettati per tutte le applicazioni di movimentazione materiali nella logistica e nell'industria: dal transpallet manuale al pantografo, fino alle soluzioni di pesatura mobile per carrelli elevatori e stoccatori. Le

soluzioni proposte sono molteplici, come forche pesatrici, sistemi di pesatura a pressione e pantografi pesatori.

Tutti i prodotti sono progettati per portare al massimo l'efficienza nel lavoro quotidiano, come i carrelli commissionatori dotati di piattaforma, che coniugano semplicità di utilizzo, leggerezza e affidabilità. Una volta posizionati nell'area di lavoro, la sicurezza è garantita tramite appositi stabilizzatori laterali che evitano la messa in movimento accidentale della macchina.



Figura 14 - Carrello commissionatore

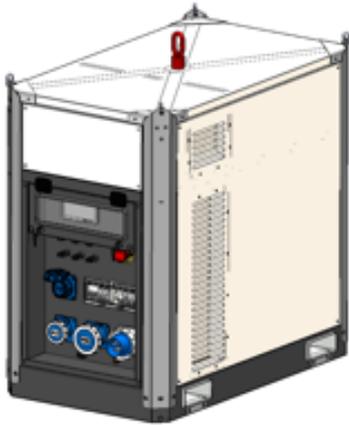


Figura 16 - Transpallet elettrico AGILE

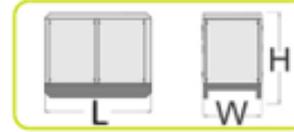


Figura 15 - Carrello elevatore

Questa veloce panoramica sui prodotti commercializzati da Pramac permette di inquadrare bene il contesto in cui l'azienda opera, ed individuare i suoi punti di forza sul mercato internazionale: grande personalizzazione di tutti i prodotti, ampia gamma per soddisfare ogni esigenza del cliente e l'eccellente qualità costruttiva del *Made in Italy*.



SX	Dimension [mm]
H	966
L	977
W	590



SX	Outlet/Inlet configuration	Country/destination
Standard	1Φ CEE sockets - TBD	UK/EU
Custom 1	TBC	USA
Custom 2	TBC	AUS

	Power [kVA]	Capacity [kWh]	Inverter	Batteries
SX	10	15	1 x 10 kVA Victron Multiplus II	3 x US5000 - B Pylontech Rack Batt.
SX	5	15	1 x 5 kVA Victron Multiplus II	3 x US5000 - B Pylontech Rack Batt.
SX	5	10	1 x 5 kVA Victron Multiplus II	2 x US5000 - B Pylontech Rack Batt.

Figura 17 - Scheda tecnica BESS serie SX



LX	Dimension [mm]
H	2018
L	2240
W	1160



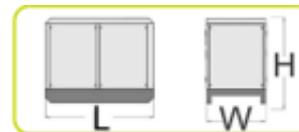
LX	Outlet/Inlet configuration	Country/destination
Standard	3Φ and 1Φ CEE sockets	UK/EU
Custom 1	Camlocks and turnlocks	USA
Custom 2	AUS sockets - Clipsal	AUS

	Power [kVA]	Capacity [kWh]	Inverter	Batteries
LX	60	100	6 x 10 kVA Victron Quattro	20 x US5000 - B Pylontech Rack Batt.
LX	60	80	6 x 10 kVA Victron Quattro	16 x US5000 - B Pylontech Rack Batt.
LX	60	72	6 x 10 kVA Victron Quattro	4 x 360 Ah Midac Batt.
LX	45	80	3 x 15 kVA Victron Quattro	16 x US5000 - B Pylontech Rack Batt.
LX	45	60	3 x 15 kVA Victron Quattro	12 x US5000 - B Pylontech Rack Batt.

Figura 18 - Scheda tecnica BESS LX



MX	Dimension [mm]
H	1700
L	1096
W	1066



MX	Outlet/Inlet configuration	Country/destination
Standard	3Φ and 1Φ CEE sockets - TBD	UK/EU
Custom 1	TBC	USA
Custom 2	AUS sockets - Clipsal - TBD	AUS

	Power [kVA]	Capacity [kWh]	Inverter	Batteries
MX	30	60	3 x 10 kVA Victron Quattro	12 x US5000 - B Pylontech Rack Batt.
MX	15	TBD	1 x 15 kVA Victron Quattro	TBD

Figura 19 - Scheda tecnica BESS MX

## GAMMA DI GENERATORI A GAS NATURALE

MODELLO*	POTENZA (ESP) 50Hz	POTENZA (PRP) 50Hz	MOTORE	CARBURANTE
GGW 35 G	35 kVA/28 kW	32 kVA/26 kW	4.5L	METANO/GPL
GGW 50 G	50 kVA/40 kW	45 kVA/36 kW	4.5L	METANO/GPL
GGW 70 G	70 kVA/56 kW	-	4.5L	METANO/GPL
GGW 85 G	85 kVA/68 kW	-	4.5L	METANO
GGW 200 G	200 kVA/160 kW	180 kVA/144 kW	14.2L	METANO
GGW 300 G	300 kVA/240 kW	270 kVA/216 kW	14.2L	METANO
GGW 400 G	400 kVA/320 kW	360 kVA/288 kW	21.9L	METANO
GGW 500 G	500 kVA/400 kW	450 kVA/360 kW	25.8L	METANO
GGW 625 G	625 kVA/500 kW	562 kVA/450 kW	33.9L	METANO
GGW 750 G	750 kVA/600 kW	625 kVA/500 kW	33.9L	METANO

MODELLO**	POTENZA (ESP) 50Hz-60Hz	POTENZA (PRP) 50Hz	MOTORE	CARBURANTE
GGW 35 G	35 kVA/28 kW - 44 kVA/35 kW	32 kVA/26 kW	4.5L	METANO/GPL
GGW 40 G	40 kVA/32 kW - 50 kVA/40 kW	36 kVA/29 kW	4.5L	METANO/GPL
GGW 45 G	45 kVA/36 kW - 56 kVA/45 kW	41 kVA/33 kW	4.5L	METANO/GPL
GGW 50 G	50 kVA/40 kW - 63 kVA/50 kW	45 kVA/36 kW	4.5L	METANO/GPL
GGW 60 G	60 kVA/48 kW - 75 kVA/60 kW	-	4.5L	METANO/GPL
GGW 70 G	70 kVA/56 kW - 87 kVA/70 kW	-	4.5L	METANO/GPL
GGW 80 G	80 kVA/65 kW - 100 kVA/80 kW	-	4.5L	METANO
GGW 100 G	100 kVA/80 kW - 125 kVA/100 kW	90 kVA/72 kW	9.0L	METANO/GPL
GGW 130 G	130 kVA/104 kW - 163 kVA/130 kW	-	9.0L	METANO/GPL
GGW 150 G	150 kVA/120 kW - 188 kVA/150 kW	-	9.0L	METANO/GPL
GGW 200 G	200 kVA/160 kW - 250 kVA/200 kW	180kVA/144 kW	14.2L	METANO
GGW 275 G	275 kVA/220 kW - 344 kVA/275 kW	247 kVA/198 kW	14.2L	METANO
GGW 350 G	350 kVA/280 kW - 438 kVA/350 kW	315 kVA/252 kW	21.9L	METANO
GGW 400 G	400 kVA/320 kW - 500 kVA/400 kW	360 kVA/288 kW	21.9L	METANO
GGW 500 G	500 kVA/400 kW - 625 kVA/500 kW	450 kVA/360 kW	25.8L	METANO
GGW 625 G	625 kVA/500 kW - 781 kVA/625 kW	562 kVA/450 kW	33.9L	METANO
GGW 750 G	750 kVA/600 kW - 937 kVA/750 kW	625 kVA/500 kW	33.9L	METANO

\*I dati si riferiscono ai prodotti per i mercati europei

\*\*I dati si riferiscono ai prodotti per i mercati extraeuropei

Figura 20 - Scheda tecnica generatori a gas naturale

SERIE S BENZINA						
GENERATORI		S 5000		S 8000		
		MONOFASE		S 5000	S 8000	SP 8000
POTENZA TRIFASE						
POTENZA LTP	kW / kVA	-	-	5,0 / 6,3	6,6 / 8,3	7,1 / 8,8
POTENZA COP	kW / kVA	-	-	4,3 / 5,4	5,6 / 7,0	5,4 / 6,8
POTENZA MONOFASE						
POTENZA LTP	kW / kVA	4,8 / 5,3	6,4 / 7,2	3,4 / 3,8	3,6 / 4,0	5,2 / 5,8
POTENZA COP	kW / kVA	3,9 / 4,2	5,5 / 6,0	3,1 / 3,5	3,3 / 3,7	3,6 / 4,0
DATI DI TARGA						
TENSIONE	Volt	230	230	400 / 230	400 / 230	400 / 230
FREQUENZA	Hz	50	50	50	50	50
MOTORE						
MARCA		Honda	Honda	Honda	Honda	Honda
MODELLO		GX270	GX390	GX270	GX390	GX390
COMBUSTIBILE		Benzina	Benzina	Benzina	Benzina	Benzina
CILINDRADA	cc	270	389	270	389	389
SISTEMA DI AVVIAMENTO		Elettrico (+ a strappo)				

Figura 21 - Scheda tecnica generatori portatili serie S

Models	PRP (kVA)	Engine	Alternator	Fuel/DEF Tank (l)	Dimensions (LxWxH mm)	Control unit
GRW80/S5	80	FPT	Leroy Somer	550\43	2800x1200x2000	DSE7320 MKII / DSE8610 MKII + DSEG8003
GRW100/S5	100	FPT	Leroy Somer	550\43	2800x1200x2000	DSE7320 MKII / DSE8610 MKII + DSEG8003
GRW150/S5	150	FPT	Leroy Somer	310\43	3460x1200x2000	DSE7320 MKII / DSE8610 MKII + DSEG8003
GRW200V/S5	200	VOLVO	Leroy Somer	650\68	4165x1500x2130	DSE7320 MKII / DSE8610 MKII + DSEG8003
GRW200/S5	204	FPT	Leroy Somer	310\43	3460x1200x2050	DSE7320 MKII / DSE8610 MKII + DSEG8003
GRW250V/S5	249	VOLVO	Leroy Somer	650\68	4165x1500x2130	DSE7320 MKII / DSE8610 MKII + DSEG8003
GRW250/S5	250	FPT	Leroy Somer	800\80	4165x1500x2130	DSE7320 MKII / DSE8610 MKII + DSEG8003
GRW300V/S5	307	FPT	Leroy Somer	800\80	4165x1500x2130	DSE7320 MKII / DSE8610 MKII + DSEG8003
GRW350S/S5	353	SCANIA	Leroy Somer	1500\164	4630x1600x2465	DSE7320 MKII / DSE8610 MKII + DSEG8003
GRW400S/S5	406	SCANIA	Leroy Somer	1500\164	4630x1600x2465	DSE7320 MKII / DSE8610 MKII + DSEG8003
GRW450S/S5	455	SCANIA	Leroy Somer	1500\164	4630x1600x2465	DSE7320 MKII / DSE8610 MKII + DSEG8003
GRW500S/S5	500	SCANIA	Leroy Somer	1500\150	4630x2100x2465	DSE7320 MKII / DSE8610 MKII + DSEG8003
GRW550S/S5	550	SCANIA	Leroy Somer	1500\150	4630x2100x2465	DSE7320 MKII / DSE8610 MKII + DSEG8003

Figura 22 - Scheda tecnica serie GRW generatori stazionari

DIESEL 50Hz	P18000		P14000		P9000		P6000		P4000	
	<b>Tensione</b>	400/230V	230V	400/230V	230V	400/230V	230V	400/230V	230V	230V
<b>Fasi</b>	3	1	3	1	3	1	3	1	1	
<b>Potenza in emergenza [LTP ESP]</b>	18,5kVA	16,0kVA	14,0kVA	13,2kVA	9,0kVA	7,6kVA	6,4kVA	5,4kVA	3,5kVA	
<b>Potenza in continuo COP</b>	16,2kVA	14,0kVA	12,4kVA	10,8kVA	8,2kVA	6,8kVA	5,8kVA	4,9kVA	3,2kVA	
<b>Marca motore</b>	<b>Yanmar</b>									
<b>Conformità al livello di emissioni UE</b>	<b>Stage V</b>									
<b>Velocità di rotazione nominale</b>	<b>3000rpm</b>									
<b>Dimensioni (LxWxH)</b>	1500x754x1032mm		1500x754x1032mm		1243x720x1031mm		1075x591x868mm		800x525x850mm	
<b>Peso a secco</b>	475	432Kg	475	432Kg	347Kg		200Kg		135Kg	
<b>Capacità del serbatoio carburante</b>	51l		51l		36l		24l		18l	
<b>Tipo di prese   Standard UE</b>	32A 3P+N+T 16A 3P+N+T 16A 2P+T 16A Schuko	2x32A 2P+T 16A 2P+T 16A Schuko	32A 3P+N+T 16A 3P+N+T 16A 2P+T 16A Schuko	2x32A 2P+T 16A 2P+T 16A Schuko	16A 3P+N+T 2x 16A 2P+T 16A Schuko	32A 2P+T 16A 2P+T 16A Schuko	16A 3P+N+T 2x 16A 2P+T 16A Schuko	32A 2P+T 16A 2P+T 16A Schuko	32A 2P+T 230V 16A 2P+T 230V 16A Schuko	
<b>Tipo di prese   UK</b>		4x32A 2P+ T 115V 1x32A 2P+ T 230V 2x16A 2P+ T 115V		4x32A 2P+ T 115V 1x32A 2P+ T 230V 2x16A 2P+ T 115V		32A 2P+ T 115V 32A 2P+ T 230V 2x16A 2P+ T 115V 16A 2P+T 230V		32A 2P+ T 115V 32A 2P+ T 230V 2x16A 2P+ T 115V 1x16A 2P+T 230V	2x16A 2P+T 230V 2x16A 2P+T 115V	

Figura 23 - Scheda tecnica Serie P generatori a gasolio

## Capitolo 2 - Battery Energy Storage System

### 2.1 – Panoramica sul prodotto: funzionamento ed utilizzi

Uno dei più grandi problemi del mondo moderno è l'inquinamento atmosferico ed il conseguente aumento delle temperature globali. Come possiamo evincere dai sempre più ricorrenti fenomeni atmosferici eccezionali che flagellano il nostro paese, la questione non riguarda solo l'aria che respiriamo o il caldo sempre più intenso, ma una vera e propria tropicalizzazione del clima nella nostra penisola. Secondo l'IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), l'organizzazione internazionale parte delle Nazioni Unite, di tutte le emissioni di gas serra nell'ambiente il 25% proviene dalla produzione di elettricità. È il settore più inquinante in assoluto, seguito da agricoltura e reparti collegati (con il 24%) e dall'industria (con il 21%). È quindi il settore economico su cui maggiormente bisognerebbe investire per limitare l'impatto del cambiamento climatico.

Da queste premesse nasce l'idea di creare un prodotto in grado di diminuire l'impatto ambientale dei generatori ed aumentarne l'efficienza energetica. Un generatore di corrente stazionario, come quelli prodotti da Pramac, sfrutta la combinazione motore-alternatore per trasformare l'energia chimica del carburante dapprima in energia cinetica tramite il motore termico e successivamente in energia elettrica tramite l'alternatore. I motori utilizzati su queste macchine sono progettati per mantenere un quantitativo di giri costante per molto tempo (a differenza del motore dei veicoli), con dimensioni molto più grandi e temperature di utilizzo che devono rimanere stabili. Molto spesso il fabbisogno energetico non è abbastanza per permettere al generatore di lavorare a pieno carico, e si finisce per sprecare energia ed inquinare inutilmente.

Per esempio, se si immaginano le reali esigenze di alimentazione di un cantiere c'è un picco di richiesta di energia al mattino quando tutto il personale arriva sul posto, accende i macchinari ed inizia il giorno di lavoro. La domanda poi scende leggermente fino all'ora di pranzo quando troviamo un altro picco dovuto all'utilizzo di energia per riscaldare gli ambienti. Infine, quando il sito si appresta a chiudere può essere richiesto l'uso di acqua calda, luci crepuscolari e riscaldamento degli ambienti. Passato questo momento, la domanda di energia del sito scende drasticamente in quanto potrebbe essere necessario solo alimentare una luce e una telecamera a circuito chiuso. Il generatore utilizzato a questo scopo viene comprato con le specifiche corrette per essere in grado di gestire i picchi di energia richiesti per l'alimentazione del sito. Tuttavia, un cantiere tipico non ha bisogno di tutta la potenza che un generatore fornisce per 24 ore al giorno, 7

giorni alla settimana. Pertanto, si rischia di vedere generatori che possono erogare molta più potenza del necessario, finendo per lavorare a basso carico per il 90% del tempo.

Questo porterà ad un consumo di carburante superiore, con un conseguente aumento dei costi di rifornimento, di distribuzione e gli eventuali costi di manutenzione.

Questi generatori sovradimensionati e quindi funzionanti a basso carico sono incredibilmente inefficienti nel bruciare carburante e finiscono con l'immettere più inquinanti nell'aria. Ciò è dovuto alla combustione incompleta che si viene a creare per la mancanza del giusto carico di energia erogata dal motore. La combustione incompleta si verifica quando l'alimentazione di aria o ossigeno è scarsa. Continua ad essere prodotto vapore acqueo come risultato della combustione del carburante, ma invece dell'anidride carbonica vengono prodotti monossido di carbonio e carbonio (rilasciato sotto forma di fuliggine).

*combustione incompleta: idrocarburi + ossigeno → monossido di carbonio + carbonio + acqua.*

Un motore diesel deve lavorare con un carico appropriato per raggiungere la sua temperatura di funzionamento ottimale. Se non riesce a raggiungere questa temperatura, una percentuale del combustibile sarà incombusta, aumentando molto la quantità di inquinanti rilasciati in atmosfera ed il conseguente impatto ambientale della macchina.

La maggior parte delle aziende o degli eventi raramente sanno di quanta energia effettivamente necessitano per i loro scopi, e spesso comprano i generatori tenendo in considerazione i picchi massimi di utilizzo di energia previsti. Ciò significa che i generatori forniti devono essere in grado di coprire i periodi stimati per il picco di consumo energetico (che di solito sono molto rari e brevi), ma il restante 95% del tempo lavorano con un carico molto basso ed inquinano notevolmente di più.

Un sistema di accumulo di energia a batteria è un immagazzinatore di energia che monta batterie di grandi dimensioni per poter contenere ed erogare una notevole quantità di energia per un tempo prolungato. La struttura principale si compone di un pacco batteria, dei convertitori di corrente AC/DC, un pannello di controllo dotato di diverse centraline ed un quadro di potenza per collegare tutti i componenti fra di loro e con l'esterno. Questa struttura consente di immagazzinare energia da più fonti: generatori, energia solare o rete elettrica. L'energia può essere ridistribuita, in un secondo momento, ad un sito che ne necessita o ad una abitazione dotata di un impianto fotovoltaico in un periodo di bassa esposizione al sole.

Se collegato ad un generatore, il BESS utilizza l'energia elettrica per ricaricare le batterie interne e far in modo che il generatore lavori sempre con il carico ideale per raggiungere la temperatura di

regime ed inquinare il meno possibile. Quando la richiesta di energia sale, il BESS rileva automaticamente la variazione e smette di utilizzare l'energia per ricaricarsi, ma al contrario eroga energia in parallelo al generatore, coprendo alla necessità dei picchi che la taglia del generatore non avrebbe potuto coprire da solo. Questo permette di acquistare generatori più piccoli e farli lavorare sempre con il carico adeguato, compensando i picchi di energia con l'aiuto del BESS ricaricato nelle ore a minor richiesta.

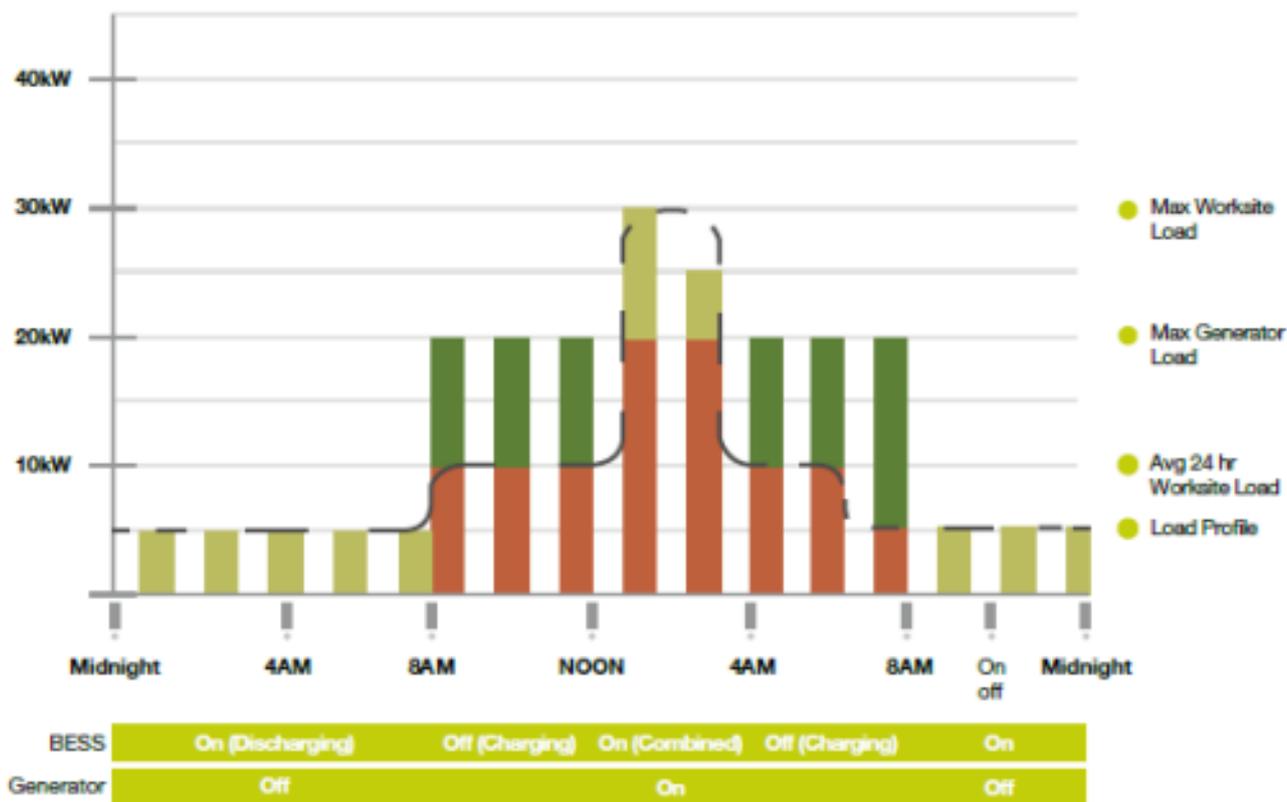


Figura 24 - grafico carico generatore per fascia oraria

Il BESS può essere anche utilizzato come unico erogatore di energia una volta ricaricato, per esempio in quegli ambienti dove serve evitare l'inquinamento acustico o durante le ore notturne in aree abitate.

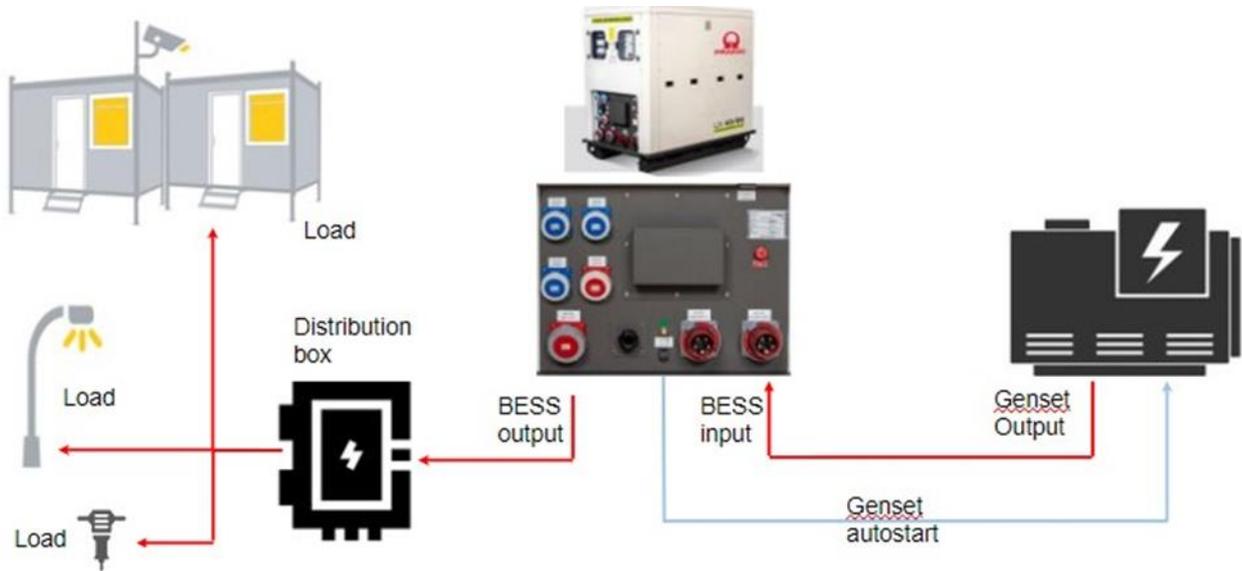


Figura 25 - Schema esplicativo uso BESS

STANDARD DIESEL GENERATOR	DATA	HYBRID POWER SOLUTION	DATA
HIRE PERIOD (DAYS)	28	HIRE PERIOD (DAYS)	28
HIRE PERIOD (HOURS)	672	HIRE PERIOD (HOURS)	672
GENERATOR RUNTIME (HOURS)	672	GENERATOR RUNTIME (HOURS)	336
SILENT RUNTIME (HOURS)	0	SILENT RUNTIME (HOURS)	336
FUEL CONSUMPTION (LITRES)	6.921,6	FUEL CONSUMPTION (LITRES)	3.460,8
CO2E OUTPUT (KG)	21.845	CO2E OUTPUT (KG)	10.922
CO2E REDUCTION (%)	0	CO2E REDUCTION (%)	50
FUEL COST (1.9 €/l)	€ 13.151,04	FUEL COST (1.9 €/l)	€ 6.575,52
HIRE COST*	€ 715	HIRE COST*	€ 2.384
<b>TOTAL COST</b>	<b>€ 13.866,04</b>	<b>TOTAL COST</b>	<b>€ 8.959,52</b>

Figura 26 - differenze costi con e senza BESS

## 2.2 – Segmentazione del mercato

Per andare incontro alla domanda del mercato sono state create 3 famiglie di prodotti della linea BESS con 3 diverse dimensioni della scocca esterna. Il funzionamento rimane identico per tutti i modelli, con gli stessi elementi principali presenti nella macchina in quantità diverse in base alla taglia.

La linea SX è la più piccola della gamma, ed è stata ideata per essere accostata a generatori di piccola taglia, o per applicazioni con un fabbisogno energetico moderato. Monta 3 celle batteria ed un singolo convertitore, possiede una sola fase ed ha il quadro di controllo ed il quadro di potenza disposti su un solo lato, uno sopra l'altro. Questa architettura è stata scelta per mantenere il prodotto il più compatto possibile per renderlo maneggevole e adatto ad un uso non solo industriale. Inoltre, non ha bisogno di nessuna manutenzione e questo la rende ideale per impieghi rapidi e di emergenza.

La linea MX è il perfetto compromesso fra energia immagazzinata, potenza erogata e portabilità. Può essere collegata con qualsiasi taglia di generatore e permette di erogare una quantità di energia in linea con quasi tutti gli utilizzi non intensivi. A differenza della taglia più piccola, questa unità può convertire la corrente da monofase a trifase per assicurare più stabilità ed affidabilità in sede di utilizzo. Al suo interno alloggiato fino a 10 batterie e 4 convertitori, arrivando ad un picco di potenza erogata di 60Kw. Al suo interno è anche presente un'interfaccia per il controllo e la diagnostica da remoto.

La linea LX è la più grande della gamma ed è specifica per utilizzi di tipo industriale e professionale. Grazie alla capacità di ospitare fino a 20 celle batteria e 6 convertitori di corrente,



Figura 27 - Gamma BESS con tutte le taglie

risulta perfetta per le applicazioni più energivore e durature. Anche questo modello ha la possibilità di convertire la corrente da monofase a trifase, possiede il controllo da remoto per la diagnostica e la manutenzione ed è provvisto di ogni tipo di presa elettrica industriale. Arriva ad erogare fino a 125 Kw e possiede la più elevata autonomia di tutta la linea.

Tutte le unità possono montare due tipi di batteria:

- a piombo acido, formate da un insieme di celle composte da piombo e acido solforico. Questi elementi chimici permettono alla batteria di erogare energia elettrica molte volte e di essere ricaricata continuamente. Sono progettate per fornire eccezionali prestazioni nel resistere al sovraccarico, a vibrazioni e urti, potendo essere utilizzate fino ad una temperatura di 60°C. Soffrono di auto scarica se non utilizzate per un lungo periodo ed hanno una densità energetica molto bassa.
- agli ioni di litio NMC, composta da una combinazione catodica di nichel, manganese e cobalto. La densità energetica è notevolmente maggiore, e la quantità di energia erogabile nel tempo è di gran lunga migliore che il suo corrispettivo al piombo. Sono batterie di dimensioni più contenute, più performanti e più longeve, ma per questi motivi anche molto più costose.

Dopo una breve panoramica sulle unità attualmente in commercio verranno adesso presentati i prototipi delle nuove unità BESS.

### 2.3 – Il nuovo BESS

La nuova linea di accumulatori di energia presenta un design cambiato per ogni famiglia di prodotto, nuove tecnologie per quanto riguarda le batterie usate e la loro chimica interna e nuovi convertitori di corrente. Il prodotto viene rivoluzionato nei suoi componenti chiave per ricercare il perfetto equilibrio fra qualità, prezzo e snellimento del processo di produzione.



Figura 28 - nuova unità LX



Figura 29 - nuova unità SX

Il design delle macchine è stato modificato per aumentare le prestazioni di resistenza della scocca esterna e migliorare la solidità dei ganci di sollevamento. La cofanatura è stata rimodernata, utilizzando linee più dolci per migliorare l'effetto visivo della macchina e soddisfare le richieste del mercato.

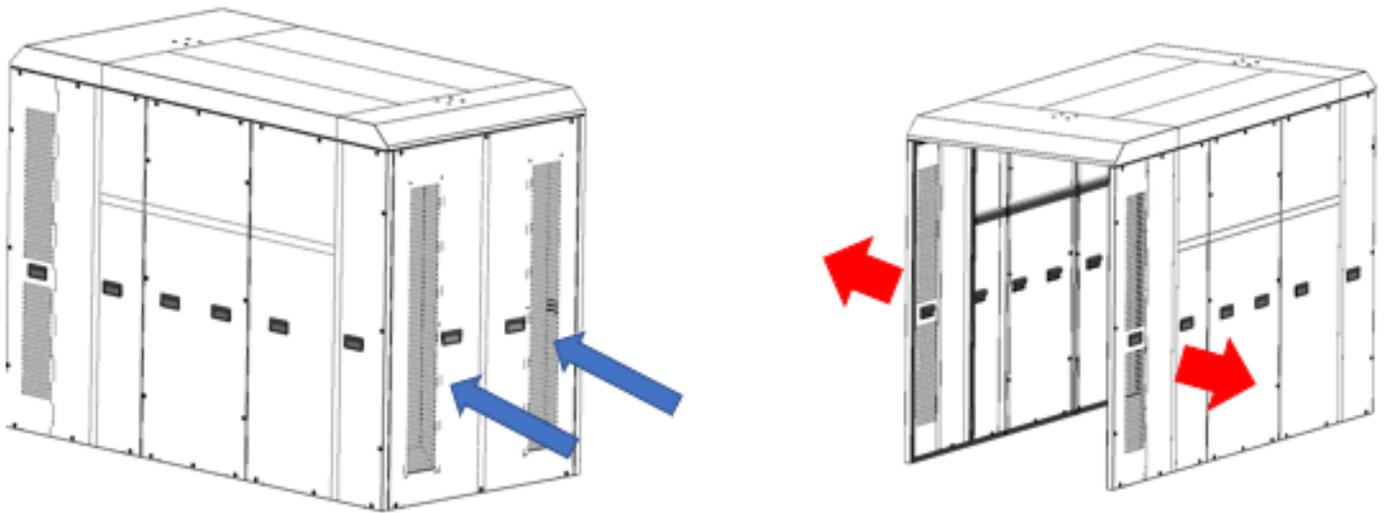


Figura 30 - schema nuova cofanatura LX

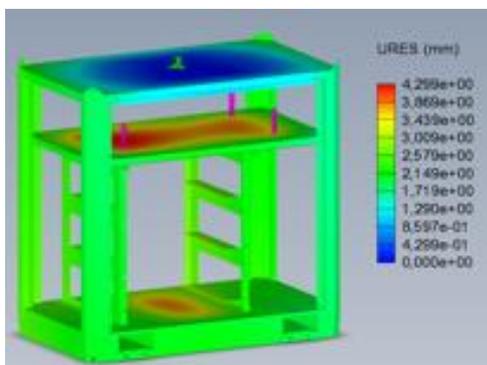


Figura 32 - schema resistenza a compressione nuova SX

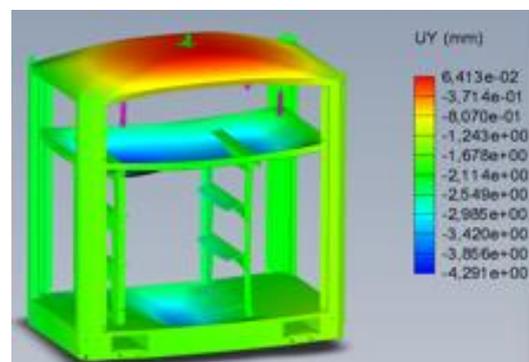
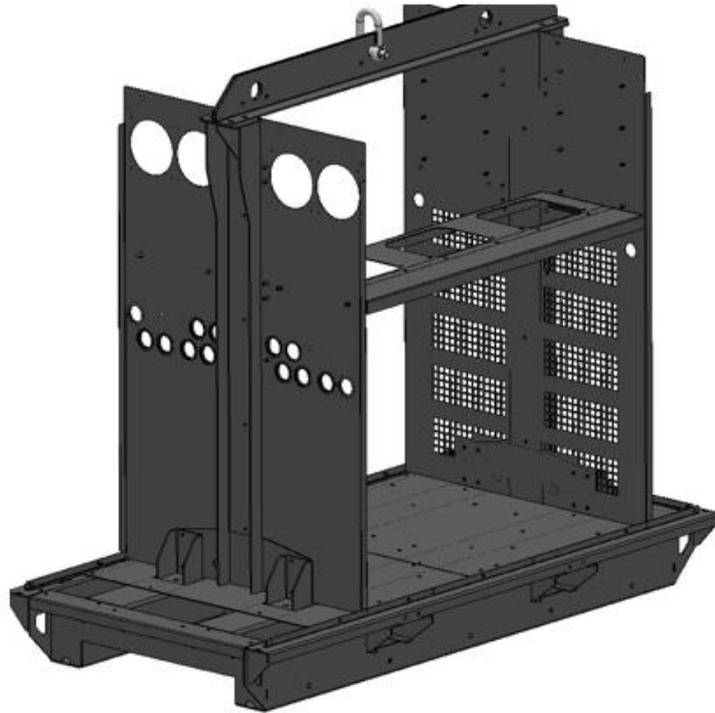


Figura 31 - schema resistenza a trazione nuova unità SX

La struttura portante, composta da due montanti verticali ed una traversa, è stata ancorata più saldamente al basamento e assicura una solidità maggiore. La traversa superiore di collegamento fra i montanti esce dalla cofanatura ed agisce direttamente da gancio di sollevamento per tutta la struttura, facilitandone il montaggio in fase di produzione. Sono state inserite due mensole che dividono la parte di alloggiamento delle celle batteria dallo scomparto per i convertitori di corrente, per offrire più stabilità in sede di montaggio di questi ultimi. Queste mensole hanno anche una

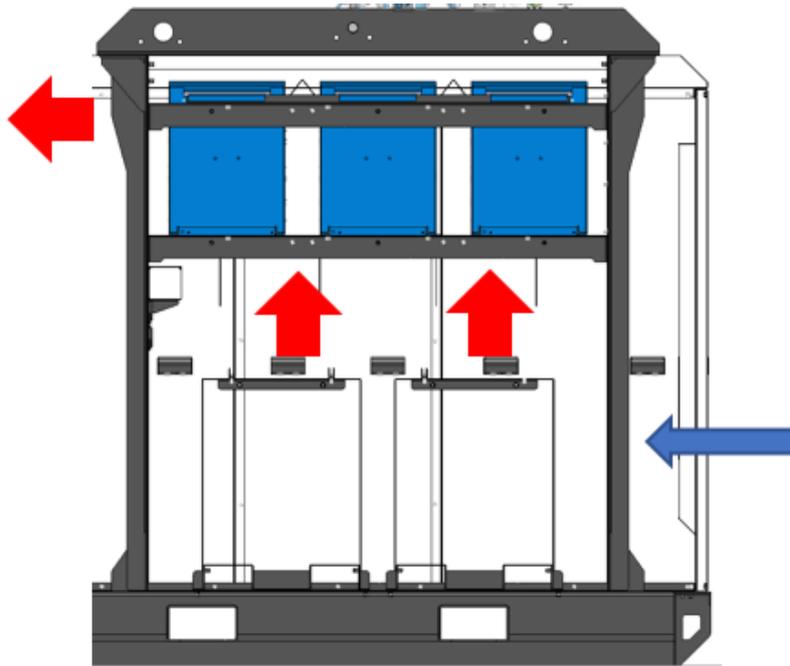
funzione di separazione, isolando termicamente i due compartimenti ed indirizzando i flussi d'aria che contribuiscono al raffreddamento della macchina. Per migliorare le prestazioni della macchina sono state aggiunte delle ulteriori ventole di raffreddamento all'interno della struttura ed esternamente sono state create molteplici aperture per la dissipazione del calore, sia sui lati che sulla parte posteriore.



*Figura 33 - esempio nuova scocca interna nuova serie LX*



*Figura 34- struttura interna linea BESS attuale*



*Figura 35 - Schema flussi aria nuova serie LX*



*Figura 36 - immagine prototipo BESS LX*

Il pannello di controllo è stato modificato e ricollocato nella parte frontale della macchina, disegnato appositamente per ospitare tutti i componenti elettronici in un'unica cabina. Questa modifica permette di rendere l'utilizzo della macchina molto più intuitivo avendo ogni elemento ben visibile da un singolo lato dell'unità. La sezione superiore è stata utilizzata per contenere tutti i componenti del pannello di controllo, compresi i nuovi schermi LCD per il monitoraggio dell'unità, mentre quella inferiore ospita il quadro di potenza e le prese industriali.



Figura 38 - pannello di controllo nuova serie LX



Figura 37 - schema quadri potenza e controllo nuova serie LX



Figura 40- particolare del quadro di potenza prototipo BESS LX

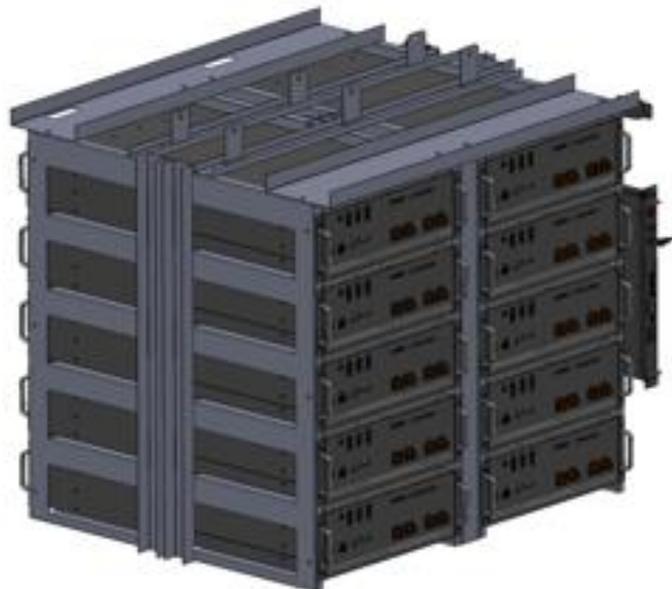


Figura 39- schermo LCD di controllo



Figura 41 - vista laterale quadri nuova linea LX

La griglia di contenimento delle celle energetiche è completamente nuova, ridisegnata su misura per il nuovo tipo di batterie utilizzate. Le nuove batterie utilizzano infatti una chimica LFP agli ioni di litio, e assicurano una densità energetica più bassa delle precedenti, ma la struttura esterna della cella batteria è stata alleggerita in maniera sostanziale, arrivando ad avere più batterie installate sulla macchina ma con un peso minore complessivo. Questo ha permesso di ridisegnare la griglia per le batterie ed aumentare la mole d'aria che passa internamente alla macchina, per abbassarne la temperatura durante l'utilizzo. Questa presenza di ulteriore spazio all'interno della macchina, unito all'alleggerimento del rivestimento esterno delle celle, permette in sede di montaggio di assicurare agli operatori uno spazio di lavoro più ampio e comodo, senza dover tenere posture non ergonomiche per un tempo prolungato.



*Figura 42 - schema nuovo pacco batterie per LX*



*Figura 43 - Attuale griglia batterie BESS LX*



Figura 44- Particolare nuovo pacco batterie

La struttura dell'unità è stata alzata di qualche centimetro per permettere agli operatori di montare agilmente i convertitori in maniera frontale, senza per forza dover togliere il tetto della macchina. I nuovi convertitori di corrente utilizzano la stessa tecnologia per convertire elettronicamente la corrente da continua ad alternata, ma presentano una nuova struttura più leggera e maneggevole di quelli precedentemente utilizzati. I nuovi alloggiamenti per i convertitori sono stati disegnati per permettere a questi ultimi di essere inseriti all'interno dell'unità tramite due piccoli binari su cui essi possono scorrere, risultando più semplici da posizionare e comodi al montaggio. Lo stesso identico sistema è stato utilizzato anche nella griglia di contenimento delle batterie, dove ogni singola cella può essere inserita ed estratta molto comodamente usando i binari di inserimento. Per questo motivo le batterie sono state dotate di maniglie ergonomiche su entrambi i lati, migliorando molto la maneggevolezza di quest'ultime in fase di montaggio.



Figura 46- Nuovo convertitore di corrente



Figura 45 - nuove batterie a chimica LFP

## 2.4 – Previsioni di miglioramento con i nuovi modelli

La nuova gamma è stata ideata sia per andare incontro alle richieste del mercato che per soddisfare le richieste della produzione. Data la sempre maggiore attrattività del settore, molti nuovi competitor stanno sbarcando sul mercato con il loro modello di Battery energy storage system, aumentando la proposta di unità sul mercato. La nuova gamma Pramac Off-greed permette di soddisfare le richieste inerenti macchine più leggere e resistenti, affidabili nel tempo e con una manutenzione ed un monitoraggio più semplice. Tutte queste caratteristiche sono abbinate ad una modellazione ad hoc dell'unità, mirata a snellire i processi produttivi, accorciare il tack time della produzione e sfruttare nuove componentistiche per abbassarne il costo.

Le richieste di miglioramento con i nuovi modelli sono divisibili in due macrocategorie specifiche, una riguardante la richiesta di mercato ed una riguardante le richieste di produzione. Più precisamente si dividono come segue,

Richieste del mercato:

- Miglioramento della resistenza della struttura
- Diminuzione del peso
- Miglioramenti nel sistema di sollevamento e trasporto
- Minor necessità di effettuare manutenzioni
- Possibilità di controllo e diagnostica remoti dell'unità
- Maggiore sicurezza in caso di danni al pacco batteria
- Costi più contenuti
- Miglior efficienza energetica e maggior riduzione delle emissioni inquinanti per i generatori accoppiati all'unità

Le richieste della produzione:

- Snellimento nel sistema di montaggio della pannellatura esterna
- Snellimento nelle operazioni di montaggio del pacco batterie
- Riduzione del tempo necessario al montaggio dei convertitori di corrente
- Maggiore ergonomia nelle procedure di montaggio
- Maggior facilità negli spostamenti dell'unità all'interno stabilimento
- Snellimento nelle procedure inerenti test di carica e scarica delle batterie
- Maggiore modularità dei pannelli di controllo e potenza per un montaggio più rapido

- Maggiore velocità nel controllo dei cavi

Cercando di trovare dei punti di incontro comuni a queste richieste, il nuovo prodotto è stato sviluppato con nuovi crismi ed è riuscito a soddisfare molti degli obiettivi fissati in sede di progettazione. Le migliorie sono state divise in tre categorie, raggruppando tutte le diverse richieste di modifica dell'unità in base a quale aspetto andassero più ad intaccare: il costo, il processo o il miglioramento degli indici ambientali.

### **2.4.1 – Miglioramento costi**

La prima categoria di miglioramenti analizzata è quella relativa ai costi delle materie prime della macchina, dei costi di produzione e del conseguente prezzo di mercato a cui essa verrà venduta. Cercando di mantenere il margine operativo allo stesso valore percentuale della vecchia linea, si è optato per ricercare fornitori che riuscissero ad assicurare un prezzo più basso ed una qualità simile a quella dei modelli precedenti.

Partendo dalla cofanatura, è stata ricercata una nuova fornitura di pannellature, meno dispendiosa a livello economico. La qualità costruttiva è rimasta invariata, ma il modo in cui le pannellature vengono spedite permette di riempire un rimorchio da autoarticolato con molti più pezzi. Per la vecchia linea le cofanature arrivavano completamente montate per facilitare il lavoro di riconoscimento dei vari pannelli appartenenti ad una struttura portante. Questo non permetteva di sfruttare la totalità del volume del rimorchio, in quanto rimanevano molti spazi vuoti ed inutilizzati. La nuova fornitura viene spedita nella forma del cosiddetto "Flat pack". Questo termine viene utilizzato per descrivere l'insieme di pannelli che andranno a comporre sia la struttura interna che quella esterna della macchina, riposti uno sopra l'altro in una moltitudine di strati. Questo metodo di spedizione permette di trasportare notevolmente più pezzi, saturare il volume del rimorchio e spendere molto meno.

Il pacco batteria è stato completamente cambiato. Ogni singola cella ha un costo notevolmente inferiore grazie alla nuova chimica utilizzata. Le batterie LFP, infatti, non contengono metalli preziosi ed offrono prestazioni molto simili alle batterie NMC, ad un costo minore. La densità energetica più bassa delle batterie necessita di montare più batterie in un volume molto simile a quello della vecchia unità, ma grazie ad una notevole diminuzione del peso di ogni pacco batteria è stato possibile aumentare la capacità di immagazzinamento dell'energia a parità di ingombro. Le nuove batterie vengono fornite con i due cavi (positivo e negativo) per il collegamento in parallelo fra celle compresi nel prezzo. Questo permette di creare meno cavi nell'area dedicata e risparmiare

sul costo della macchina finita. In aggiunta, le batterie utilizzate precedentemente richiedevano una manutenzione ed un costo di stoccaggio più dispendiosi, mentre le nuove celle LFP sono più economiche in entrambi gli ambiti.

I convertitori di corrente sono stati sostituiti con un modello più recente e performante. Grazie ad una collaborazione già in essere fra i fornitori delle batterie e dei convertitori, è stato possibile comprare un sistema integrato di controllo dell'unità, che riesce ad interfacciarsi direttamente con la centralina principale. Il pacco batteria ed i convertitori hanno un sistema di regolazione automatico interno dei singoli componenti, che riesce a comunicare in tempo reale con il "cervello centrale" della macchina. Questo componente è prodotto dalla stessa azienda che fornisce i convertitori, comprare il pacchetto completo risulta quindi più conveniente che comprare i componenti singolarmente. Questo risparmio deriva sia dal minor prezzo di acquisto per le economie di scala, sia dal minor costo di trasporto relativo alle spedizioni da un solo fornitore invece che da diversi fornitori in diverse parti del mondo.



Figura 47- visione laterale prototipo BESS LX

## 2.4.2 – Miglioramento Processi

I miglioramenti atti a snellire il processo produttivo ricadono nella seconda categoria osservata. Studiando quali parti del prodotto impattassero maggiormente sui tempi di montaggio è stato possibile agire in maniera mirata sulle attività con il rapporto fra tempo impiegato ed aumento di valore del prodotto più basso. Una volta identificate si è cercato di capire se modificando delle parti del prodotto potesse essere possibile migliorare le singole lavorazioni e snellire l'intera produzione. Sono state rivisitate anche le fasi del processo che avevano gli indici ergonomici OCRA più elevati.

La pannellatura adesso arriva direttamente smontata nel “flat pack” e non più completamente assemblata. Questo permette di risparmiare il tempo di smontaggio che si aveva nella postazione iniziale. Viene quindi assemblata solo la parte interna della macchina, lasciando le pannellature esterne dentro l'apposito contenitore. Così facendo si esegue una lavorazione in meno, limitandosi a montare la cofanatura solo alla fine del processo, nell'area PDI.

La griglia che ospita il pacco batterie è stata ideata cercando di renderla semplice nel montaggio e resistente. L'uso delle nuove batterie permette di utilizzare pannelli metallici con uno spessore minore, migliorandone la maneggevolezza in fase di montaggio. Le nuove batterie sono meno pesanti, più resistenti agli urti e dotate di un sistema di inserimento a binari. Queste caratteristiche permettono un montaggio più rapido e sicuro del pacco batterie, con la possibilità di estrarre facilmente e senza sforzo una cella alla volta per i controlli interni del cablaggio. Quest'ultima procedura risultava molto scomoda per il lavoratore poiché doveva mantenere una posizione non ergonomica per un tempo prolungato.

Anche le griglie dove vengono fissati i convertitori di corrente sono state alleggerite, potendo contare sulla tenuta strutturale della nuova mensola per reggerne il peso. I convertitori sono stati alleggeriti e dotati dello stesso sistema a binario delle batterie, facilitandone il montaggio ed il trasporto.

La diminuzione di peso di molti componenti interni all'unità ha permesso di facilitare gli spostamenti delle macchine verso il magazzino del prodotto finito, oltre che migliorare il tempo di montaggio complessivo della macchina. I pannelli di potenza e controllo sono stati dimensionati per rendere il montaggio più comodo, creando intercapedini dove poter avvitare agevolmente le viti di fissaggio. La nuova unità monta (come citato nel paragrafo 2.3) una cabina singola che racchiude

entrambi i quadri elettrici (potenza e controllo) e permette di diminuire i tempi per il cablaggio fra pannelli e con il resto dei componenti.



Figura 48 - schema interno nuova serie LX

Le nuove batterie sono dotate inoltre di un tempo necessario al ciclo completo di carica e scarica molto minore rispetto a quello necessario per la vecchia chimica delle celle energetiche. Il cablaggio è meno ingombrante grazie a cavi con diametro più contenuto, ed il cable management interno all'unità risulta molto più organizzato grazie a canaline passacavi più spaziose e ben distribuite.

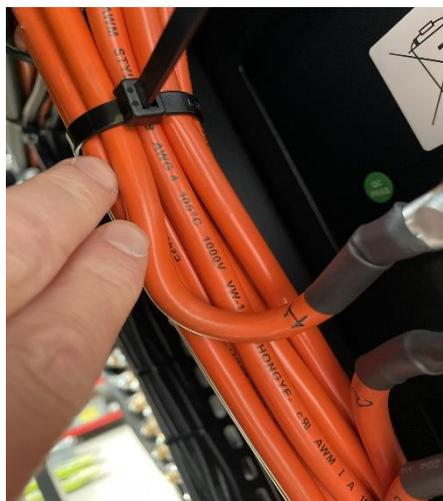


Figura 49 - particolare nuovi cavi di collegamento

### **2.4.3 – Miglioramento indici inquinamento ambientale**

L'utilizzo di nuove batterie ha permesso alla compagnia di diminuire l'impatto ambientale della produzione delle unità BESS grazie al loro più lungo ciclo di vita. Le celle NMC hanno infatti una vita caratteristica pari a 2500 cicli circa, mentre la chimica LFP assicura più di 5000 cicli di ricarica. Questa grande differenza in termini di longevità delle batterie permette di utilizzare la metà delle celle per conservare ed erogare la stessa quantità di energia nello stesso arco temporale. L'impatto ambientale delle batterie esauste è uno dei maggiori problemi relativi all'utilizzo dell'energia elettrica su veicoli, elettrodomestici ed apparecchiature industriali. Questa modifica nella serie BESS permette di far durare le macchine il doppio dei cicli di ricarica, diminuendo la quantità di celle da smaltire nel tempo. Gli elementi dentro queste batterie risultano anche meno volatili in caso di danni alle celle di contenimento, diminuendo la possibilità di inquinamento dell'aria circostante l'unità in caso di urti o guasti.

Le nuove componenti utilizzate hanno permesso, come descritto precedentemente, di diminuire la quantità di trasporti necessari all'approvvigionamento di materiali. Questo cambiamento influisce in maniera importante alla riduzione della "carbon footprint" della supply chain dello stabilimento, eliminando le emissioni inquinanti derivate dai trasporti via gomma e via mare che vengono evitati.

Infine, la fabbrica è stata dotata in occasione del lancio della nuova linea di un sistema fotovoltaico che permette l'autosostentamento elettrico della struttura, diminuendo il suo impatto ambientale.

## **2.5 – Analisi del processo di produzione ad alto livello**

Il processo produttivo delle macchine BESS segue le stesse sequenze di lavorazione per tutte le unità della gamma. La differenza fra un modello e l'altro è data dalla scocca interna ed esterna della macchina (con misure crescenti salendo di taglia) e dalla quantità di batterie, convertitori di corrente e quantità di prese nel pannello di input/output.

I componenti fondamentali del BESS sono:

- pacco batterie
- convertitori di corrente
- struttura portante interna

L'unione di questi tre elementi crea il blocco fondamentale che permette al BESS di immagazzinare energia, convertire ed erogare l'energia da continua ad alternata (e viceversa) e contenere tutti i componenti all'interno di uno spazio ridotto e in maniera sicura, isolandoli dall'esterno.

A questi, vengono aggiunti tutti gli altri componenti, necessari a far interfacciare la macchina con l'utente, con gli altri dispositivi elettronici ed unite tutti i componenti interni, quali:

- cavi di collegamento interni
- sistemi di controllo e sicurezza
- pannelli di connessione *input* e *output*
- barre di potenza
- cofanatura esterna

Il processo di produzione completo è diviso in sette sub-processi, ognuno dei quali si occupa di creare o assemblare fra loro uno o più componenti citati precedentemente. Questi sono suddivisi in base al tipo di lavorazione necessaria ed al tempo che viene impiegato per terminare ogni singola lavorazione, dando priorità ai processi più lunghi. I singoli sub processi vengono svolti in aree dedicate all'interno dello stabilimento in quanto ogni diversa lavorazione necessita di macchinari, utensili e competenze differenti. I sub-processi sono:

- Creazione dei cavi
- Creazione dei subassemblati (sistemi di controllo, sicurezza, *input* ed *output*)
- Assemblaggio meccanico
- Assemblaggio elettrico
- Assemblaggio batterie
- Test di sicurezza
- Pannellatura e pulizia

Ognuno di questi processi viene eseguito in maniera sequenziale (dal primo all'ultimo seguendo l'ordine dell'elenco). Verranno ora brevemente presentati i processi, spiegando brevemente in cosa consistono e che valore aggiungono alla macchina, oltre a specificare quali siano gli elementi di input e output di ogni singolo processo.

### 2.5.1 – Creazione cavi

Il processo di produzione parte dalla creazione dei cavi di collegamento, essendo la parte più dispendiosa in termini di tempo per la loro produzione. I cavi sono prodotti integralmente nello stabilimento, partendo dai cavi grezzi e seguendo i processi di dimensionamento ed applicazione dei capicorda. I cavi vengono prodotti per ogni utilizzo all'interno della macchina, dai cavi di collegamento all'interno di una singola morsettiera per un subassemblato, ai cavi di potenza che uniscono batterie e convertitori di corrente alla barra di potenza.

#### **Elementi di input:**

- cavi grezzi
- materie prime per i cavi elettrici (capicorda, pin di collegamento, guaina termorestringente)

#### **Elemento di output:**

- Cavi elettrici per il collegamento di tutti i componenti dell'unità BESS (da 1mm a 50mm)

### 2.5.2 – Creazione subassemblati

Con il termine “subassemblati” vengono descritti tutti i componenti che vengono creati per compiere uno specifico compito all'interno dell'unità BESS. Sono subassemblati, per esempio, i pannelli formati da varie morsettiere ed interruttori che fungono da sistemi di sicurezza, o le barre di potenza che servono a distribuire l'energia dalle batterie ai convertitori, tramite i cavi. Tutti i componenti che svolgono una funzione specifica vengono assemblati in un'area dedicata, sia meccanicamente che elettricamente, per poi essere montati sull'unità BESS in un secondo momento. Questi elementi sono comunemente formati da morsettiere, connettori, portafusibili, e relè collegati fra loro con i cavi elettrici creati precedentemente (paragrafo 2.5.1)

#### **Elementi di input:**

- cavi di collegamento
- materie prime (morsettiera, relè, portafusibili, interruttori, prese, spine, misuratori di tensione)

#### **Elementi di output:**

- Subassemblati (quadro di input, quadro di output, quadro di controllo, pannello di sicurezza)

### **2.5.3 – Assemblaggio meccanico**

La fase di assemblaggio meccanico è caratterizzata dal montaggio di tutte le parti meccaniche necessarie alla macchina per poter svolgere tutte le sue funzioni, fatta eccezione per le batterie che viene montato in un secondo momento per questioni di sicurezza. Viene montato lo scheletro interno e vengono posizionati su di esso i convertitori di corrente, tutti i subassemblati precedentemente montati (paragrafo 2.5.2) e le ventole di raffreddamento. Il risultato di questa procedura è l'unità assemblata nelle sue componenti meccaniche ma non ancora cablata e sprovvista di batterie.

#### **Elementi di input:**

- struttura portante interna
- convertitori di corrente
- ventole di raffreddamento
- subassemblati (quadro di input, quadro di output, quadro di controllo, pannello di sicurezza)

#### **Elemento di output:**

- Macchina completamente assemblata nella sua parte meccanica (no cablaggi e batterie)

### **2.5.4 – Assemblaggio elettrico**

L'assemblaggio elettrico consiste nel cablare tutte le componenti precedentemente montate solo in maniera meccanica (paragrafo 2.5.3) per poter connettere fra di loro le diverse funzioni dell'unità. Vengono utilizzati i cavi precedentemente creati nell'area apposita (paragrafo 2.5.1) per connettere i vari subassemblati fra di loro, ai convertitori di corrente ed alle barre di potenza. Vengono collegate le ventole e tutte le componenti presenti sull'unità, ad esclusione delle sole batterie che non sono ancora state montate. A seguito di questa lavorazione si ha la macchina completamente assemblata e cablata, con tutti gli elementi necessari al suo funzionamento montati, mancante solo delle batterie e del loro cablaggio.

#### **Elementi di input:**

- Cavi di collegamento

- Macchina completamente assemblata nella sua parte meccanica (no cablaggi e batterie)

**Elemento di output:**

- Macchina completamente assemblata nella sua parte meccanica ed elettrica (no batterie)

### **2.5.5 – Assemblaggio batterie**

A seguito dell'assemblaggio di tutte le parti necessarie al corretto funzionamento della macchina, viene montata la parte fondamentale, ovvero il pacco batterie. Questa operazione viene fatta in una postazione differente rispetto a tutti gli altri montaggi per via della sua natura più rischiosa. Vengono accoppiate e cablate fra di loro le celle batteria grazie ad un set di cavi creato precedentemente (paragrafo 2.5.1), formando il pacco batteria della macchina che può contare fino a 20 celle per una serie LX. Il pacco batterie viene quindi trasportato e montato dentro all'unità (paragrafo 2.5.4) e cablato alla barra di potenza, per poter essere accoppiato al resto della macchina. A questo punto l'unità è completamente montata e funzionante, mancante solo dei pannelli esterni di copertura.

**Elementi di input:**

- Macchina completamente assemblata nella sua parte meccanica ed elettrica (no batterie)
- Celle batteria
- Cavi di accoppiamento e connessione delle batterie

**Elemento di output:**

- Macchina completamente assemblata nella sua parte meccanica ed elettrica (senza pannellature esterne)

### **2.5.6 – Test di sicurezza**

A questo punto vengono condotti tutti i test di sicurezza necessari per dichiarare la macchina idonea alla vendita e correttamente funzionante. Viene eseguito un ciclo di carica e scarica parziale dell'unità e monitorate le temperature di picco dei cavi e delle singole celle batteria. Viene testato il sistema di controllo ed il funzionamento degli interruttori di sicurezza, oltre alla corretta erogazione

di potenza e tensione. In questo caso non vengono effettuate lavorazioni meccaniche o elettriche all'unità, soltanto test che non modificano la struttura dell'unità.

## 2.5.7 – Pannellatura e pulizia

Durante quest'ultima fase la macchina viene cofanata con le pannellature esterne del colore richiesto dal compratore. Successivamente, l'unità viene minuziosamente pulita sia internamente che esternamente, vengono applicati tutti gli adesivi del marchio Pramac ed eventuali richieste dei clienti. L'unità risulta quindi completata al termine di questa procedura, e deve solo essere imballata per procedere con la spedizione.

### Elementi di input:

- macchina completamente assemblata nella sua parte meccanica ed elettrica (senza pannellature esterne)
- cofanatura esterna del colore richiesto

### Elemento di output:

- Macchina completa, imballata e pronta alla spedizione

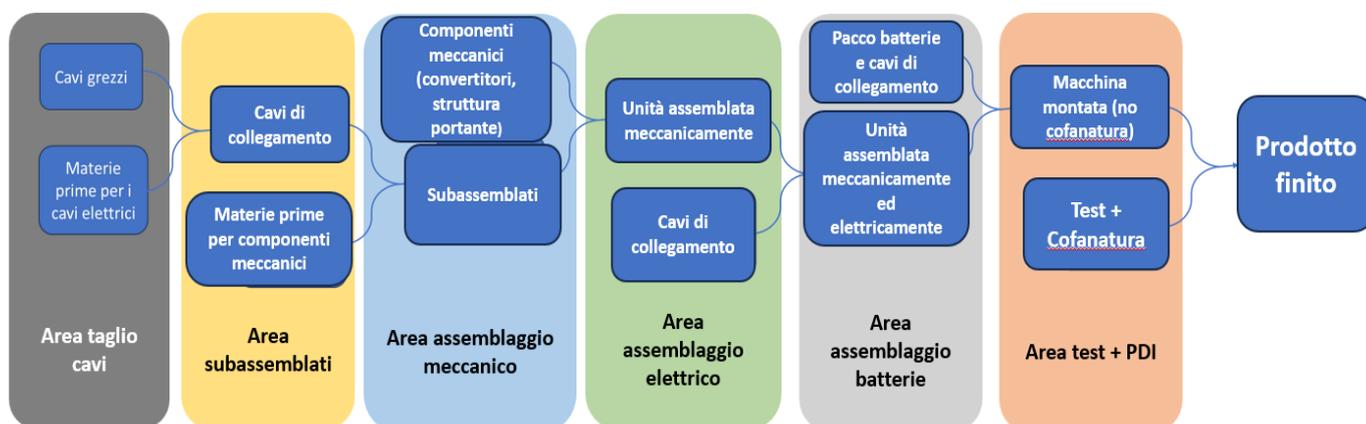


Figura 50 - Schema processo produttivo BESS

Dopo aver presentato il nuovo prodotto ed analizzato le caratteristiche salienti della sua nuova componentistica, oltre ad una presentazione generale del processo di produzione, verrà presentato lo stabilimento dove le unità BESS sono attualmente prodotte e come esso è stato modificato per la produzione della nuova gamma.

## Capitolo 3 – Lo stabilimento produttivo

### 3.1 – Presentazione stabilimento Rugby

Lo stabilimento produttivo Pramac Off-greed sorge nella zona di Stepnell park, un'area industriale nella cittadina di Rugby, nella regione del Warwickshire in Inghilterra. Situata nel paesaggio delle Midlands inglesi, questa località gode di una ottima posizione strategica in quanto a poco meno di 45 minuti da Birmingham e ad un'ora e mezza da Londra. Ben collegata alle altre città inglesi grazie alle due autostrade che la costeggiano e ad una ottima connessione all'infrastruttura ferroviaria nazionale, questa locazione risulta perfetta per i rifornimenti di materie prime e la consegna del prodotto finito in maniera veloce e capillare, anche grazie alla vicinanza dei molteplici aeroporti della zona.

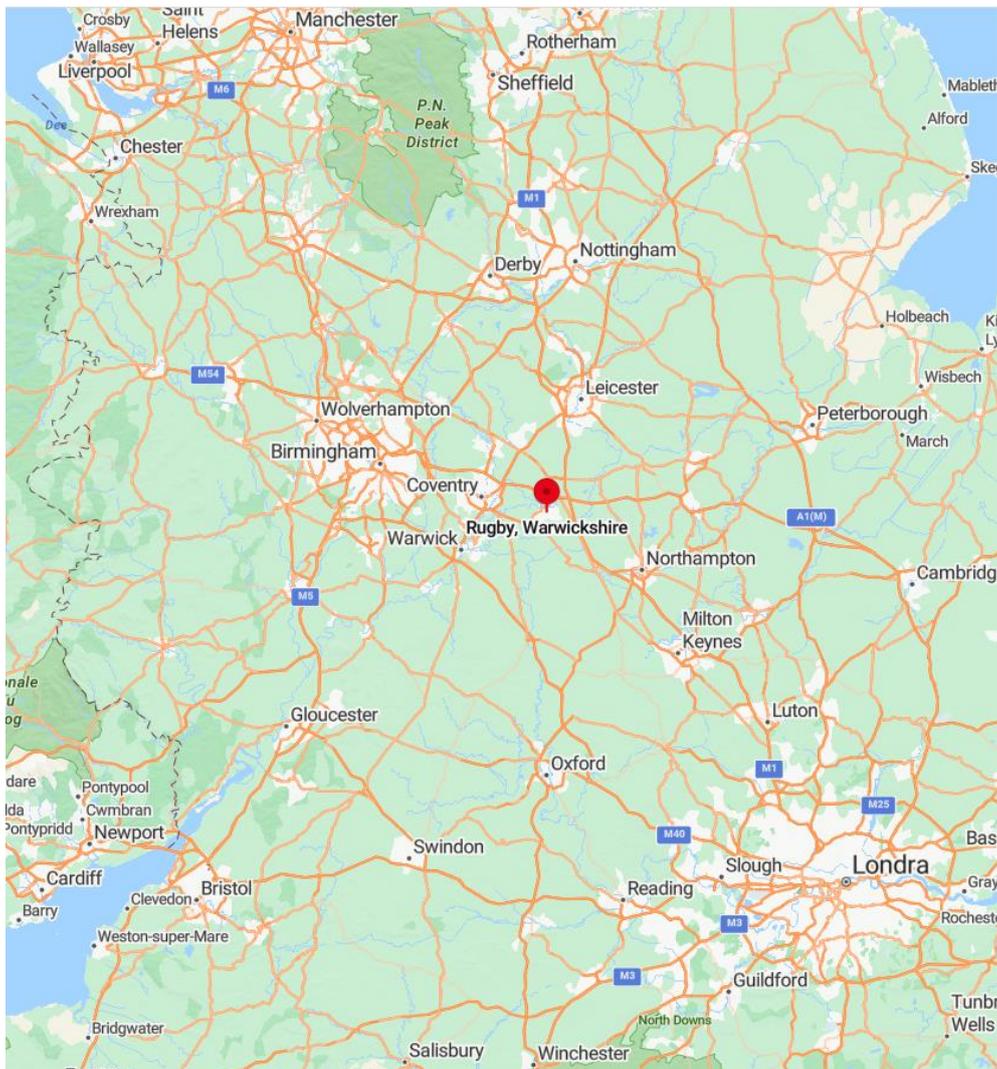


Figura 51 - mappa Midlands inglesi

Lo stabilimento è diviso in quattro unità principali:

- le unità 3 e 4, che compongono il blocco più grosso della fabbrica, ospitano la divisione di produzione e il settore ricerca e sviluppo, oltre che agli uffici tecnici ed amministrativi.
- le unità 5 e 6 fungono da magazzini rispettivamente per le materie prime e per il prodotto finito (chiamati 1G5 e 3F).

Lo stabilimento produttivo delle unità 3 e 4 è composto da 2400 metri quadrati divisi in 6 aree.

Seguendo il flusso di produzione troviamo le sezioni di:

- Stoccaggio cavi e componenti elettrici di piccole dimensioni (chiamato 1G5K);
- Taglio e preparazione cablaggi, denominata “Wires cutting area”;
- Lavorazione e montaggio sub-assemblati, chiamata “Subassembly area”;
- Assemblaggio meccanico del prodotto;
- Assemblaggio componenti elettrici;
- Inserimento e cablaggio batterie;
- Test e prove di sicurezza;
- Ispezione pre-spedizione.

Oltre a queste sezioni prettamente produttive, sono presenti gli uffici amministrativi (in un mezzanino sovrastante le aree dei sub-assemblati e della lavorazione cavi), l’area di ricerca e sviluppo, l’area per le macchine che richiedono lavorazioni speciali e la mensa.

L’unità 5 è un magazzino utilizzato per stoccare le materie prime di grandi dimensioni, come gli inverter, le batterie ed alcune parti della cofanatura esterna delle macchine. L’area del magazzino è di 1260 m<sup>2</sup>, ed al suo interno ospita anche il “servizio al consumatore” chiamato “Service and parts”. In questa area vengono stoccate le parti di ricambio per i commercializzati e tutto il necessario per effettuare riparazioni sui resi dei clienti.

L’unità 6 è un magazzino di stoccaggio del prodotto finito. Contiene tutti i BESS creati dallo stabilimento e in attesa di spedizione, oltre a tutti i prodotti finiti arrivati da altre filiali produttive (come transpallet, generatori portatili e torri faro) e commercializzate in Nord Europa e nel Regno unito.





# Magazzino materie prime 1G5

Figura 53 - Layout unità 5



Figura 54 - Layout unità 6

### 3.2 – Logica di produzione

La logica di produzione delle vecchie unità BESS prevede di utilizzare una linea produttiva che operi su quattro unità simultaneamente in ogni postazione di lavoro, ed esegua la stessa attività su ognuna di esse. Il flusso delle lavorazioni segue quindi una logica vicina a quella della lavorazione in linea, ma applicata a delle vere e proprie isole di lavoro. Risulta così definibile come una “linea di isole”, dove ogni isola corrisponde ad una specifica lavorazione effettuata sulle quattro unità presenti nell’area. Sono inoltre presenti due aree di lavoro separate dalla linea, che interessano le lavorazioni di montaggio dei sub assemblati e la preparazione di tutti i cavi necessari alla macchina. Questo tipo di logica produttiva era stata adottata perché le previsioni erano di vendere grossi volumi di macchine appartenenti a pochi modelli standard.

La nuova logica di produzione prevede di lavorare su sei unità in altrettante postazioni, e fare tutte le lavorazioni meccaniche, elettriche e di assemblaggio necessarie su una macchina in una singola cella di lavoro. Si viene a creare così non più una linea, ma una serie di celle di lavorazioni flessibili. Ogni baia di lavorazione segue uno schema “a punto fisso”, eseguendo tutte le lavorazioni sulla macchina senza mai doverla spostare dalla posizione iniziale. Si mantengono quindi attive le due aree predisposte per l’assemblaggio dei “sub-assembly” ed il taglio e dimensionamento dei cavi, che vengono solo rimodulate per migliorarne il flusso dei materiali. In questo modo le movimentazioni interne della macchina vengono ridotte al minimo indispensabile, ed è possibile organizzare un flusso dei materiali alla linea dimensionato per la singola unità in lavorazione in quel momento. Questo si è reso necessario per la crescente quantità di macchine personalizzate e la crescente richiesta di prodotti da paesi con normative elettriche differenti. Le unità create per il Regno Unito sono definite unità standard, e differiscono da quelle europee solo nel tipo di prese che montano nel quadro di potenza della macchina. Le unità destinate all’Australia hanno una diversa colorazione dei cavi legata alle regolamentazioni elettriche del paese. Tutte le unità destinate ad altri stati seguono le varie normative elettriche vigenti nel paese di acquisto.

### 3.3 – Layout stabilimento “As is”

Attualmente lo stabilimento si presenta diviso in tre aree di lavorazione, in base a quale parte del prodotto si va a lavorare nella specifica zona. La linea principale è chiamata “Line 01” e comprende tutte le postazioni di lavoro che operano sulla macchina. L’area di lavoro dei sub-assemblati è denominata “Line 02”, mentre l’area di taglio e preparazione cavi è la “Line 05”. Le linee 03 e 04

sono state eliminate perché risultavano ridondanti quando è stato implementato il sistema informatizzato aziendale Oracle, perciò non sono più presenti. La “Line 06” è dedicata alla zona delle macchine speciali, mentre la “Line 07” è quella relativa alla ricerca e sviluppo.

Seguendo la logica di produzione, per prima cosa vengono realizzati tutti i cavi necessari nella “Line 05”, vengono poi assemblati dei blocchi di componenti nella “Line 02” e messi a disposizione della linea principale (“Line 01”). In quest’ultima la macchina viene dapprima lavorata meccanicamente, poi vengono applicate le componenti elettriche ed infine inserite le batterie. Vengono eseguiti i test necessari e la lavorazione si conclude con l’uscita della macchina dall’area dello stabilimento. È inoltre presente un magazzino per la minuteria, chiamato 1G5K.

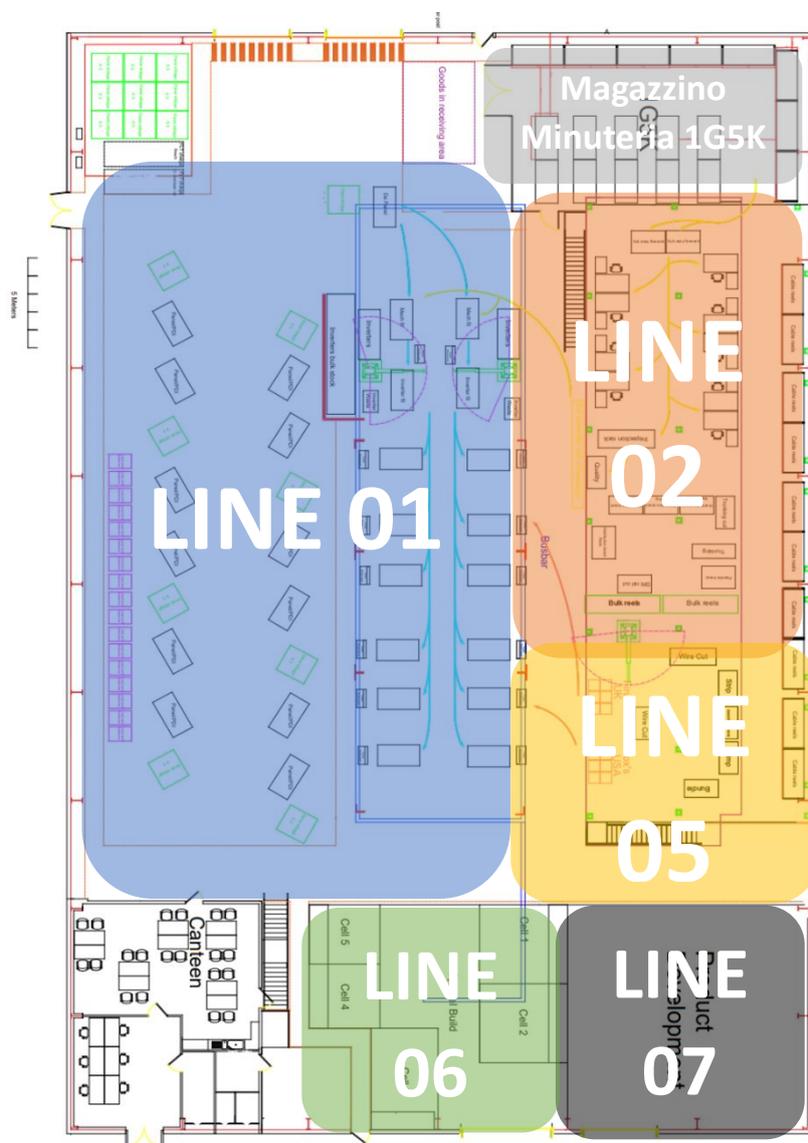


Figura 55 - layout stabilimento con linee denominate

Verranno ora analizzate più nel dettaglio le operazioni svolte in ogni specifica area.

### 3.3.1 – “Cut wiring” area

L’area di lavorazione dei cavi è suddivisa in sei postazioni di lavoro, un’area di stoccaggio dei cavi grezzi ed un’area di stoccaggio dei cavi pronti per il montaggio. Sono presenti crimpatrici pneumatiche e spellacavi elettriche, oltre ad una dotazione completa di utensili per ogni postazione. In questa area sono impiegati cinque operai a tempo pieno, che devono coprire il fabbisogno di tutta la produzione.

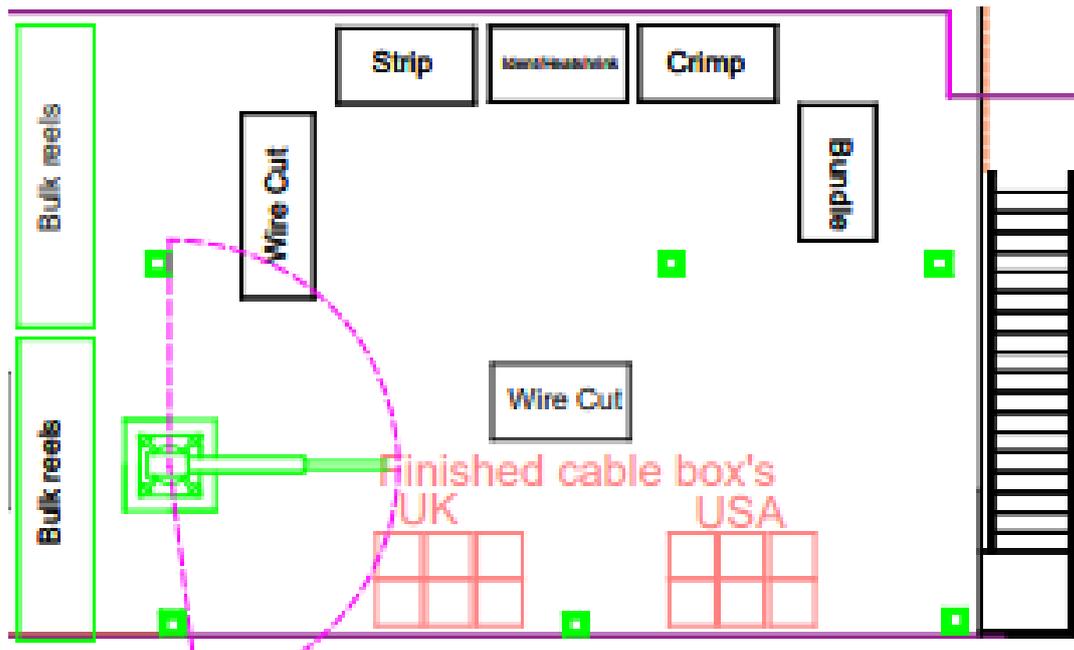


Figura 56 - layout "cut wiring" area

### 3.3.2 – “Subassembly” area

L’area di lavorazione dei subassemblati è composta da dieci banchi di lavoro equipaggiati con un corredo di utensili per il montaggio manuale di componenti elettrici e meccanici. I sub-assemblati sono un certo numero di parti elettroniche che insieme svolgono una funzione precisa all’interno della macchina, e possono essere montati in momenti differenti fra loro. Il montaggio dei subassemblati è composto da una parte meccanica, in cui solitamente si uniscono vari tipi di morsettiere, porta relè ed interruttori su delle barre omega, ed una parte elettrica dove ogni pezzo viene cablato e testato prima di essere reso disponibile alla Linea 01. L’operatore addetto al montaggio ha per ogni categoria di sub- assemblato un “campione” disponibile in un apposito scaffale. Il “sample” esplicativo è stato in precedenza realizzato nell’area di ricerca e sviluppo e

dato in uso alla produzione per replicarlo, in quanto non tutti i lavoratori sanno leggere gli schemi elettrici. Il campione viene prelevato dal lavoratore per il tempo a lui necessario per il completamento dell'operazione, e questo esclude la possibilità che due operatori che lavorano in due postazioni diverse possano montare lo stesso tipo di sub-assemblato simultaneamente. Una volta terminato un pezzo, questo viene depositato su una scaffalatura che agisce come supermarket di rifornimento per gli operatori della linea, seguendo una logica Kanban.

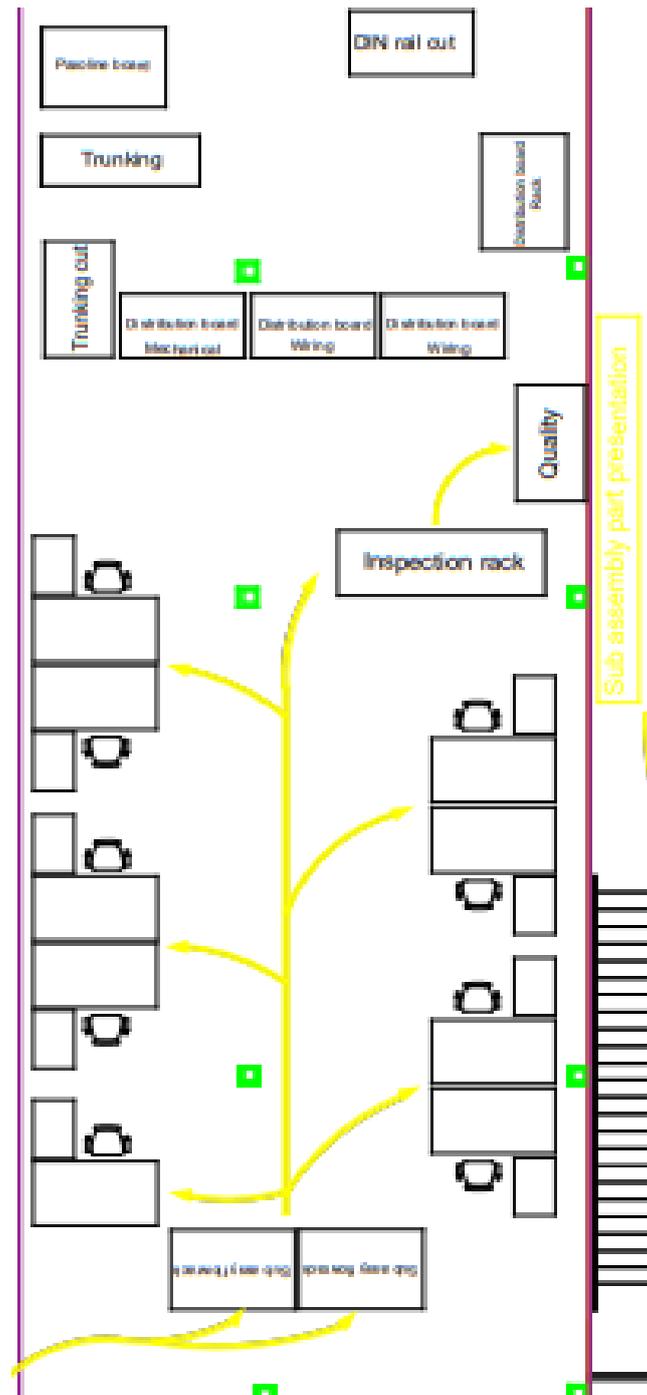


Figura 57 - layout "subassembly" area

### 3.3.3 – “Assembly semi-finished good” area

Il “Canopy”, o cofanatura, arriva completamente montato dal magazzino materie prime e deve essere spogliato delle sue paratie laterali e superiori. Si ottengono così il basamento e i pilastri portanti liberi per la successiva area del montaggio meccanico. Vengono montati sullo scheletro portante della macchina due cornici metalliche, frontalmente e posteriormente, che fungono da alloggiamento rispettivamente per il quadro di potenza ed il quadro di controllo della macchina. Alla struttura principale vengono quindi aggiunti gli alloggiamenti delle ventole di raffreddamento ed i ganci di attracco per il montaggio dei convertitori. Infine, viene creato il reticolo di contenimento del lotto di batterie ed il conseguente alloggiamento per il cablaggio di collegamento.

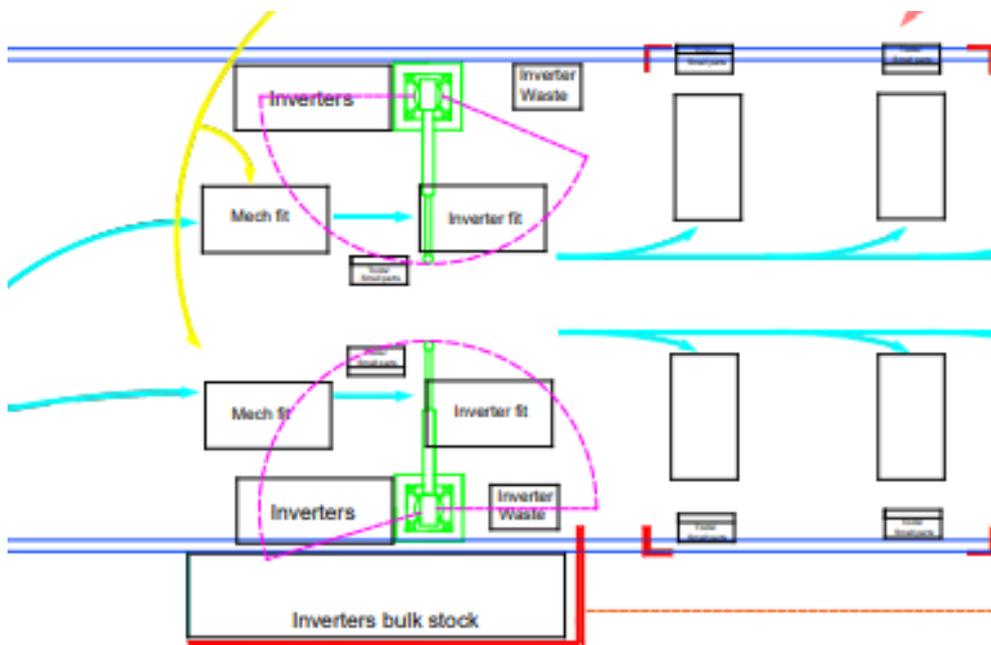


Figura 58 - layout "mechanical assembly area"

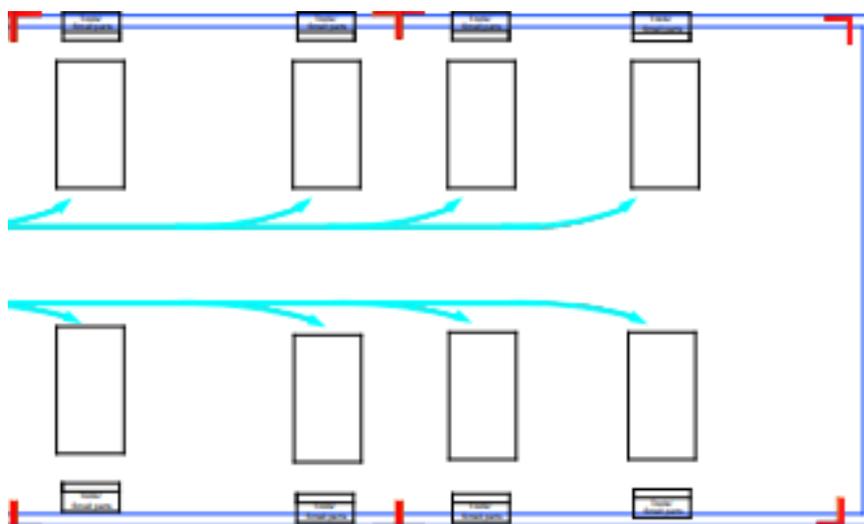


Figura 59 - layout "electrical assembly" area

### **3.3.4 – “Battery pack assembly” area**

In questa fase viene immesso nella macchina l'intero pacco batterie, costituito da diverse celle al piombo acido o al litio con chimica NMC (come spiegato nel capitolo 2) collegate in serie fra loro. Le batterie vengono infilate all'interno della struttura creata appositamente per contenerle, riducendo i rischi legate al possibile danneggiamento in caso di urti all'unità. Questa è la griglia di contenimento precedentemente montata nell'area di assemblaggio meccanico, dotata di appositi passacavi per favorire il cablaggio delle batterie fra loro e con i convertitori di corrente. L'area preposta a questo scopo è locata immediatamente prima di quella riservata ai test sulla macchina. Infatti, una volta caricata di tutte le batterie, il peso della macchina sarà molto importante e se ne vogliono limitare il più possibili gli spostamenti.

### **3.3.5 – “Testing” area**

Qui vengono condotti tutti i test che la macchina deve passare per poter essere certificata e quindi dichiarata sicura. La macchina ha quindi due fasi di testing. Quella in cui la macchina è detta “morta”, ovvero non è carica e quindi può essere toccata senza rischi e quella in cui invece è presente corrente, quando la macchina è detta “viva”. Partendo dalla fase senza corrente, nella macchina vengono controllati tutti i cavi e le morsettiere facendo attenzione che tutto sia collegato correttamente. Una volta data corrente alla macchina vengono testate tutte le “celle batteria” collegate in serie grazie ad un ciclo di scarica e ricarica veloce. Infine, viene eseguito un test sui convertitori di corrente e sulle interfacce di controllo presenti nell'apposito pannello. Se la macchina passa tutti i test viene dichiarata idonea e passa all'ultimo stadio di lavorazione, se invece vengono riscontrati problemi viene rimandata nell'area consona per risolvere la problematica riscontrata.

### **3.3.6 – “PDI area”**

Nell'ultima area presente nella LINEA 01, denominata “Pre-Dispatched Inspection”, viene appunto svolta l'ispezione finale prima di mandare la macchina alla banchina di carico per la spedizione. La macchina viene ri-cofanata con i pannelli smontati all'inizio del processo, pulita internamente ed esternamente e le vengono applicati gli adesivi del marchio e del modello, oltre che quelli di

sicurezza. Viene fatto un controllo sui seriali delle batterie e dei convertitori, redatti i documenti di garanzia e riconoscimento della macchina ed infine viene dato il via libera per muovere l'unità BESS completata direttamente sul trasporto per la consegna o nel magazzino del prodotto finito (Unità 6).

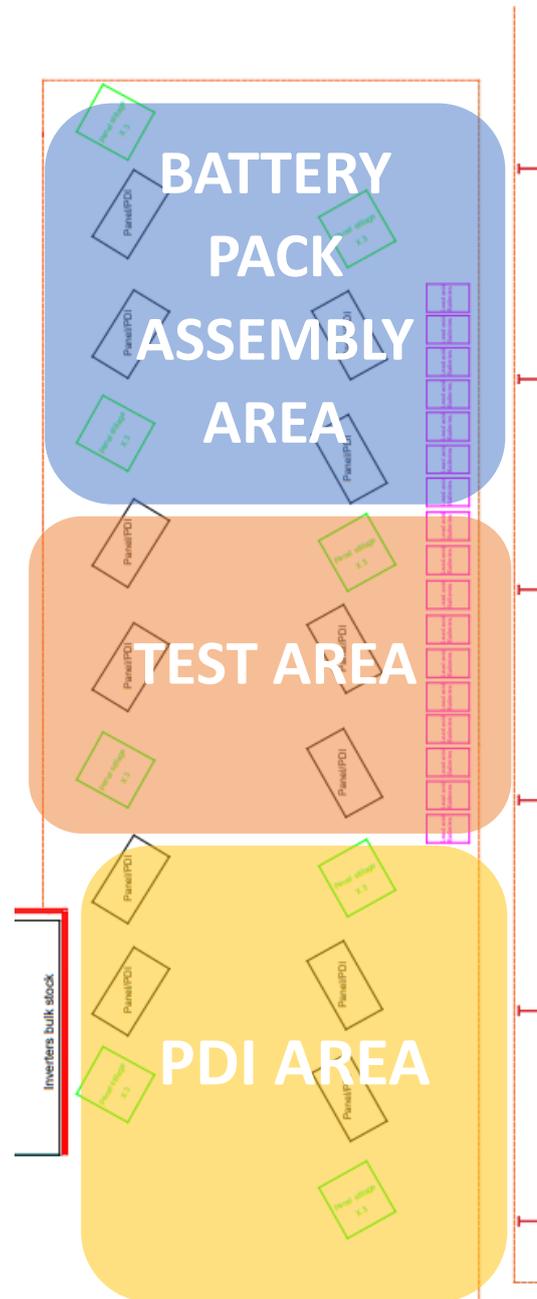


Figura 60- layout "testing" and "PDI" area

### 3.4 – Nuovi layout varie aree stabilimento

A seguito delle modifiche apportate all'unità per il lancio della nuova gamma, si è reso necessario modificare il layout dello stabilimento e rimodulare alcune delle attività in essere. Sono state

cambiate le posizioni dei macchinari e degli scaffali di stoccaggio nelle aree dedicate ai cavi ed ai sub-assemblati, è stata eliminata la “linea di isole di lavoro” che caratterizzava il layout del prodotto precedente ed è stata sostituita da molteplici celle di lavorazione flessibili. È stata creata per ogni cella un’area appositamente pensata per calibrare il pacco batterie al litio prima di inserirlo nella macchina, potendo così eseguire i test di carica e scarica veloce senza appesantirla. È stata creata, in concomitanza con la baia di carico delle macchine finite, un’area dedicata allo stoccaggio dei pannelli esterni della cofanatura dentro a strutture dedicate, per minimizzare la movimentazione di materiale nello stabilimento. Ogni cella di produzione è stata dotata di corredo completo di attrezzi per ogni tipo di lavorazione, una gru di sollevamento e tutti i collegamenti elettrici e pneumatici dall’alto tramite i “busbars” o blindosbarre.

Ora verrà presentato un approfondimento per ogni singola area prima citata.

### **3.4.1 – Nuova “Cut wiring” area**

L’area di taglio dei cavi è stata rimodulata per essere il più possibile conforme con la nuova logica di produzione, eliminando ogni movimentazione e immobilizzazione di materiale superflua. È stata aggiunta una macchina di taglio automatico dei cavi, mentre i macchinari già presenti sono stati spostati e messi in un ordine che segue il flusso delle operazioni da eseguire sui cavi.

La nuova disposizione dell’area prevede che per eseguire un kit di cavi l’operatore debba:

- prelevare il cavo grezzo dal magazzino situato a ridosso del muro laterale sinistro dello stabilimento
- trasportare la bobina di cavo per circa 160 cm e posizionarla nella macchina per il taglio del cavo
- inserire le specifiche di taglio all’interno della macchina dove i cavi vengono dimensionati automaticamente
- Raggruppare i cavi tagliati e si spostarsi alla macchina spellacavi
- Inserire ogni estremità del cavo all’interno della macchina che taglia automaticamente la guaina esterna della lunghezza desiderata
- Prelevare dallo scaffale apposito i terminali specifici per i cavi
- Spostarsi alla crimpatrice automatica e posizionare i cavi sul banco di lavoro
- Fissare i terminali alle estremità dei cavi e depositarli nei carrelli previsti, alla sua destra.

Questa sequenza è stata resa il più lineare e comoda possibile, posizionando i macchinari ad una distanza molto minore l'uno dall'altro, su dei banchi di lavoro che si trovano nei pressi delle postazioni di prelievo della materia prima utilizzata durante la lavorazione (come i cavi o i terminali). L'operatore deve così percorrere in media 10 metri in meno di spostamenti per ogni kit di cavi. Una volta finiti tutti i kit necessari per una macchina, questi non vengono più depositati come in precedenza all'interno di scatole divise per dimensioni e colorazione, bensì posizionate su carrelli specifici che verranno presentati ed approfonditi nel paragrafo 2 del capitolo 5.

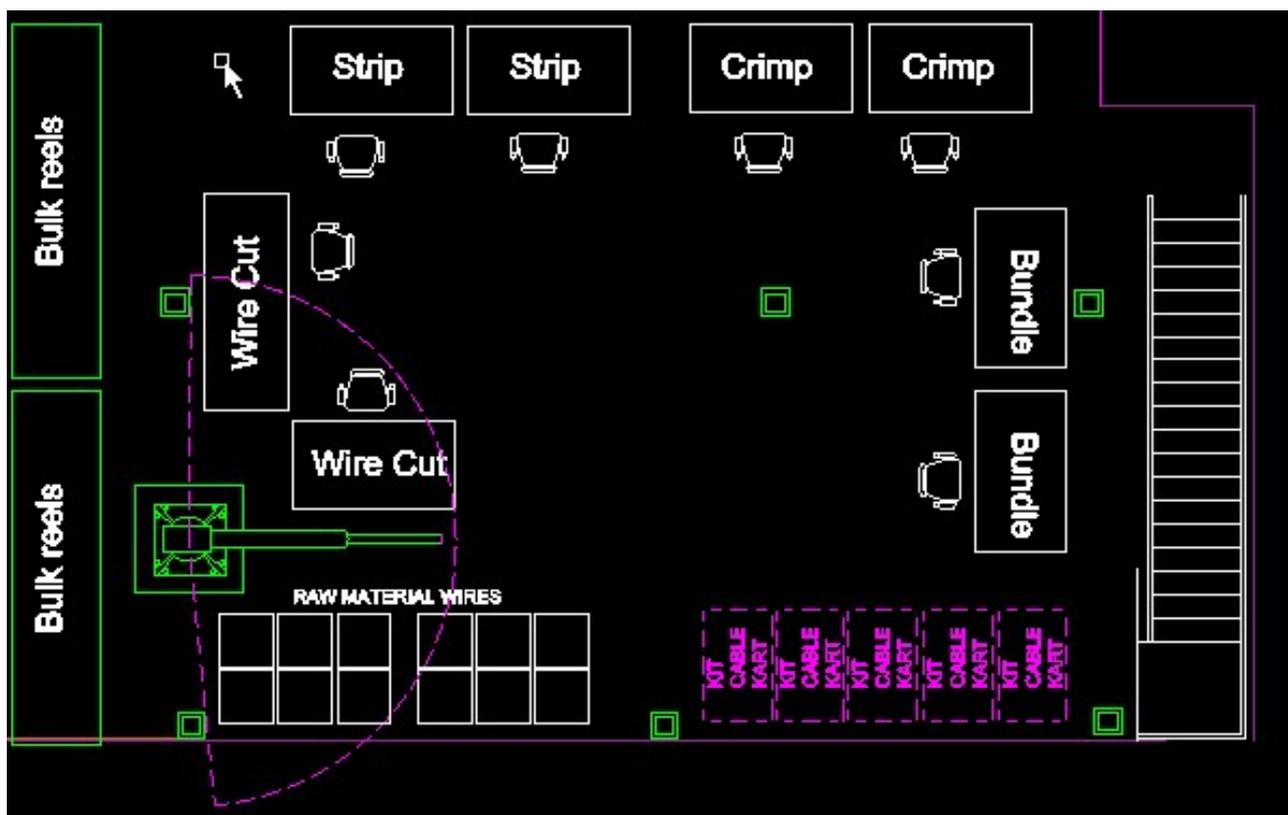


Figura 61 - Layout nuova "wire cutting" area

### 3.4.2 – Nuova “Subassembly” area

La zona disposta per il montaggio dei sub-assemblati è stata modificata più nella sua organizzazione che nella disposizione fisica dei suoi componenti. Sono stati sostituiti tutti i 10 vecchi banchi di lavoro con delle nuove soluzioni più spaziose ed ergonomiche, dotate di una “shadowboard” per i nuovi set di attrezzi messi in dotazione. Ogni banco di lavoro è stato dotato di uno schermo interattivo dove l'operatore può vedere i passaggi salienti del montaggio del pezzo che sta lavorando. Questo si è rivelato indispensabile poiché con le nuove unità la variabilità delle

modifiche possibili per ogni sub-assemblato è aumentata considerevolmente. Non potendo avere un campione esplicativo per ogni singolo sub-assemblato per dei limiti di spazio (ogni pezzo ha delle dimensioni notevoli, ed uno scaffale per contenerli tutti sarebbe risultato troppo ingombrante, finendo per saturare l'area), l'implementazione di questi schermi ha reso possibile lo snellimento delle operazioni di comprensione degli step relativi al montaggio e l'azzeramento dei tempi di prelievo e ricollocamento del campione esplicativo. Grazie a questa modifica gli operatori possono selezionare il pezzo da una libreria contenente tutte le riproduzioni 3D dei vari sub-assemblati, oltre che delle procedure standard di montaggio a cui attenersi per velocizzare il processo.

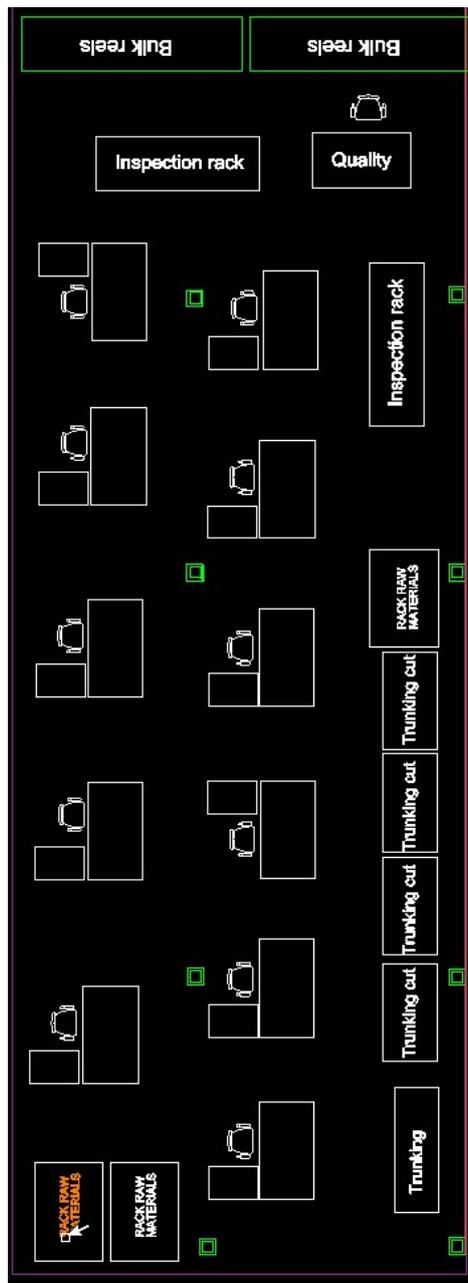


Figura 62 - Layout nuova "Subassembly" area

La nuova struttura dell'area sub-assemblati permette di finire un pezzo completo con la seguente sequenza di operazioni:

- Selezionare il pezzo desiderato sullo schermo interattivo
- Rifornirsi dei cavi tagliati in precedenza nell'area cavi e delle parti meccaniche utili per il pezzo in questione (Lista presente nella schermata del prelievo materiali specifici sullo schermo interattivo)
- Tagliare le *canaline passacavi* e le *barre omega* presso le macchine apposite al lato dei banchi di lavoro
- Assemblare il pezzo richiesto seguendo le istruzioni a schermo
- Depositare il pezzo completato sull'apposito scaffale per l'ispezione

Per alleggerire il lavoro di controllo dei cavi interni alla macchina nella LINEA 01, si è introdotto un banco di ispezione dei singoli sub-assemblati prima che questi vengano resi disponibili alla linea. Una volta che i pezzi hanno superato l'ispezione vengono portati direttamente all'unità nella linea principale, eliminando lo scaffale Kanban (presentato nel capitolo 4) che era presente in precedenza.

### **3.4.3 – Nuova “semi-finished good” area**

La nuova area principale di montaggio delle macchine finite ha cambiato completamente layout ed è diventata, come citato precedentemente, una zona divisa in nove celle di produzione versatili. Di fianco al portale di entrata allo stabilimento è stata realizzata un'area per riporre le cofanature da utilizzare sulle macchine in lavorazione, che conterrà gli speciali contenitori su misura chiamati “*Stillages*”. Proseguendo verso destra troviamo le celle disposte a rettangolo. Ogni zona è stata dotata di uno smorzatore di peso idraulico per permettere il sollevamento ed il montaggio delle parti più pesanti senza un affaticamento eccessivo del personale operativo, oltre a dei banchi di lavoro mobili completamente nuovi, dotati di ogni utensile necessario. Ogni cella ha due operatori che lavorano sulla macchina simultaneamente, ed eseguono tutte le sequenze di operazioni meccaniche, elettriche e di test di sicurezza. Essendo cambiata la chimica delle batterie utilizzate, il tempo dedicato ai test risulta molto più breve rispetto a prima, ed è quindi possibile non superare il takt time richiesto dalla pianificazione eseguendo più test. È stato quindi deciso di portare, tramite le blindosbarre, i cavi elettrici necessari ai test di carica e scarica rapida del pacco batteria al litio, anche se risultano molto pesanti da maneggiare. Nella cella di lavoro è ora presente un'area

apposita per l'alloggiamento del nuovo carrello cavi, contenente tutto il cablaggio necessario per montare la macchina, diviso per area di utilizzo. Per velocizzare il lavoro degli operatori nel controllare i collegamenti elettrici sono state infine fornite delle termocamere.

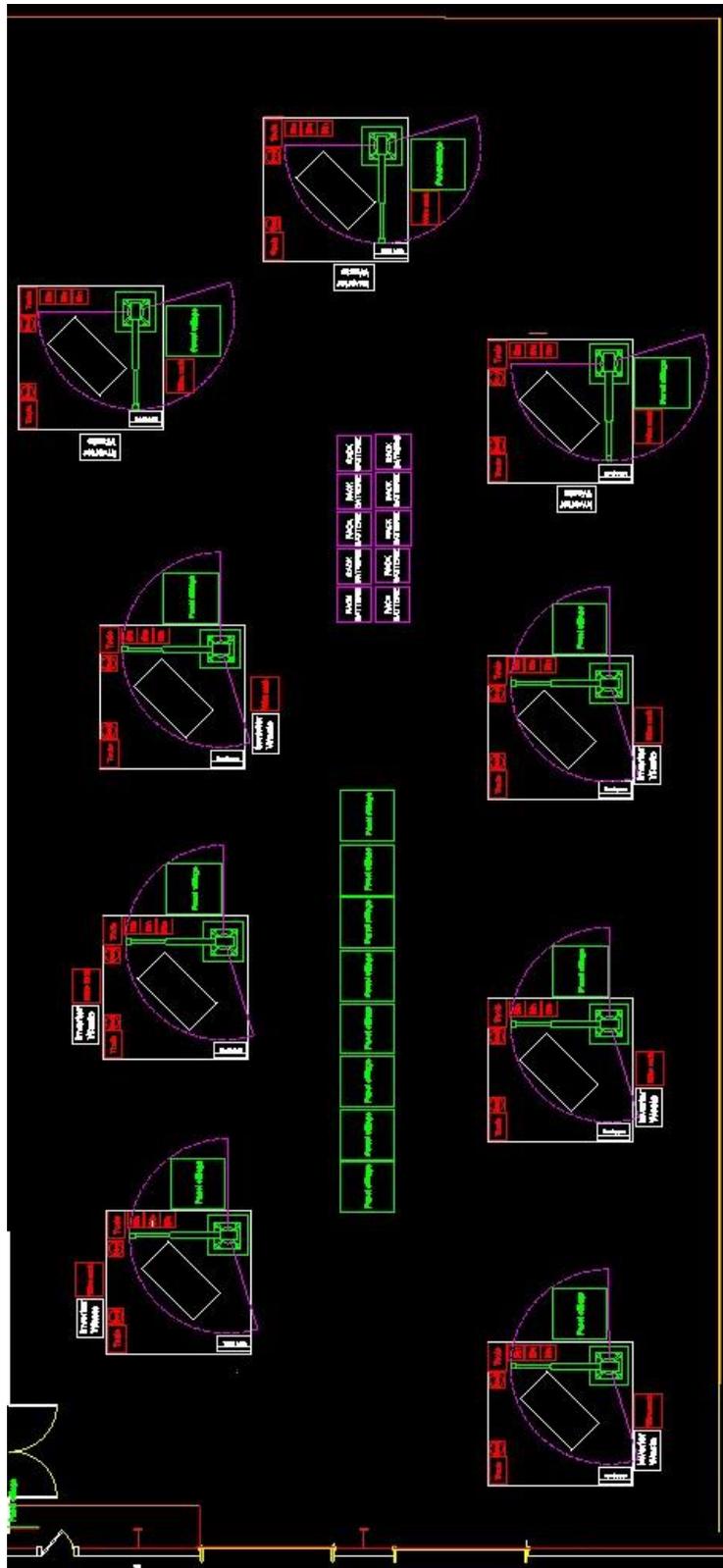


Figura 63 - Layout nuova "semi-finished good" area

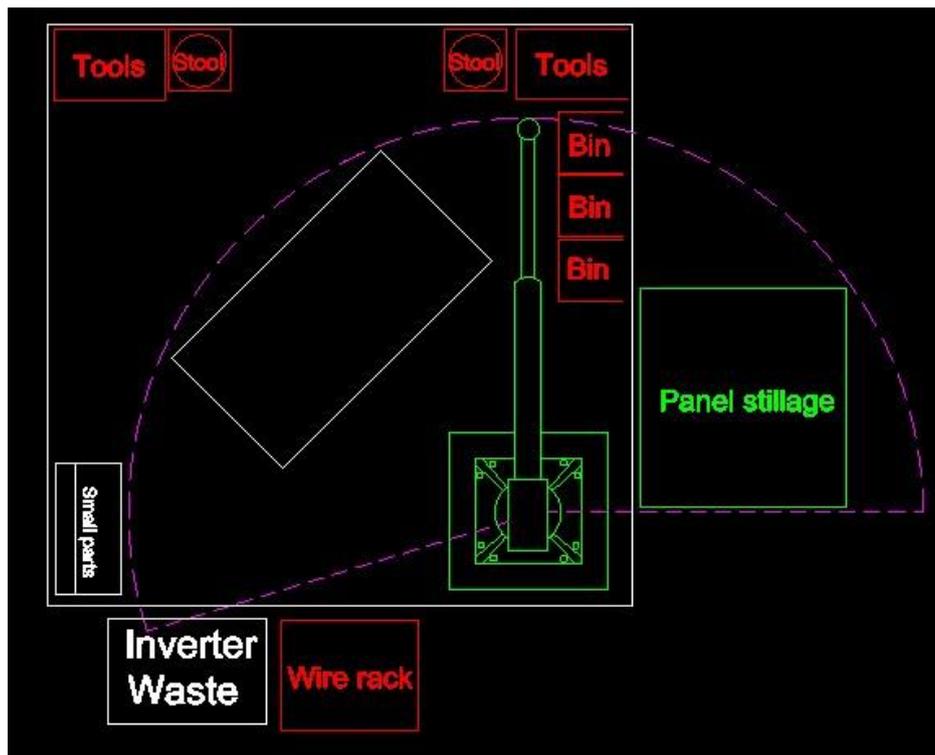


Figura 64 - Particolare layout cella di produzione flessibile

### 3.4.4 – Nuova “Battery pack” area

L’area adibita al montaggio delle batterie è stata sostituita da una nuova area dove le batterie vengono collegate in serie per formare il pacco batteria. Per dividerla dal resto dell’area adibita alle celle, è stata denominata “Line 06”. Le batterie vengono portate dal magazzino materie prime nell’unità 5 all’area in questione, e accoppiate fra loro per eseguire i controlli del seriale e la loro calibrazione. Sono state create delle griglie di contenimento identiche a quelle presenti dentro le macchine per permettere agli operatori di caricare le batterie all’interno di quest’ultime e poter calibrare il pacco batteria in maniera più ordinata e ben disposta. La comodità di questo metodo consiste nel poter calibrare le batterie prima di infilarle nella macchina, evitando di doverle poi estrarre in caso di problemi. Dopo aver effettuato la calibrazione ed aver identificato ogni batteria, queste vengono trasportate alla cella di lavoro corrispondente e montate. Montando le batterie con lo stesso schema precedentemente usato nel rack di calibrazione saranno anche già impostati i collegamenti in parallelo fra batterie, lasciando più tempo per cablare tutto al pannello di controllo, di potenza ed ai convertitori. Le griglie di calibrazione vengono spostate verso le celle tramite l’utilizzo di transpallet elettrici o muletti.

L'area dell'ispezione pre-consegna è rimasta invariata, ha solo giovato dell'utilizzo degli "Stillages" in quanto il tempo per rimontare la macchina con la cofanatura disposta in maniera ordinata sulla struttura risulta minore.

Questi miglioramenti apportati al layout sono frutto di un'analisi fatta al fine di diminuire gli sprechi di tempo, di spazio e di materiale che avvenivano nello stabilimento. Ricercare uno snellimento delle operazioni ed una ottimizzazione dei tempi è stato fondamentale per rendere possibile la diminuzione dei costi di produzione ed il conseguente aumento della competitività dell'azienda. Tutto questo è stato possibile seguendo la filosofia della Lean production ed utilizzando i principali strumenti usati da questa filosofia di lavoro.

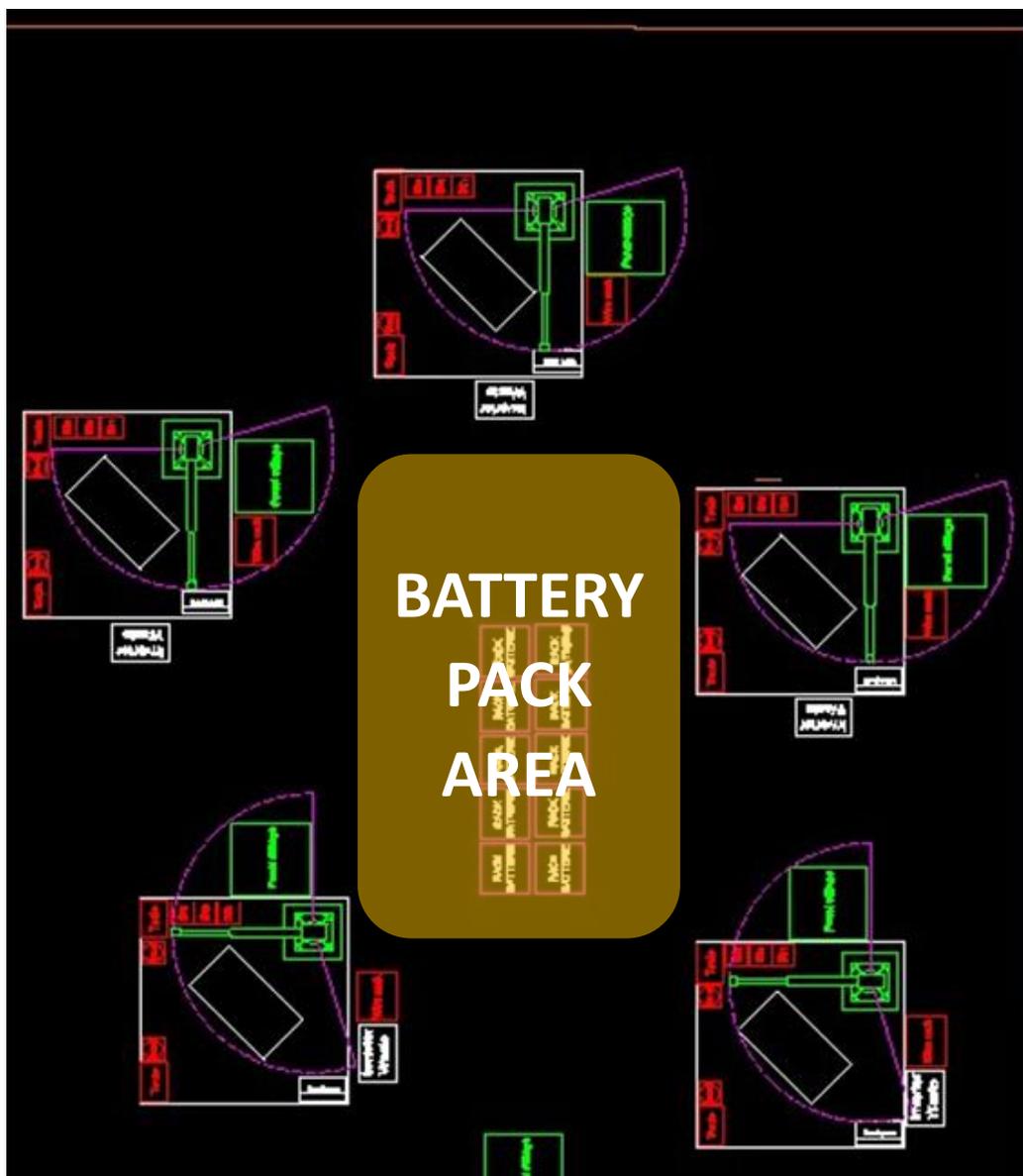


Figura 65 -schema posizionamento "battery pack" area

## Capitolo 4 - La Lean production

Il termine “produzione snella” è stato ideato nel 1992 dai ricercatori del MIT Womack e Jones, nel loro best-seller “La Macchina che ha cambiato il mondo”, in cui illustrano il sistema di produzione che ha permesso all’azienda giapponese Toyota di ottenere risultati nettamente superiori a tutti i concorrenti nel mondo.

Da allora migliaia di organizzazioni eccellenti hanno adottato il modello Lean, nell’industria come nei servizi, in quanto applicabile a tutti i processi operativi, quindi non solo strettamente produttivi, ma anche logistici, amministrativi, di progettazione e sviluppo prodotto.

Negli anni il modello della Lean production è stato affinato, assumendo anche altre denominazioni, quali Lean Organization, Lean Manufacturing, Lean Service, Lean Office, Lean Enterprise e Lean Thinking (pensiero snello), a indicarne la natura di “filosofia” industriale che ispira sostanzialmente tutti i metodi e le tecniche.

La produzione snella (Lean production) è un insieme di principi, metodi e tecniche per la gestione dei processi operativi, che mira ad aumentare il valore percepito dal cliente finale e a ridurre sistematicamente gli sprechi. Questo è possibile solo con il coinvolgimento di persone motivate al miglioramento continuo.

L’obiettivo della Produzione Snella è “fare sempre di più con sempre di meno”, meno tempo, meno spazio, meno sforzo, meno macchine e meno materiali.

### 4.2 - Cenni Storici

La storia dell’organizzazione aziendale affonda le sue radici indicativamente nel 1903, quando l’imprenditore statunitense Henry Ford creò il concetto di produzione di massa. La sua idea era di produrre un solo tipo di vettura con caratteristiche tecnologiche e commerciali tali da essere venduta in grandi quantità: “il cliente può avere qualsiasi colore purché sia nero”. Il suo obiettivo prioritario era l’efficienza produttiva senza considerare fattori come il mercato, i fornitori, i clienti (logica push).

Il concetto Lean deriva invece dal sistema di produzione messo a punto dall’impresa giapponese Toyota, fondata negli anni ‘50, nel periodo immediatamente successivo al secondo conflitto mondiale, per far fronte a una crisi interna dovuta alla scarsità di materie prime sul territorio e alla forte competizione interna.

Le aziende giapponesi, per riavviare la crescita economica, decisero di produrre beni di consumo poco costosi, definiti “Junk” o cianfrusaglie dai paesi concorrenti convinti della loro superiorità rispetto ai produttori giapponesi, ritenuti incapaci di realizzare prodotti di elevata qualità.

Il management di Toyota mirò a guadagnare credibilità nel mercato attraverso la produzione di beni con elevati standard di qualità a un prezzo competitivo e con l'utilizzo di meno risorse possibili.

Questa intuizione diede origine alla Toyota Production System (TPS), risultato di una serie di innovazioni produttive e organizzative introdotte e sviluppate sotto la guida del manager Taiichi Ohno. Il nuovo approccio di gestione perseguiva un nuovo modo di pensare la produzione, la logistica e la realizzazione di prodotti.

Il TPS è fondato su una serie di rigorose enunciazioni:

1. Eliminazione assoluta degli sprechi.
2. Semplificazione dei processi e standardizzazione delle fasi di lavoro.
3. Adeguamento della produzione al mercato.
4. Rispetto per le persone.
5. Teamwork ad ogni livello dell'organizzazione.

La scelta di porre al vertice delle priorità il concetto di individuazione e di eliminazione dello spreco era motivata dal fatto che ciò consentiva un miglioramento dell'efficienza e la responsabilizzazione degli operatori a qualunque livello. Ad essa si accompagnava l'esigenza di una produzione e consegna del prodotto giusto, al momento giusto e nella quantità giusta (Just in Time).

Il TPS si delinea sin dalle sue prime applicazioni come modello di gestione integrato, che Ohno non esitò a definire “una filosofia, una metodologia, un approccio moderno, volta a rivoluzionare il sistema di produzione tradizionale”.

Toyota continuò a crescere e a guadagnare anche dopo la crisi del petrolio che colpì l'economia mondiale nel 1973 e penalizzò gravemente la produzione nipponica; tale circostanza fece crescere in Giappone l'interesse delle altre imprese nei suoi confronti.

Negli U.S.A. solo nei primi anni 90' fu condotto un critico confronto tra il sistema di produzione dei principali produttori mondiali di automobili e quelli giapponesi; il libro “The machine that changed the world” mise in luce come i principi della produzione di massa di stampo fordista fossero superati, rispetto a un nuovo modello capace di corrispondere più efficacemente alle

richieste del mercato di maggiore qualità dei prodotti e di costi più bassi nei processi d'impresa. Da quegli anni in poi, l'industria occidentale si è impegnata in una profonda trasformazione del suo modo di agire, orientando il proprio modello al recupero di efficienza e redditività rendendo i propri processi più snelli, reattivi e flessibili.

Per questo nuovo modo di affrontare le tematiche della competitività fu coniato il termine Lean Production ovvero produzione snella, proprio tenendo conto che Toyota stava facendo di più con meno di tutto.

L'obiettivo della Lean production è quello di creare un sistema aziendale in cui sia il cliente a pilotare la produzione (sistema pull) in base alle sue esigenze di qualità, prezzo e servizio, siano conseguentemente ridotte la sovrapproduzione e le scorte, accorciati i tempi di produzione e di immissione nel mercato (time-to-market), eliminati gli sprechi e ottimizzato l'utilizzo delle risorse, sia materiali che umane.

In altre parole, la produzione può essere definita snella in quanto implica un sistema di realizzazione di beni e di servizi focalizzato sul cliente, dove l'eliminazione degli sprechi, la riduzione di costi ed il raggiungimento di elevate performance di qualità sono resi possibili in un contesto organizzativo, umano, sociale e tecnico fortemente integrato. Il concetto è, quindi, intrinsecamente collegato alle caratteristiche strutturali organizzative e culturali dell'impresa, che condizionano la scelta da parte del management nel decidere se adottare i principi Lean. È da sottolineare che i principi Lean possono essere applicate non solo a tutti i processi aziendali (Lean Organization) ed all'insieme delle aziende situate lungo la catena del valore (Lean Enterprise), ma anche a tutti gli altri contesti privati e pubblici (Lean Service), come approfondito dalla letteratura sul trasferimento dei "manufacturing concepts" al settore servizi pubblici e privati.

### 4.3 - I principi del Lean Thinking

L'essenza del Lean Thinking è rappresentata dal fatto che i soggetti che operano in un'organizzazione devono essere in grado di:

- identificare, specificare, generare valore in funzione di una moltitudine di *stakeholder*, garantendo beni e/o servizi di elevata qualità, bassi costi con la massima flessibilità;

- rimuovere sistematicamente, attraverso la ricerca continua, tutti gli sprechi (*muda* in giapponese) che emergono dalle analisi di quelle attività che da un lato occupano risorse lungo l'intero arco della catena del valore, dall'altro impediscono di realizzare ciò che il cliente desidera.

In parallelo, è fondamentale l'acquisizione di una visione globale dell'azienda per processi e ,a cascata, per tutti i livelli, dove la dimensione orizzontale sostituisce la struttura organizzativa e tradizionale, costruita per funzioni verticali.

Womack e Jones, in “La Macchina che ha cambiato il mondo” (1992), riconducono il Pensiero Snello all'applicazione rigorosa di cinque principi base che rappresentano una sorta di guida per l'azione del management.

Avendo valenza di carattere generale, questi principi possono essere applicati ad attività specifiche di un qualunque tipologia di impresa, produttiva o di servizi:

1. Definire il valore dal punto di vista del cliente.
2. Identificare il flusso di valore.
3. Far fluire tutte le attività senza interruzioni.
4. Impostare le attività secondo la logica "pull".
5. Ricercare la perfezione.



Figura 66 - schema Lean thinking

Come sostenuto da Womack e Jones, solo analizzando in dettaglio ogni principio sopra elencato si potrà effettuare una efficace lotta allo spreco.

#### 4.3.1 – VALUE: L'identificazione del valore

Il primo principio del Lean Thinking si basa sull'identificazione del valore che il cliente si aspetta dall'acquisto del prodotto/servizio, in altre parole di ciò che il cliente vuole ottenere in termini di qualità, prezzo e tempo di consegna, per distinguerlo da ciò che invece è “Muda”, spreco.

Nell'applicazione del principio, occorre costantemente chiedersi quale è il valore atteso dal cliente ma anche come è possibile incrementarlo riducendo le attività che non aggiungono valore.

La soddisfazione del cliente ha origine direttamente dal processo produttivo di un bene/servizio.

Ragionare per processi permette di individuare tutte le attività svolte in azienda, che possono essere classificate in tre categorie:

- **Attività a valore aggiunto (VA):** nel caso di un'impresa produttiva, corrisponde al momento di trasformazione della materia. È effettivamente riconosciuto dal cliente come il valore per cui è disposto a pagare.
- **Attività con nessun valore aggiunto ma necessarie (NVA ma necessarie):** sono quelle attività che per vincoli tecnici, costruttivi o normativi di sicurezza non possono essere eliminate, ma che effettivamente non vengono percepite dal cliente come valore aggiunto. L'obiettivo è quello di contenerle quanto più possibile.
- **Attività con nessun valore aggiunto (NVA):** non creano nessun tipo di valore riconoscibile dal cliente per cui quest'ultimo è disposto a spendere. Generano soltanto uno spreco di risorse e per questo tali attività devono essere ridotte fino all'eliminazione.

#### **4.3.2 – VALUE STREAM: L'identificazione del flusso**

Il secondo principio consiste nel mappare il flusso di valore, ovvero delineare tutte le attività in cui si articola il processo, distinguendo fra quelle a valore aggiunto e quelle non a valore aggiunto.

L'obiettivo di tale principio è quello di snellire i diversi processi ed individuare tutti i punti dove si vengono a creare gli sprechi.

Taiichi Ohno identifica gli sprechi (in giapponese Muda) in sette grandi categorie:

- **Sovraproduzione:** tipico soprattutto della produzione tradizionale a lotti, ove la quantità di pezzi da produrre viene definita e pianificata secondo una logica a-sincrona rispetto agli ordini ricevuti dai clienti finali e spesso comporta, al netto del venduto, la rimanenza (e lo stoccaggio) di una quantità variabile di prodotti finiti (o semilavorati). Costituisce quindi un aggravio di costi (il valore del prodotto invenduto) e, come ricordato, lo stoccaggio di una quantità di prodotti "non richiesti" con il conseguente "spreco" di spazio. È quindi auspicabile "produrre solo il necessario" evitando di sprecare risorse e materiali per realizzare "prodotto per i magazzini".
- **Scorte:** generano una quantità di "valore intrappolato" nel processo proporzionale alla numerosità dei pezzi stessi e funzione dello stato di avanzamento nel flusso produttivo stesso. Deve quindi essere considerata attentamente l'opportunità di ridurre al minimo possibile la scorta di materie prime o semilavorati fra una fase e la successiva (Work In Progress) del processo, per minimizzare il "capitale fermo".
- **Trasporti non necessari:** sono tutte le operazioni di trasporto da un posto ad un altro, da un reparto ad un altro, che indubbiamente hanno un costo soprattutto in termini di risorse. Talvolta generano scarti legati alle operazioni di movimentazione stessa (che a tutti gli effetti è una lavorazione aggiuntiva).
- **Movimentazioni:** spostamenti degli operatori all'interno del ciclo di lavorazione. Generano tempi morti e rendono il compito più gravoso. Un layout ottimale della postazione di lavoro e dell'area aziendale permette all'operatore di lavorare in condizioni sicure ed indipendenti.
- **Lavorazioni non necessarie:** compiere più lavorazioni di quelle richieste dal cliente.
- **Attese:** costituiscono spreco tutti i tempi di attesa (accodamenti) non strettamente necessari al ciclo di fabbricazione del prodotto.
- **Difetti:** spreco dovuto alla realizzazione di un pezzo difettoso, sia esso scarto o che necessiti di lavorazioni aggiuntive (o ri-lavorazioni) rispetto allo standard.

Oltre al Muda, che rappresenta lo spreco più fisico e visibile, Ohno individua altre due forme di spreco non meno importanti, pure identificate con il suffisso “Mu”:

- *Muri*, termine giapponese che indica il sovraccarico delle persone o delle risorse; Può provocare nel breve o nel lungo termine la possibilità di infortuni o malattie professionali, dovuti alle posture esagerate che vengono richieste in continuazione dai lavoratori, causando quindi l’assenza dal lavoro per periodi più o meno lunghi e insoddisfazione generale delle persone. Può essere evitato attraverso la standardizzazione del lavoro, cioè attraverso la definizione di un corretto *modus operandi* del lavoratore; per farlo, ogni processo deve essere ridotto ai suoi elementi più semplici affinché possano essere esaminati, corretti e migliorati e successivamente ricomposti;
- *Mura*, che esprime la variabilità dettata da volumi di produzione fluttuanti a causa di problemi interni, periodo di crisi o domanda del mercato altamente discontinua. Tutto ciò si combatte livellando la produzione, attraverso l’Heijunka, strumento Lean descritto nel successivo paragrafo 4.7.3.

Per rimuovere gli sprechi, non è sufficiente ottimizzare i meccanismi di creazione del valore all’interno dell’azienda, ma è necessario guardare all’intero sistema di produzione e distribuzione del valore, con conseguente coinvolgimento di tutti i fornitori.

Particolarmente indicato per analizzare i processi che coinvolgono la produzione in ambiente manifatturiero è il metodo introdotto da Rother e Shook, denominato “Mappatura del flusso di materiali e informazioni”.

È composto da quattro fasi operative:

1. Individuazione e scelta delle famiglie di prodotto su cui condurre l’indagine;
2. Mappatura del flusso attuale di produzione;
3. Mappatura del flusso futuro con l’indicazione dei miglioramenti;
4. Definizione del piano per implementare il nuovo flusso.

Per la mappatura di cui agli alinea 2 e 3, uno strumento efficace è la Value Stream Mapping (VSM).

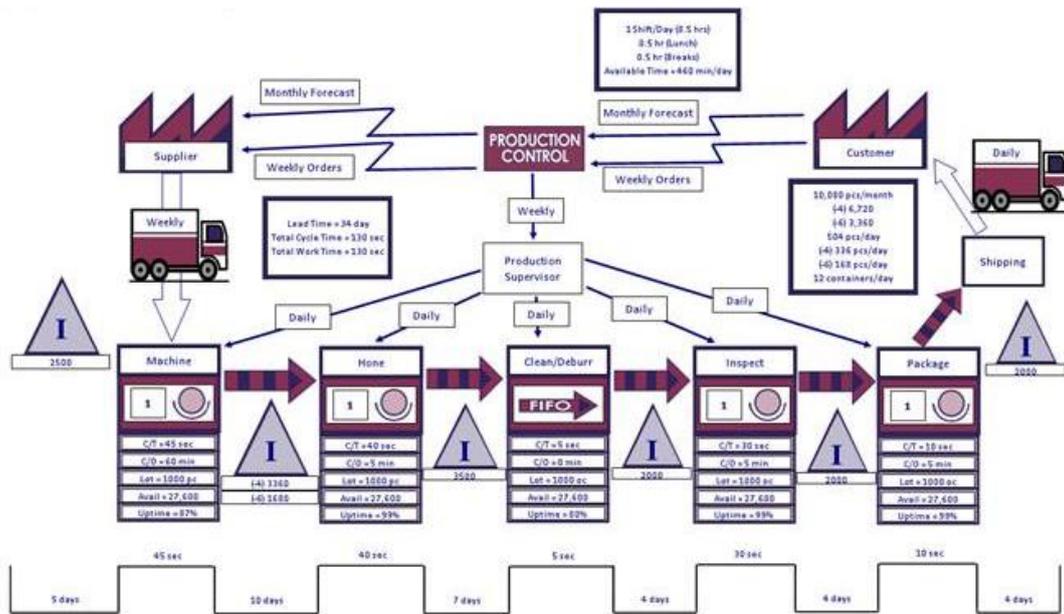


Figura 67 - "Esempio di value stream map"

Per VSM si intende la mappatura grafica di tutto quell'insieme di processi ed attività che concorrono alla realizzazione di un prodotto, partendo direttamente dal fornitore, passando per tutta la catena di montaggio fino alla consegna del prodotto finito. Tale strumento utilizza regole che hanno la finalità di essere comprese da tutto il personale, anche se tuttavia non esiste una standardizzazione fissa dei simboli.

L'immagine seguente sintetizza i simboli e gli schemi più diffusi.

#### Value Stream Mapping

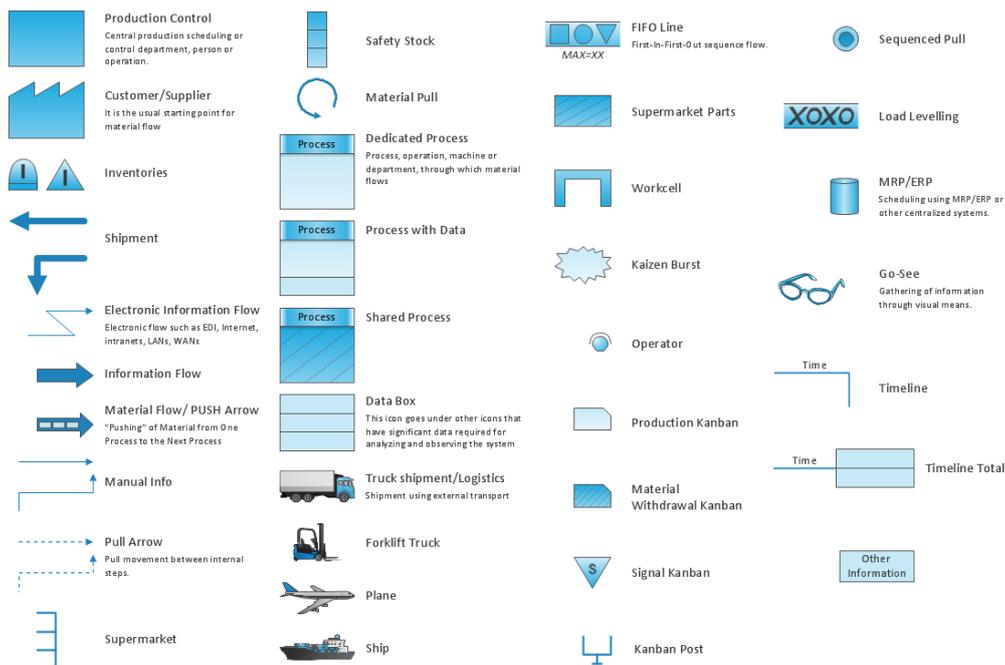


Figura 68 - simboli principali" value stream map"

Visualizzando il flusso in cui si collocano le singole attività, la mappatura grafica aiuta ad individuare gli sprechi e le fonti di questi ultimi; il collegamento tra flusso di materiali e flusso di informazioni rende possibile identificare eventuali “*lack of information*”, ovvero mancanza di comunicazioni dettagliate.

In definitiva, la VSM è uno strumento qualitativo che descrive in dettaglio cosa viene fatto (*Current State Map*) e cosa andrebbe fatto (*Future State Map*).

La VSM si basa su una filosofia di continuo miglioramento che tende ad un Lead time talmente ridotto da attivare il processo produttivo soltanto quando si ha la richiesta da parte del cliente. L'analisi continua del processo permette di perfezionare nel tempo la VSM stessa e di eliminare tutto ciò che non rappresenta valore aggiunto al prodotto finito.

#### **4.3.3 – STREAM: Far scorrere il flusso**

È il primo passo volto all'implementazione del processo di miglioramento. Identificato il valore e le attività che lo determinano, sempre nell'ottica del cliente finale, si procede all'applicazione del ridisegno del flusso, ripulito di tutto ciò che è stato riconosciuto come *muda* e progettato affinché possa scorrere senza interruzioni.

Come nei precedenti principi, l'attenzione deve essere focalizzata sul processo e non sulle singole funzioni, ricercando l'integrazione tra le fasi.

Lo scopo finale è quello di trasformare il tradizionale sistema a lotti e code in un sistema a flusso continuo, dove ogni azione è tesa ad aggiungere valore al prodotto.

Oltre a far scorrere il flusso, è necessario considerare il bilanciamento del carico di lavoro tra i vari dipendenti (c.d. *Takt Time*, paragrafo 4.3.4).

#### **4.3.4 – PULL: La logica che “tira” il flusso**

La reingegnerizzazione del processo deve permettere ai clienti di “tirare il processo”, ovvero essere coloro che muovono la richiesta quando necessario.

L'azienda deve convintamente progettare, programmare e realizzare solo quello che il cliente vuole (logica Pull), quando lo vuole (Just-in-time).

La riduzione dei lead time, cioè il tempo di attraversamento (descritto nel paragrafo 4.7) e l'aumentata flessibilità, resi possibili dall'eliminazione degli sprechi, permettono l'introduzione di logiche di tipo *pull* in sostituzione a quelle basate su pianificazione di tipo *push*.

Il sistema *pull* è un metodo in cui le attività a valle segnalano i loro bisogni alle attività a monte, cioè, è il cliente finale che “tira” la produzione; ciò permette di individuare ed eliminare una grande quantità di sprechi come scorte di prodotti finiti e giacenze invendute, nonché lo spazio occupato in magazzino.

Per ottenere un flusso tirato all'interno di una catena di produzione è necessario seguire delle linee guida e degli accorgimenti tipici della filosofia Lean, volti a:

- sviluppare, per quanto possibile, un flusso continuo e bilanciato; all'interno di una catena produttiva costituita da più postazioni, sarà necessario prevedere lo scorrimento della linea ad intervalli regolari con una cadenza il più possibile vicina al Takt Time, espresso dalla formula:

$$\text{Takt Time} = (\text{Orario di lavoro netto}) / (\text{Domanda media})$$

in cui il numeratore corrisponde al numero di ore lavorate nel periodo preso in esame e il denominatore al numero di prodotti finiti che la linea deve completare per soddisfare la domanda media del cliente nello stesso arco di tempo.

- laddove non sia possibile realizzare un flusso continuo, far ricorso al *supermarket*. Il “Supermercato” è il luogo dove viene immagazzinata una quantità di stock standard per alimentare il processo di produzione: al suo interno gli articoli devono essere disposti in modo che l'operatore possa trovarli senza possibilità di errore o perdita di tempo.

#### **4.3.5 – PERFECTION: La ricerca della perfezione**

Una volta applicati e metabolizzati i quattro principi precedenti, cioè dopo aver identificato e mappato l'intero flusso di valore, aver fatto in modo che i processi scorrano con continuità ed aver messo il cliente nelle condizioni di poter tirare il valore dell'impresa, si creano in azienda sinergie

che mettono in moto un miglioramento continuo nella riduzione dei tempi, dei costi, degli spazi occupati e degli sforzi.

Facendo scorrere velocemente il valore emergono sempre più sprechi nascosti nel flusso; tanto più alta è la richiesta di prodotti finiti da parte del cliente, tanto più vengono messi in evidenza gli ostacoli da rimuovere. Ovviamente il traguardo della perfezione non deve essere inteso come se fosse possibile individuare da subito il processo perfetto. Si può semmai intendere la perfezione come un asintoto che ha lo scopo di mantenere vigile l'attenzione sul processo tramite un miglioramento continuo. Tale evoluzione, come si può capire meglio dal successivo paragrafo 4.4, può manifestarsi a volte attraverso grandi innovazioni e consistenti balzi tecnologici e organizzativi, ma molto più frequentemente è il frutto di tanti piccoli ma sistematici affinamenti. Sotto il profilo gestionale, resta comunque centrale la formazione e il coinvolgimento del personale, tenuto conto delle resistenze che possono emergere nel processo di cambiamento.

#### **4.4 – Il miglioramento continuo**

I principi della filosofia Lean producono ovviamente effetti sulla strategia e sugli obiettivi organizzativi aziendali. Come sostiene Deming nel suo libro dal titolo “L’impresa di qualità”, il miglioramento in azienda può realizzarsi attraverso due modalità:

- **Discontinua (Kakushin):** determina un salto significativo della prestazione di un processo aziendale, attraverso innovazione tecnologica, sostituzione di impianti e/o attrezzature, utilizzo una tantum di risorse esterne. Richiede investimenti finanziari, know-how avanzato e coinvolgimento di pochi.
- **Continua (Kaizen):** determina un progresso graduale nel tempo della prestazione attraverso l’ottimizzazione del processo, la riduzione della difettosità e la responsabilizzazione dell’operatore. Richiede know-how convenzionale ma applicato con metodo, coinvolgimento di tutti (dal top management agli operai), senza significativi investimenti.

È in particolare in questa seconda ottica che si inquadra l’approccio metodologico del Lean Thinking, integrandosi alla filosofia Kaizen del miglioramento continuo diffuso.

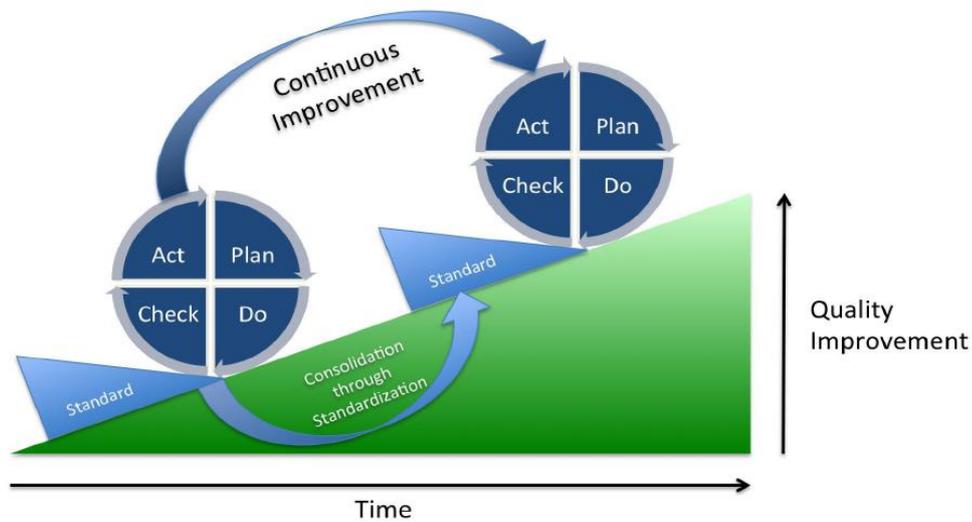


Figura 69 - raffigurazione del concetto kaizen

Questo metodo giapponese incoraggia piccoli miglioramenti da fare giorno dopo giorno, in maniera continua. Presentato inizialmente da Toyota, è stato applicato sempre di più in tutto il mondo; si basa sul principio che l'energia viene dal basso, ovvero sulla comprensione che il risultato in un'impresa non viene raggiunto dal management, ma dal lavoro diretto sul prodotto.

Il Kaizen è un metodo soft e graduale che si oppone alle abitudini occidentali di eliminare ogni cosa che sembra non funzionare bene per rifarla da capo. La convinzione sottostante è che “una volta raggiunto un certo livello, cambiare 100 cose dell'1% di solito è più efficace del cambiare una cosa del 100%”.

#### 4.5 – Implementazione dei principi Lean

Dopo aver descritto gli elementi che contribuiscono a configurare il Pensiero Snello nella sua essenzialità, è necessario soffermarsi sull'importanza di fattori contestuali, che devono essere presi in considerazione per facilitare i processi di una trasformazione radicale dell'azienda nel suo complesso.

La premessa necessaria a un reale cambiamento è rappresentata dal coinvolgimento di tutta l'organizzazione e di tutte le sue procedure gestionali. Il passo più difficile per favorire l'adozione di un nuovo modello d'impresa, nelle condizioni attuali di forti pressioni competitive e di innovazione continua, è quello di vincere l'inerzia iniziale, caratteristica di ogni impresa già avviata, attraverso l'allineamento dei principi snelli con le strategie, gli obiettivi, le risorse, gli strumenti e le tecniche organizzative.

L'approccio generalmente seguito è quello di un intervento drastico su unità aziendali in crisi dove concentrare tutte le risorse disponibili, che richiede in primo luogo la presenza di una forte leadership e di un management disposto ad accettare il cambiamento. La figura del Lean leader tende ad assumere caratteristiche molto differenti rispetto a quella del manager, in funzione del suo ruolo di pianificatore strategico, orientata a stabilire una nuova radicale visione e a distribuire compiti di natura direzionale e responsabilità ad altri potenziali leader. Le caratteristiche del leader di progetto devono essere tali da coinvolgere l'insieme degli *stakeholder* attraverso le seguenti peculiarità:

- Organizzazione e addestramento dei *teamwork*;
- rispetto delle persone;
- focus sui processi;
- supporto e riconoscimento al personale;
- guida attraverso gli esempi;
- messa in luce delle politiche aziendali degli obiettivi;
- educazione alla comprensione e all'uso di procedure standardizzate;
- promozione di una visione a lungo termine;
- supporto al processo di cambiamento.

Nelle realtà aziendali consolidate risulta alquanto difficile l'assimilazione di un tale paradigma che, a prima vista, sembra sconvolgere totalmente il modo di "fare gestione", in quanto richiede la riorganizzazione dell'azienda intorno a famiglie di prodotti e servizi e quindi il ripensamento delle funzioni per riallineare, in unità coerenti, tutte le attività aziendali.



Figura 70 - orientamento Lean

Il processo di apprendimento e il fare proprio quanto appreso conduce alla creazione di una nuova configurazione organizzativa, nella quale le persone sviluppano nuovi atteggiamenti, valori e competenze nell'ottica di miglioramento continuo, ed i leader, partecipando attivamente al cambiamento, contribuiscono allo sviluppo di qualità tecniche, con vantaggi sia a livello individuale che organizzativo. Tutti in azienda si muovono nella stessa direzione.

#### 4.6 – Resistenza al cambiamento

L'applicazione di tale metodo deve quindi innescare un cambiamento culturale diffuso in tutta l'azienda: fondamentale è trovare persone disposte al cambiamento e pronte a mettere in discussione pratiche in uso da anni. Lo scarso impegno di alcune aree coinvolte, per superficialità o per adesione solo formale e non sostanziale, potrebbero mettere a rischio l'intero progetto Lean.

Come detto nel paragrafo precedente, i problemi che possono emergere durante il processo di cambiamento devono essere particolarmente seguiti e gestiti fino a quando i risultati non sono consolidati e i nuovi comportamenti non sono pienamente incorporati nella cultura organizzativa aziendale.

Nella gestione del processo di cambiamento, oltre ad una forte Leadership in grado di “far sì che le cose succedano”, rivestono particolare importanza i seguenti aspetti:

- Comunicazione della visione Lean.

Deve essere definita una visione che rispetti il modello di azienda; questa deve essere comunicata a tutti i livelli ed a tutte le aree così da far sapere a tutti qual è la direzione che il corporate aziendale ha deciso di seguire.

- **Formazione ed addestramento.**

È necessario definire un programma articolato di formazione ed addestramento che accompagni tutte le fasi di implementazione del progetto Lean. Questo programma deve riguardare sia le conoscenze tecniche necessarie per la partecipazione attiva al progetto (metodologie e strumenti), sia le conoscenze dei meccanismi operativi da sperimentare, sia le competenze e le attitudini richieste dal nuovo modello di cultura organizzativa.

- **Consolidamento e misura dei risultati.**

Grande impegno deve essere dedicato a supportare la struttura operativa per rendere stabili i risultati sperimentati e per trasformare i nuovi meccanismi operativi in pratica consolidata. Per monitorare l'effettivo consolidamento dei risultati, deve essere affinato un insieme di indicatori con i principali parametri di performance dei vari processi, dal punto di vista della qualità, dei costi e dei tempi. Attraverso ciò è possibile dirigere le azioni di miglioramento assegnando le giuste priorità.

## **4.7 - Gli strumenti Lean**

Oltre agli strumenti già introdotti precedentemente, quali la Value Stream Mapping, la logica pull e il metodo Kaizen, ve ne sono altri che il modello Toyota propone di adottare per gestire al meglio un'impresa.

### **4.7.1 - JIT (Just In Time)**

La sua traduzione è "al momento giusto"; è un insieme di tecniche volte a migliorare il processo produttivo, cercando di ottimizzare le scorte di materie prime e di semilavorati necessari alla produzione. In pratica si tratta di coordinare i tempi tra le attività di richieste ai fornitori, l'arrivo del materiale e l'effettivo impiego di questo nella catena produttiva.

In tal modo si riducono enormemente i costi di immagazzinamento, gestione, carico e scarico di magazzino. Tale filosofia ha invertito la vecchia logica *push*, secondo la quale i prodotti finiti dovevano essere lasciati in magazzino in attesa di essere venduti, a favore della nuova logica *pull*.

#### **4.7.2- Lead Time o Tempo di Attraversamento e Tempo Ciclo**

Quando si cerca di implementare il *Kanban* all'interno di un sistema produttivo, misurare i tempi ciclo ed il lead time è estremamente importante.

Il lead time di produzione relativo ad un ordine inizia quando arriva l'ordine di un cliente e termina quando il prodotto viene spedito (l'unica data davvero importante per il cliente).

Il tempo ciclo inizia, invece, quando è avviato il lavoro vero e proprio per realizzare il prodotto del cliente e termina quando l'elemento è pronto per la consegna. È dunque una misura più operativo-meccanica della capacità del processo.

#### **4.7.3 Heijunka**

Heijunka è il livellamento di produzione che equilibra il carico di lavoro all'interno della cella produttiva, minimizzando inoltre le fluttuazioni di fornitura.

Gli elementi principali della produzione Heijunka sono:

- Livellamento del volume di produzione.
- Livellamento del mix di produzione.

Il "volume di produzione livellato" è dato dalla distribuzione uniforme della produzione su un dato periodo di tempo. Esso dipende dalla "varietà di produzione livellata", che è la distribuzione uniforme del mix/varietà di produzione su un dato periodo di tempo.

Il controllo produzione Heijunka assicura la distribuzione uniforme di manodopera, materiali e movimenti.

#### 4.7.4 – Kanban

È un termine giapponese che significa “cartellino”; serve per effettuare in maniera efficiente la reintegrazione delle scorte a mano a mano che vengono consumate. Dal punto di vista fisico è un cartellino che accompagna i contenitori dei prodotti dove viene riportato il nome dell’articolo, il codice, la descrizione, il fornitore e la quantità. Ogni postazione dispone di due cassette:

- Kanban Prelievo;
- Kanban Produzione.



Figura 71 - schema funzionamento kanban

Guardando le cassette, l’operatore capisce quantità e tipo di *items* da produrre o da approvvigionare nel supermarket, per poter rispondere “just in time” alla domanda del cliente. A valle e a monte della postazione si trovano i contenitori che formano le scorte. Quelli a monte hanno appeso un Kanban Prelievo: l’operatore preleva il contenitore con i prodotti da lavorare, stacca il cartellino e lo inserisce nella cassetta dei Kanban Prelevi, che evidenzia la quantità e tipologia di prodotti di cui rifornirsi per ripristinare la scorta. I contenitori delle scorte di prodotti già lavorati, invece, hanno ognuno appeso

un Kanban Produzione: quando si ritira un contenitore di questi ultimi, il Kanban produzione viene staccato e posto nella cassetta corrispondente.

Il Kanban, se ben applicato, porta ai seguenti benefici:

- riduzione notevole delle scorte;
- risposte veloci ai cambiamenti di domanda;
- miglioramento dell'accuratezza della scorta;
- semplificazione della programmazione e conseguente riduzione dell'uso dell'MRP.

Presupposti per il suo utilizzo sono produzione ripetitiva e standardizzazione dei contenitori di trasferimento dei materiali.

#### **4.7.5 – SMED: Single Minute Exchange of Die**

Il concetto di SMED è una metodologia integrata nella teoria Lean, volta alla riduzione dei tempi di set-up (o tempi di cambio produzione) ad un lasso di tempo inferiore a dieci minuti; viene sviluppato al fine di risolvere il problema di produrre con la massima efficienza lotti economici.

Il fine di questo strumento è di poter passare velocemente da una produzione ad un'altra nello stesso impianto, riducendo i tempi morti di attrezzaggio macchine.

La tecnica SMED è quindi basata sul principio di eseguire il maggior numero di operazioni di set-up a macchina funzionante, limitando la fermata della macchina solamente alle operazioni strettamente necessarie.

Lo SMED prevede tre passi fondamentali:

- Individuare le operazioni necessarie al set-up e classificarle in interne ed esterne (se l'analisi è svolta su un'attività esistente le modalità di set-up vanno analizzate e misurate sul campo).
- Riorganizzare le attività in modo da avere il maggior numero di attività esterne raggruppate insieme all'inizio del set-up; trasformare il maggior numero di attività interne in esterne.

- Semplificare e diminuire la durata delle operazioni interne ed esterne (mediante il supporto attivo degli addetti allo svolgimento di quelle operazioni).

#### 4.7.6 – OEE: Overall Equipment Effectiveness

La macchina ideale e completamente efficace dovrebbe lavorare tutto il tempo alla velocità massima o standard, senza generare alcun tipo di problema per la qualità dei prodotti, ma la maggior parte delle macchine non raggiunge queste condizioni ideali. Le macchine non possono lavorare in maniera continuata o a velocità massima in quanto subiscono vari arresti e producono spesso pezzi difettosi. Questi problemi sono la causa della riduzione dell'efficienza delle macchine, come misurato dall'OEE (letteralmente “efficienza dell’attrezzatura complessiva”). Le condizioni che causano questi problemi sono chiamate *equipment-related losses*, ovvero perdite causate alle apparecchiature.

OEE è un indice percentuale che riassume in sé tre concetti importanti nel controllo della produzione manifatturiera:

- Disponibilità dell’impianto, in relazione a perdite per inattività (guasti, tempi di set-up);
- Qualità, considerate le perdite per difetti (scarti e rilavorazioni, tempo di start-up);
- Performance della macchina, ove la cadenza reale della macchina differisce da quella teorica per motivi connessi ad obsolescenza e scarsa manutenzione.

I fattori che influenzano il calcolo dell'OEE sono il tempo operativo netto (A), il tempo di funzionamento (B) inferiore ad A per perdite causate da inattività, l’obiettivo di produzione (C) e la produzione reale (D) inferiore a C per perdite di velocità delle macchine, la produzione reale (E) e la produzione conforme (F) inferiore ad E per perdite per difetti.

La formula è la seguente:

$$OEE = \frac{B}{A} \times \frac{D}{C} \times \frac{F}{E} \times 100$$

#### 4.7.7 - Visual Management

Il controllo visivo è un metodo per la generazione di un ambiente ricco di informazioni immediate e visivamente stimolanti. Rappresenta un insieme di strumenti grafici che consentono di individuare a colpo d'occhio le informazioni necessarie per lo svolgimento del processo.

L'uso di segnali, strisce, cartelli o bordi colorati e ben visibili e dispositivi grafici stimolano l'operatore e comunicano immediatamente informazioni importanti. Con poche intuitive informazioni, si stabilisce lo stato e si individuano i punti di miglioramento da applicare.

La gestione a vista applicata ai processi si basa sulla piena visibilità degli stati di avanzamento di questi, fornita agli attori di processo, in tempo reale. L'obiettivo che ci si pone è rendere viva e tangibile l'informazione dei risultati da ottenere direttamente dal processo.

In aziende manifatturiere, e non solo, il controllo visivo consiste nel disporre chiaramente e visibile tutti le attrezzature, i componenti, le attività produttive e gli indicatori di performance chiave (*KPI*) del sistema produttivo. Con una semplice occhiata si riesce a capire se c'è qualche cosa che non va.

È sufficiente mettere un orologio in linea che cadenzi il *Takt Time*, oppure pubblicare giornalmente, settimanalmente o al più mensilmente i *KPIs*, evidenziando con colori diversi il raggiungimento o meno degli obiettivi.

#### 4.7.8 Metodologia 5S

La metodologia 5 S racchiude in cinque passaggi un metodo sistematico e ripetibile per l'ottimizzazione degli standard di lavoro, e quindi per il miglioramento delle performance operative.

L'obiettivo è quello di eliminare tutto ciò che non è strettamente funzionale all'attività svolta, indipendentemente dall'attività stessa.



Figura 72 - le 5S del Lean thinking

Il termine ‘Metodo 5 S’ trae spunto dalle iniziali della pronuncia occidentalizzata delle cinque parole giapponesi che sintetizzano i cinque passi che danno il ritmo alla metodologia:

- Seiri – scegliere (*sort*), separare ciò che serve da ciò che non è funzionale all’attività e che quindi crea disturbo e disordine, ovvero spreco di tempo o di risorse.
- Seiton – sistemare (*set in order*), riordinare. Mettere a posto tutto quello che è utile, il vecchio motto “ogni cosa al suo posto e un posto per ogni cosa”. Al fine di avere il posto di lavoro ordinato, è necessario organizzare la linea in modo tale da favorire il flusso del lavoro. Strumenti ed attrezzi devono essere tenuti dove saranno utilizzati ed il processo deve essere ordinato per eliminare dei movimenti extra.
- Seiso – pulire (*shine*). Tenere tale ordine costante e pulire: un ambiente pulito ed ordinato è un ambiente che ‘non nasconde’ le inefficienze.
- Seiketsu – sistematizzare o standardizzare (*standardize*). Definire delle metodologie ripetitive e canonizzate, da utilizzare per continuare queste attività di razionalizzazione delle risorse e degli spazi lavorativi.
- Shitsuke – diffondere (*sustain*) o sostenere. Questo modo di pensare ed agire deve essere diffuso e mantenuto nel tempo.

Questa metodologia investe quindi in un atteggiamento aziendale di miglioramento continuo; infatti, il miglioramento del sistema è negli ultimi due passi, che rendono l’attività costante e strutturale.

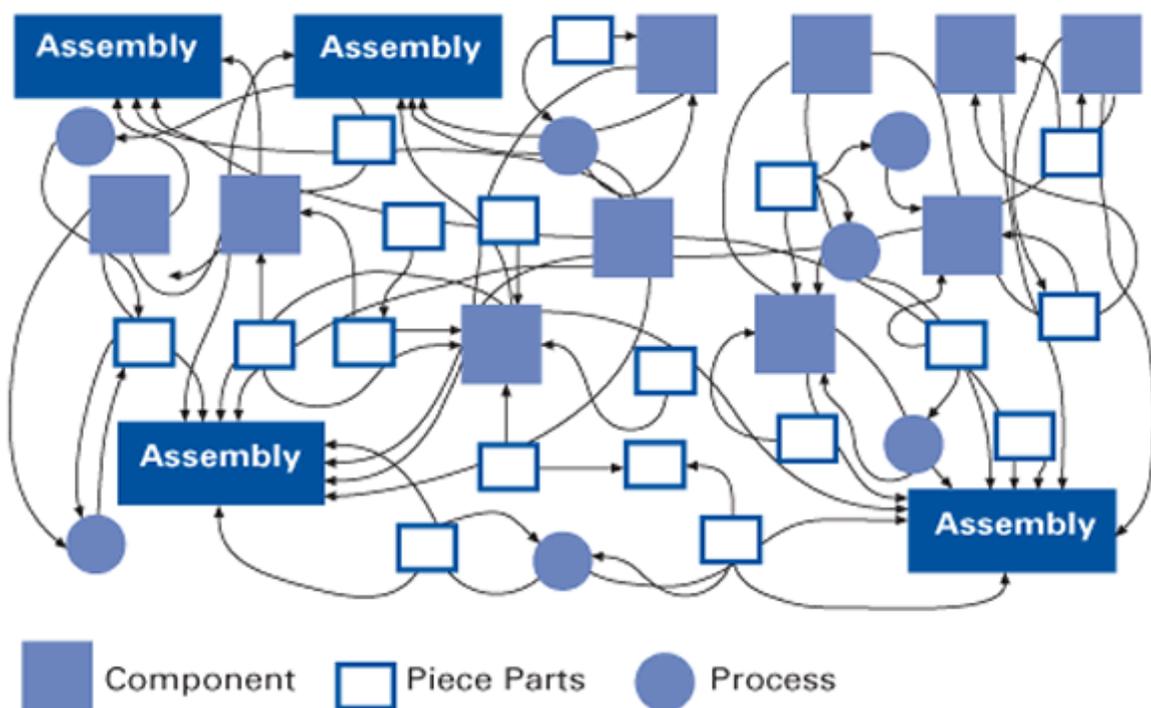
#### **4.7.9 - Spaghetti Chart**

Il “diagramma a spaghetti” consiste in una rappresentazione grafica degli spostamenti e percorsi compiuti da un prodotto lungo il flusso produttivo, o da persone sul posto di lavoro. È chiamato così per via del fatto che la forma del diagramma può ricordare un piatto di spaghetti. Lo strumento mostra visivamente la linearità o la dispersione dei flussi, in particolare:

- mostra il flusso del materiale;
- mostra il flusso degli operatori;

- mostra il flusso di informazioni;
- aiuta a identificare gli sprechi nelle attività, localizzandoli nel layout;
- mostra cosa succede nella realtà e non cosa la gente creda che stia succedendo;
- aiuta ciascuno a conoscere il proprio processo.

Lo strumento permette quindi di individuare le inefficienze del layout, le opportunità per ridurre alcuni tipi di sprechi (trasporti e movimentazioni) e per migliorare la comunicazione interna, come la sicurezza nel luogo di lavoro.



*Figura 73 - esempio di spaghetti chart*

## Capitolo 5 – Miglioramenti apportati al processo

La struttura del processo produttivo è una parte fondamentale dello sviluppo di un nuovo prodotto. Quando viene modificato un qualsiasi componente, anche il processo a lui correlato può subire dei profondi cambiamenti. Come precedentemente descritto nel capitolo 2, la nuova unità è stata ideata cercando di andare incontro alle necessità che la produzione ha manifestato durante il periodo di assemblaggio della vecchia linea BESS. Per questo motivo, una grande quantità di cambiamenti è stata implementata con lo scopo di rendere il prodotto il più comodo possibile per la produzione, seguendo una logica di “*design for manufacturing*”. Per ottenere un simile risultato è stata necessaria una stretta collaborazione fra l’ufficio tecnico e l’ufficio Lean, un lavoro svolto in completa sinergia che ha permesso di modellare ogni parte dell’unità in base al processo scelto come il migliore per la produzione.

Il punto di partenza del progetto è stato analizzare le richieste del mercato (come spiegato nel paragrafo 4 del capitolo 2) e ricavare una lista di specifiche che hanno rappresentato i primi vincoli per la realizzazione dei nuovi pezzi. Una volta ricavati i vincoli legati alle richieste del mercato, ad opera dell’ufficio tecnico, si è passati all’analisi delle richieste della produzione. Queste richieste sono state raccolte dall’ufficio Lean durante il montaggio della gamma BESS precedente, affiancando gli operatori dello stabilimento per tutto il processo produttivo e chiedendo loro quali operazioni necessitassero una modifica. I dati raccolti durante questa ricerca sono stati fondamentali per comprendere quali lavorazioni risultassero critiche all’interno del vecchio layout di produzione. Sono state quindi create, tramite specifici software, delle simulazioni della produzione, quantificando numericamente quali modifiche al layout potessero ridurre il *takt time*, eliminare movimentazioni di materiale superflue, minimizzare gli spostamenti degli operatori all’interno dello stabilimento e migliorare il cosiddetto “*Throughput*”, ovvero il volume di produzione. Incrociando questi dati con quelli relativi alla capacità di stoccaggio dei magazzini, è stato possibile estrapolare una ulteriore lista di vincoli, dai quali è stata calcolata una stima dei possibili flussi di materiali per il rifornimento delle postazioni di lavoro. Unendo tutti i vincoli precedentemente citati con uno studio di fattibilità legato ai costi di investimento, è stato definito il punto di partenza per la ricerca del miglior layout. Come presentato nel paragrafo 4 del terzo capitolo, il layout selezionato è stato quello che prevede delle celle di produzione flessibili, capaci di effettuare tutte le lavorazioni necessarie sulla macchina, senza mai essere spostata. Questo layout è quello che permetteva la

minimizzazione degli spostamenti dei lavoratori e del materiale, oltre che una grande flessibilità nella produzione di eventuali macchine con specifiche diverse da quelle attuali. Risultano inoltre migliorati volume e “tempo ciclo” della produzione, mentre il costo della manodopera e lo spazio utilizzato dentro lo stabilimento per la linea principale (*Line 01*) rimangono invariati. Per l’area di taglio cavi (*Line 05*) e l’area subassemblati (*Line 02*) sono state modificate le disposizioni dei banchi e le dotazioni degli utensili, e questo ha permesso una sensibile diminuzione dei “tempi ciclo”.

Verranno adesso presentati nel dettaglio i miglioramenti apportati al processo, raggruppandoli in base alla “*Line*” in cui ogni miglioria è stata implementata. Dopo i miglioramenti del processo fisico di produzione, saranno presentati i miglioramenti apportati al processo informatizzato di messa in produzione di un’unità, analizzando le differenze con il passato.

### 5.1 –Miglioramenti *Line 05* (area taglio cavi)

Il processo produttivo ha inizio nella “*Line 05*”, con il taglio e la preparazione dei kit cavi. Il processo di taglio, spellatura, indentatura ed applicazione dei capicorda era precedentemente diviso fra banchi di lavoro disposti a ferro di cavallo (vedi figura 61). La disposizione seguiva già la sequenza di operazioni, è stata quindi mantenuta e modificata solo nella quantità dei banchi presenti. Ogni lavorazione ha due banchi disponibili, uno predisposto per l’utilizzo della macchina automatica ed uno per l’eventuale lavorazione manuale. Sono state acquistate due macchine che non erano presenti in precedenza; una per il taglio (Figura 74) ed una per la marcatura dei cavi.



Figura 74 - macchina tagliacavi

Inoltre, per migliorare la velocità delle suddette lavorazioni, sono state sostituite la vecchia macchina per la spellatura dei cavi e quella l'applicazione dei capicorda. È stato spostato il magazzino di locazione dei cavi grezzi, avvicinandolo allo smorzatore di peso presente nell'area di lavoro e permettendo così agli operatori di spostare le bobine di cavi in modo più agevole alla postazione di taglio. Questa operazione avrebbe dovuto essere fatta tramite l'utilizzo di transpallet manuali, e lo scaffale delle bobine grezze era stato posizionato nell'area magazzino 1GK5 (vedi figura 55). Purtroppo, gli operatori finivano spesso per spostare la bobina facendola rotolare per terra fino alla postazione di taglio, creando un rischio di infortunio per gli altri operatori ed assumendo posizioni non ergonomiche durante il trasporto. Lo smorzatore di peso era posizionato vicino alle scatole dei kit cavi finiti per permettere di spostare le scatole di cavi impilate sul pavimento (magazzino "a catasta"). Adesso lo smorzatore può essere utilizzato sulle bobine dei cavi grezzi perché sono stati implementati i carrelli kit cavi (figura 75), eliminando la necessità di spostare le scatole dei cavi lavorati.

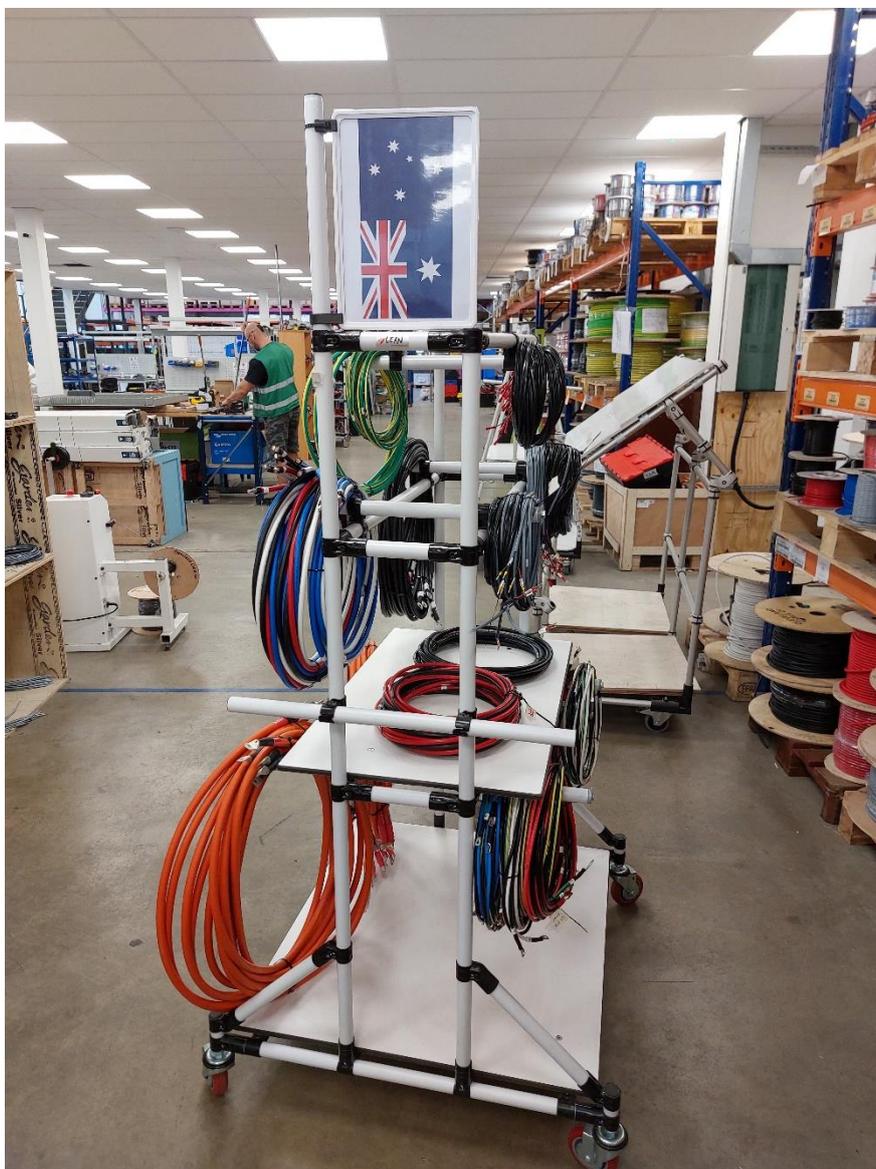
### 5.1.1 – Carrelli “*kit wiring*”

I carrelli kit cavi sono strutture metalliche dotate di ruote, appositamente disegnate per poter contenere tutti i cavi necessari ad una intera unità BESS ed essere spostati agilmente. Nella sua semplicità, questa soluzione è molto utile per poter stoccare i cavi in maniera ordinata, senza rischio di rovinarli e con una velocità nello spostamento verso la linea molto più alta. Ogni carrello è dotato di una bandiera che raffigura la logica di colorazioni dei cavi seguita per creare il kit, rendendo più semplice il riconoscimento della macchina su cui il kit deve essere montato.



Figura 75 - Carrelli kit cavi

Con l'uso di questo strumento, l'operatore può riporre tutti i cavi lavorati direttamente su uno dei carrelli vuoti, dividendoli per funzione e disponendoli dal basso verso l'alto in base al diametro. Apporre quindi la bandiera corretta sul carrello e posizionarlo nell'area dedicata al prelievo da parte degli operatori delle celle di produzione.



*Figura 76 – Dettaglio struttura carrello kit cavi*

Il processo di preparazione di un kit cavi completo per un'unità è stato reso più veloce del 27% (vedi figura 77 e 78) grazie alle migliorie apportate, raggiungendo il miglior risultato riscontrato in tutte le aree di produzione. L'uso di strumenti di marcatura e taglio automatici ha snellito molto le operazioni da effettuare, oltre a rendere il lavoro degli operatori meno impegnativo dal punto di vista fisico (l'uso ripetitivo degli strumenti manuali portava spesso crampi alle mani).

KIT WIRES BOX D1 USA									
OGE-AS0565							cutting		00:50:31
Ident	Size	Colour	Length	Termination	Connection	Destination			
26	50mm	BLACK	420mm	Bootlace both ends			indenting	01:15:28	
27	50mm	RED	420mm	Bootlace both ends					
28	50mm	BLUE	420mm	Bootlace both ends			crimping	01:10:30	
29	50mm	GREY	420mm	Bootlace both ends					
11	50mm	GREY	420mm	Bootlace both ends			tot for 5 sets=	03:16:29	
12	50mm	GREY	420mm	Bootlace both ends					
13	50mm	GREY	420mm	Bootlace both ends			time for 1=	00:39:18	

Figura 77 - Tempi prima della modifica dell'area cavi

KIT WIRES BOX D1 USA									
OGE-AS0565							cutting		00:36:53
Ident	Size	Colour	Length	Termination	Connection	Destination			
26	50mm	BLACK	420mm	Bootlace both ends			indenting	00:55:05	
27	50mm	RED	420mm	Bootlace both ends					
28	50mm	BLUE	420mm	Bootlace both ends			crimping	00:51:28	
29	50mm	GREY	420mm	Bootlace both ends					
11	50mm	GREY	420mm	Bootlace both ends			tot for 5 sets=	02:23:26	
12	50mm	GREY	420mm	Bootlace both ends					
13	50mm	GREY	420mm	Bootlace both ends			time for 1=	00:28:41	

Figura 78 – Tempi dopo la modifica dell'area cavi

### 5.1.2 – Nuova logica classificazione cavi

La logica con cui i cavi sono stati divisi nei vari magazzini è stata modificata per rendere possibile una gestione più comoda e chiara, delineando delle vere e proprie procedure che prima non erano presenti. I cavi sono stati divisi in due categorie in base al loro diametro: cavi con diametro superiore a 16 mm (vedi figura 79) e con diametro inferiore a 16 mm. Tutti i cavi più grossi vengono trattati come pezzi veri e propri, con un loro specifico codice articolo, mentre tutti quelli più piccoli vengono inseriti nella lista minuteria, e gestiti con una logica *kanban*. Questo cambiamento può risultare banale se comparato ad altre modifiche alla produzione, ma permette in realtà di risparmiare considerevolmente sul costo dei cavi con un certo diametro, grazie al loro elevato contenuto di rame. La gestione dei cavi diventa in questo modo mista, permettendo agli operatori di pianificare meglio il loro lavoro durante la giornata. Per i cavi di piccole dimensioni, se una bobina viene terminata è semplice andare a reperire la nuova bobina nel magazzino e

trasportarla a mano verso l'area di lavoro. Quando questo succedeva con le bobine dei cavi più grossi, il lavoro dell'operatore per rifornire la zona kanban dei cavi era molto più lungo e complicato, a causa del peso ingente delle bobine. Con questa nuova logica, l'ufficio pianificazione emette un ordine di lavoro per la giornata e dà direttive al personale del magazzino di consegnare l'esatto numero di bobine necessarie per completare tutte le lavorazioni del giorno. In questo modo gli operatori dell'area non perdono tempo e non si affaticano maggiormente. Per aiutare ulteriormente gli operatori sono stati forniti tavoli dotati di ruote per poterli spostare all'evenienza.



Figura 79- tavoli mobili con cavi da 25 mm

Seguendo la filosofia *kaizen*, si è cercato di istruire gli operatori nel prendere le tempistiche del proprio lavoro e riportarle su un foglio appositamente preparato. Ogni fine turno, gli operatori dovranno consegnare il loro foglio di lavoro al caporeparto, che sarà incaricato di assicurarsi il completo rilevamento dei tempi, la correttezza dei dati sui pezzi lavorati nel giorno e di consegnare questo foglio con cadenza giornaliera all'ufficio Lean, dopo averci apposto la propria firma. Questo è un passaggio molto importante per il costante monitoraggio dei tempi dell'area cavi e la possibilità di conoscere in maniera precisa il tempo ciclo di ogni singolo kit cavi, per il calcolo dei costi dell'area di produzione e l'ammortamento degli investimenti effettuati.

## 5.2 – Miglioramenti *Line 02* (area subassemblati)

L'area dei subassemblati ha subito una modifica nella disposizione dei banchi di lavoro, permettendo così di sfruttare in maniera più efficiente lo spazio ed aggiungere una nuova postazione. È stata creata una zona dedicata alle lavorazioni di taglio e dimensionamento delle canaline passacavi e delle barre omega, davanti ai banchi di lavoro. Questo permette agli operatori di compiere un percorso più corto e risparmiare tempo. Lo scaffale per l'ispezione già presente spesso finiva per essere saturo, ed è stato così aggiunto un secondo scaffale per contenere i pezzi in attesa di controllo. È stato anche aggiunto un vero e proprio banco per il controllo qualità, dove un operaio addetto può effettuare tutti i controlli necessari per dichiarare il pezzo conforme per andare alla *Line 01*. Precedentemente, non era presente una figura specializzata che eseguisse questo test, ma veniva solo fatto un controllo a campione dal caporeparto.

### 5.2.1 – Nuovi banchi di lavoro

I banchi di lavoro sono stati sostituiti con delle nuove soluzioni, studiate per poter raggiungere lo standard di ordine richiesto dalla dirigenza, e poter lavorare in un ambiente ben organizzato, seguendo le 5S della Lean production. In precedenza, i banchi di lavoro erano dei grossi tavoli sprovvisti di qualsiasi tipo di ripiano aggiuntivo. Gli operatori dovevano tenere i propri strumenti da lavoro dentro ad una cassetta degli attrezzi appoggiata sul tavolo, ma spesso rimanevano sparpagliati sulla superficie di lavoro e finivano con il rendere il tutto molto disordinato (Figura 80). Il campione veniva posizionato sul tavolo, vicino al lavoratore, togliendogli la possibilità di usufruire di una superficie di lavoro molto ampia e rallentando in maniera considerevole i tempi di montaggio dei subassemblati.

I nuovi banchi di lavoro sono provvisti di cassetti portautensili, ognuno con delle *shadowboards* apposite, per poter contenere tutto il corredo di nuovi utensili forniti. In questo modo il lavoratore può utilizzare gli attrezzi necessari e, successivamente, riporli nel loro cassetto specifico per mantenere la postazione pulita ed ordinata. Sono state aggiunte anche delle zone apposite dove sarà possibile appoggiare le scatole kanban riempite con la minuteria necessaria per completare il pezzo, evitando di dover appoggiare i pezzi direttamente sul tavolo (come avveniva in precedenza). L'implementazione di questi nuovi banchi dovrebbe portar una diminuzione dei tempi di lavorazione nell'area dei subassemblati di circa il 7%, aumentando l'efficienza del reparto e diminuendo il tempo che gli operatori impiegavano per sistemare la postazione fra un pezzo ed il successivo.



Figura 80 - Vecchi banchi di lavoro



Figura 81 - Banco di lavoro con uso del metodo 5S lean

## 5.2.2 –Schermi interattivi

Per ovviare al problema dell'uso di pezzi campione da seguire come esempio della produzione, e di tutti gli sprechi di tempo correlati alla loro creazione ed al loro utilizzo sui banchi di lavoro, sono stati implementati degli schermi interattivi. Ogni postazione di lavoro è dotata di uno schermo in grado di visualizzare il modello 3D del pezzo, selezionandolo da un'apposita libreria contenente tutti i pezzi montati in quest'area. Oltre al modello CAD, è possibile visualizzare la distinta base del pezzo selezionato ed una sequenza di montaggio da seguire. Questo rende il processo di creazione dei subassemblati molto più veloce ed ordinato, dando la possibilità all'operatore di poter vedere non solo il risultato finale richiesto, ma tutto il processo di montaggio nei minimi dettagli. Gli schermi sono dotati di tecnologia *touch screen*, facilitando il più possibile l'esperienza di utilizzo e risultando comodi e veloci nel rispondere alle richieste del lavoratore. Grazie all'implementazione di questi schermi sarà anche possibile per il lavoratore tenere traccia dei tempi necessari alla creazione dei subassemblati, conoscere i propri risultati personali nella procedura di montaggio e ricercare il miglioramento costante.



Figura 82 - Schermo interattivo

### 5.3 –Miglioramenti *Line 01* (area meccanica ed elettrica)

La zona di montaggio principale è stata completamente cambiata grazie all'utilizzo del nuovo layout a celle di produzione, che permette una lavorazione completa senza la necessità di muovere le macchine per lo stabilimento. Le modifiche al processo più significative e con un maggior impatto sul tempo ciclo riguardano i due problemi principali che erano stati riscontrati durante il montaggio delle vecchie unità:

- lo stoccaggio in linea delle pannellature esterne della macchina
- il tempo necessario per il controllo completo dei cavi nella macchina troppo elevato

I pannelli esterni vengono immagazzinati in contenitori appositamente studiati, detti “*Stillages*”, che rendono più semplice il riporli ed ordinarli per un montaggio più veloce alla fine del processo, mentre lo snellimento nelle procedure di controllo dei cavi è stato possibile grazie all'utilizzo di nuove termocamere.

#### 5.3.1 – “*Stillages*”

Per poter organizzare in maniera efficace le celle di produzione era necessario trovare un modo di stoccare i pannelli esterni delle macchine vicino alla cella, divisi ed ordinati per poter essere montati nuovamente alla fine del processo in modo facile e veloce. I pannelli devono essere montati in un ordine specifico per combaciare in maniera precisa ed impermeabilizzare la macchina, rendendo necessario che la sequenza di montaggio venga rispettata e resa semplice da seguire. La soluzione migliore è l'utilizzo di speciali contenitori progettati appositamente per contenere tutti i pannelli di una singola unità in maniera precisa e con la corretta sequenza per il montaggio. Una volta arrivate, le pannellature esterne vengono divise per ogni macchina e caricate su queste strutture metalliche. Grazie al precedentemente citato “*flat pack*” (capitolo 2, paragrafo 4.1), un operatore riesce a caricare un contenitore con tutte le pannellature necessarie in un tempo molto più contenuto rispetto allo smontare le pannellature dalla base preassemblata come succedeva con il metodo di consegna precedente.



*Figura 83 - Nuovi "Stillages" per le cofanature*



*Figura 84 - vecchio metodo di stoccaggio delle cofanature*

### 5.3.2 – Termocamere

Per migliorare il processo di controllo dei cavi delle unità, una volta completate le fasi meccanica ed elettrica, è stata utilizzata una termocamera. Questo oggetto riesce a rilevare l'energia che tutti gli oggetti emettono sotto forma di raggi infrarossi. Tramite lenti e sensori, la termocamera cattura le radiazioni infrarosse emesse dagli oggetti, le elabora tramite un processore e ne ricava un'immagine digitale che mostra la temperatura superficiale degli oggetti che si inquadrano. Questa tecnologia rende possibile individuare se alcuni cavi sono stati collegati male all'interno della macchina poiché le connessioni fatte in maniera incorretta risultano avere una temperatura maggiore e a disperdere calore. Con la scansione della macchina effettuata con una termocamera, individuare un cavo non connesso correttamente è notevolmente più semplice e intuitivo. Basta inquadrare i punti della macchina dove i cavi vengono collegati alle morsettiere ed assicurarsi che non ci siano punti con temperature anomale. Questa tecnologia permette di risparmiare fino al 65% del tempo di controllo dei cavi, diminuendo il tempo dei test di sicurezza del 22%. Un risparmio tale in termini di tempo permette alla fase di test di non essere più il “*bottleneck*” della produzione, e di equilibrare i tempi delle diverse lavorazioni necessari a completare un'unità.



Figura 85 - Esempio di utilizzo di una termocamera

## 5.4 – Miglioramenti sistema informativo Oracle

Per poter supportare il miglioramento nei processi del flusso fisico del valore, è stato necessario implementare delle migliorie anche all'interno del sistema informativo aziendale, più precisamente al software Oracle (il programma utilizzato come *ERP* da Pramac). L'utilizzo di Oracle è fondamentale per gestire la parte di *manufacturing* e *supply chain* all'interno dello stabilimento, in quanto ogni singolo spostamento di materiali è tracciato e contabilizzato sul software. La modifica del prodotto porta inevitabilmente una modifica anche nell'ERP, rendendo possibile una gestione più comoda e maggiormente precisa di tutte le movimentazioni di materiali all'interno dello stabilimento.

Con l'avvento della nuova linea BESS è stata creata una nuova distinta base, con al suo interno delle categorie di approvvigionamento dei materiali studiate appositamente per lasciare spazio di manovra all'ufficio acquisti ed essere liberi di cambiare fornitura di componenti in tempi contenuti. È stata inoltre cambiata la tipologia di approvvigionamento alle linee produttive di tutti i pezzi, rendendo possibile un controllo su ogni singola movimentazione di materiale dal magazzino allo stabilimento con la logica del "picking order", introdotta al posto della vecchia logica kanban.

### 5.4.1 – “*Bill of materials*” specifiche

Le distinte basi delle nuove macchine sono state appositamente ideate dall'ufficio Lean per poter essere utilizzate dalla pianificazione e dalla produzione come strumento per semplificare la gestione dei materiali. La nuova struttura della distinta base ha infatti al suo interno una divisione della macchina in tre blocchi:

- la macchina semi finita, ovvero tutta la macchina assemblata ad esclusione del pacco batterie e del kit cofanatura
- il pacco batterie calibrato ed accoppiato nella apposita area
- il kit cofanatura organizzato nello stillage nell'apposita area

Questa struttura permette di dividere il flusso dei materiali verso le isole di lavorazione e trattare le batterie in maniera differente, essendo il materiale più pericoloso da maneggiare in un eventuale caso di rottura o malfunzionamento. È inoltre possibile dividere il lavoro da svolgere per completare una macchina in due diverse fasi, rendendo possibile il calcolo dell'efficienza della zona

di produzione in maniera più precisa. Precedentemente, la macchina poteva essere chiusa e contabilizzata solo quando era effettivamente completa e pronta per la consegna. Così facendo, se alla fine del mese erano state effettuate delle lavorazioni su una unità che era in attesa della consegna del pacco batterie, essa non poteva essere contabilizzata nei calcoli per l'efficienza della linea. Con la nuova distinta base è stato reso possibile contabilizzare la macchina escludendo il pacco batterie, rendendo più veritiero il calcolo degli indici di efficienza del reparto.

	A	B	C
1	Level	Description	Type
2	0	FINISH GOOD	FP
3	1	SEMIFINISHED GOOD	Subassembled
4	2	BLACK FLAT PACK	Phantom
5	3	COMPLETED BASEFRAME	Raw material
6	4	PAINTED BASEFRAME	Raw material
7	5	RAW BASEFRAME	Raw material
8	4	HEX INSERTS	Bulk
9	3	COMPLETED INTERNAL STRUCTURE PANEL 1	Raw material
10	4	PAINTED INTERNAL STRUCTURE PANEL 1	Subassembled
11	5	RAW INTERNAL STRUCTURE PANEL 1	Raw material
12	4	HEX INSERTS	Bulk
13	3	COMPLETED INTERNAL STRUCTURE PANEL N	Raw material
14	4	PAINTED INTERNAL STRUCTURE PANEL N	Subassembled
15	5	RAW INTERNAL STRUCTURE PANEL N	Raw material
16	4	HEX INSERTS	Bulk
17	2	EL. CONTROL CABINET (Upper + Lower)	Phantom
18	3	EL. CONTROL CABINET - P1 (Upper)	Phantom
19	4	VICTRON PART 1..4 for EL. CONTROL PANEL - P1 (Upper)	Raw Material
20	4	ABB 1...n for EL. CONTROL PANEL - P1 (Upper)	Raw Material
21	4	OPTIONAL - P1 (Upper)	Raw Material
22	4	EL. CONTROL CABINET - P1 (Upper)- No Victron&ABB&Opt	Raw Material
23	5	EL. CONTROL CABINET FRAME COMPLETED 1	Raw Material
24	6	METAL FRAME PAINTED 1	Raw Material
25	7	METAL FRAME RAW 1	Raw material
26	6	HEX INSERTS	Bulk
27	5	EL. CONTROL CABINET FRAME COMPLETED N	Raw Material

Figura 86 - Nuova "Bill of materials" per la linea LX

All'interno del primo livello della distinta, dentro la "semi-finished good", sono stati creati ulteriori livelli speciali che contengono pezzi di fornitori specifici. Tutti i materiali forniti da una determinata ditta sono stati inseriti in un particolare livello, per essere in grado di cambiare fornitore e modificare la BOM in tempi molto brevi. Questo permette di avere una reattività molto elevata rispetto all'aumento dei prezzi di una determinata fornitura, traducendosi in un risparmio maggiore ed una diminuzione dei costi. Una simile struttura è inoltre fondamentale per permettere, in un eventuale futuro, di spostare la produzione di un prodotto in uno stabilimento estero e poter contare sulle forniture più vantaggiose nella nuova zona geografica. Alcuni componenti sono molto più

costosi a seconda della nazione nella quale vengono acquistati, ed il possibile tempo di consegna più elevato può rendere impossibile il rifornimento di un pezzo in tempo per l'uso in produzione. Con questa struttura, i componenti di una marca non reperibile in uno specifico paese possono essere sostituiti con dei componenti similari di un fornitore presente nell'area.

#### 5.4.2 – Nuove categorie di approvvigionamento

Con la creazione della nuova distinta base, è stato possibile utilizzare delle categorie di approvvigionamento dei materiali più appropriate per il tipo di utilizzo necessario alla nuova area di produzione. Le nuove categorie utilizzate sono:

- “*Subassembled*” = pezzo che ha subito una o più lavorazioni all'interno dello stabilimento sotto forma di montaggio meccanico o elettrico, oppure assemblaggio di più parti per formare un insieme che lavora ad una specifica funzione della macchina. Questo pezzo possiede una locazione di provenienza, una locazione di utilizzo, un tempo medio di lavorazione ed un costo medio per la manodopera, oltre ad un costo specifico pari all'unione di tutte le singole componenti al suo interno.
- “*Phantom*” = pezzo che (allo stesso modo della categoria “*subassembled*”) ha subito lavorazioni all'interno dello stabilimento e possiede una locazione di provenienza e di arrivo, ma non possiede tempi e costi di lavorazione, poiché rappresenta un raggruppamento di pezzi con la stessa funzione che possono essere montati sulla macchina principale in momenti diversi della lavorazione.
- “*Vendor item*” = pezzo sul quale non vengono effettuate lavorazioni e che proviene da un fornitore esterno all'azienda. È presente in questa categoria qualsiasi pezzo che svolge una funzione precisa all'interno dell'unità ma non viene assemblato in loco, bensì comprato all'esterno.
- “*Raw material*” = appartengono a questa categoria tutte le materie prime non lavorate, gestite con logica “*pick*”. Per questi materiali è necessario avere un ordine di lavoro con all'interno la richiesta di spostamento di materiale dal magazzino alla linea produttiva. Il prelievo dei pezzi non può essere effettuato senza uno spostamento di materiale su Oracle, e

la contabilità delle giacenze è controllata ogni mese per assicurarsi un costo immobilizzato a magazzino moderato.

- “*Bulk*” = le materie prime a basso costo che seguono un sistema di rifornimento a *kanban* appartengono a questa categoria. Il materiale, quando viene consegnato, è trasferito in blocco direttamente alla linea di produzione. All’interno del software ERP esso risulterà già nel *WIP (work in progress)* della linea, mentre fisicamente il materiale si trova in un magazzino di linea che viene rifornito periodicamente in base al consumo medio. L’operatore può rifornirsi di pezzi quando ne necessita senza eseguire spostamenti di materiale su Oracle, seguendo la logica di rifornimento dei contenitori “*Kanban*” presenti in ogni postazione di lavoro.

#### 5.4.3 – Sistema di “*Picking lists*”

Con il termine “*picking*”, si definisce un'operazione di "rottura" delle unità di carico (UDC), al fine di ricostituire raggruppamenti di materiali diversi, destinati a soddisfare ordini di lavorazione o di spedizione. Si esegue pertanto un prelievo parziale dei materiali presenti in una UDC di origine e si ripartisce il materiale prelevato in una o più UDC di destinazione. La destinazione può essere interna allo stabilimento per ordini di lavorazione o esterna per ordini destinati alla spedizione a clienti. L'operazione inversa di ricomposizione di una UDC che sia stata soggetta a *picking*, viene denominata “*refilling*”.

Il *picking* di ciascun tipo di materiali può avvenire per singoli ordini oppure per lotti di ordini:

- *Order Picking*: la missione dei singoli operatori consiste nell’evasione di un ordine completo o di una frazione di ordine (è sufficiente inoltrare i materiali che compongono i vari ordini alla confezione finale)
- *Batch Picking*: la missione dei singoli operatori consiste nell’evasione di un lotto di ordini completi o di un lotto di frazioni di ordini (occorre prevedere a valle del *picking* un’operazione di formazione dei singoli ordini, detta “*sorting*”, attrezzando una specifica area).

Il “*sorting*” è il processo mediante il quale gli articoli prelevati sono suddivisi in base alla loro destinazione (cliente, *WIP* di destinazione, etc.). Vi possono essere due modalità operative:

- *sorting* contestuale al prelievo (i materiali prelevati vengono depositati in contenitori distinti per destinazione);
- *sorting* differito (manuale o automatizzato).

Il *batch picking* può essere eseguito per articolo, in ordine sequenziale, per ordini parziali o a zone.

Nel *picking* per articolo, gli spostamenti ed il prelievo vengono organizzati ed effettuati sulla base di un raggruppamento di ordini. Segue la fase di smistamento del singolo articolo tra i diversi ordini che ne hanno determinato la richiesta. La determinazione della dimensione del gruppo di ordini (definito "*batch*") su cui lavorare costituisce un fattore critico per il positivo svolgimento delle attività. Il *picking* per gruppi di ordini prevede di selezionare un numero limitato di ordini e di disporre di "contenitori" separati (uno o più) per ciascun ordine. Se il *picking* avviene sulla base di un ordine cronologico o sequenziale, gli spostamenti e il prelievo vengono organizzati ed effettuati procedendo allo smistamento tra gli ordini che hanno determinato la richiesta. Questa modalità trova applicazione in presenza di ordini di volume contenuto. Nel *picking* per ordini parziali o per zone del magazzino l'ordine viene frazionato in funzione di determinate caratteristiche dei materiali o del magazzino. La selezione e il prelievo vengono effettuati facendo riferimento o all'ordine parziale o ai singoli articoli, segue quindi la fase di ricomposizione dell'evasione. Questa modalità trova applicazione in realtà in cui si gestiscono molti codici con tecniche diverse in funzione della classificazione ABC (oppure si gestiscono articoli molto eterogenei) poiché consente di utilizzare la tecnica più efficiente in ciascuna zona.

	PER ORDINE	PER ARTICOLO	PER ORDINI CRONOLOGICI	PER ORDINI PARZIALI
<b>VANTAGGI</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• bassi costi organizzativi</li> <li>• tempi brevi di preparazione</li> <li>• ordini urgenti facilmente gestibili</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• alta produttività (riduzione dei percorsi)</li> <li>• possibilità di meccanizzazione</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• buona produttività (riduzione dei percorsi)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• alta produttività (riduzione dei percorsi)</li> <li>• maggiore accuratezza</li> </ul>
<b>SVANTAGGI</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• bassa produttività</li> <li>• difficoltà di meccanizzazione</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• elevati costi di organizzazione</li> <li>• smistamento</li> <li>• lunghi tempi di preparazione</li> <li>• maggiori controlli</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• dimensionamento carrello in funzione del volume degli ordini</li> <li>• supporto informatico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• area raggruppamento</li> <li>• supporto informatico</li> <li>• difficoltà di bilanciamento tra le varie zone</li> </ul>
<b>AREE DI APPLICAZIONE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• è il metodo più diffuso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• elevato rapporto righe ordini/codici toccati per batch</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• elevato n. prodotti</li> <li>• superfici estese</li> <li>• volumi limitati dei prodotti</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• superfici estese</li> <li>• elevato n. prodotti con pochi codici ad elevata movimentazione</li> </ul>

Tabella 1 - Vantaggi e svantaggi dei diversi metodi di "*picking*"

Nel caso specifico dello stabilimento di Rugby, le “picking lists” vengono gestite con una logica di “order picking” per ordini di lavoro sequenziali.

Per ovviare ai problemi di errate giacenze di magazzino dovute al prelievo senza regole da parte degli operatori è stato implementato un sistema di liste di prelievo, o “*picking lists*”. Come già accennato precedentemente, una lista di prelievo è un elenco di componenti necessari per la lavorazione di una macchina. Questi componenti sono nel magazzino delle materie prime, allocati nelle loro postazioni specifiche e con una quantità precisa, e queste informazioni sono contenute nel software MRP Oracle. Quando una macchina viene messa in produzione, viene emesso un ordine lavoro, insieme al quale vengono create tante liste di prelievo quante sono le postazioni di lavoro che la macchina dovrà attraversare prima di essere terminata. Ogni operatore del magazzino riceve le liste di prelievo sul proprio palmare dove vengono indicate le locazioni dove il materiale deve essere prelevato e consegnato e la quantità esatta del materiale da trasportare.

Questo metodo di rifornimento delle linee di produzione rende possibile un controllo minuzioso delle movimentazioni all’interno dello stabilimento, permette di capire verso dove vengono effettuati più spostamenti e dimensionare le postazioni di lavoro in modo consoni alle richieste di materiale giornaliero. L’uso delle liste di prelievo è circoscritto a materiali che appartengono alla categoria “*raw material*”, mentre per comodità non si utilizza con la minuteria ed il materiale meno costoso.

## **5.5 – Comparazione fra “As is” e “To be”**

Come si evince dal terzo capitolo, il layout dello stabilimento non ha subito delle modifiche importanti nella sua macrostruttura, bensì sono state le singole aree di lavorazione a subire un grosso cambiamento. Queste modifiche sono state apportate per poter rendere ogni postazione il più efficiente possibile, sfruttando la possibilità di eseguire allo stesso momento una modifica che fosse fatta su misura per l’utilizzo combinato del nuovo sistema di picking (abbandonando il vecchio sistema *kanban*) e dei nuovi componenti dell’unità BESS. La distribuzione delle aree nello stabilimento è quindi rimasta invariata, riuscendo comunque a soddisfare i nuovi flussi di materiale e le nuove richieste della produzione.

La distribuzione delle linee rimane quindi la stessa, con le aree di lavorazione che mantengono le loro denominazioni ed il loro scopo specifico all’interno del processo produttivo (Capitolo 2, paragrafo 5). La *Line 06* e la *Line 07* non fanno parte del processo produttivo in quanto sono linee adibite alla ricerca e sviluppo ed alle macchine speciali, non legate al listino prodotti.



Figura 87 - Layout generale "as is"

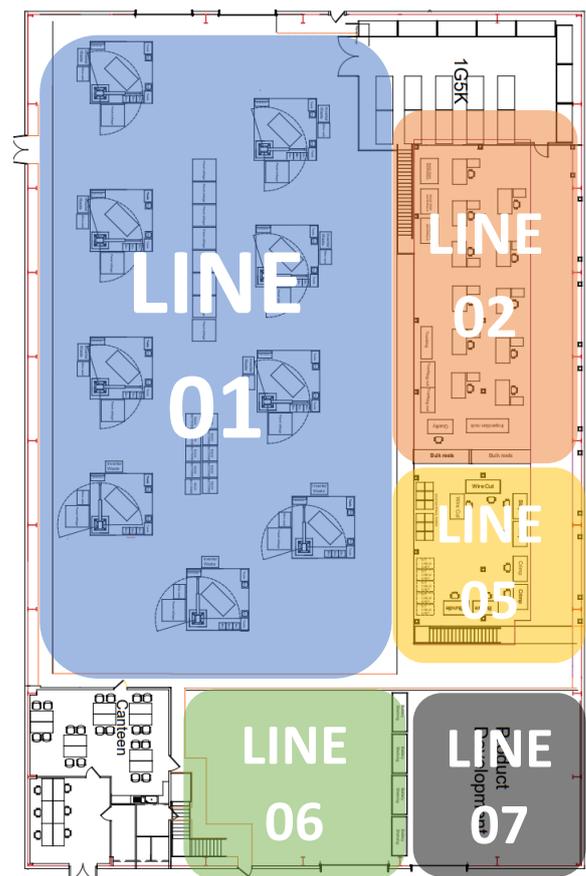


Figura 88 - Layout generale "to be"

### 5.5.1 – LINE 05

L'area denominata LINE 05 è l'area dedicata alla lavorazione dei cavi, dove vengono preparati tutti i cablaggi necessari per l'unità BESS, da quelli dei subassemblati a quelli del pacco batterie. Quest'area ha subito un cambiamento nella disposizione e un miglioramento di tutte le postazioni di lavoro, con nuovi utensili, nuovi banchi e nuovi macchinari automatizzati. Questa area rimane la prima in cui le lavorazioni vengono iniziate quando viene emesso un ordine di lavoro dalla pianificazione, in quanto il suo operato è indispensabile per le lavorazioni fatte nelle altre aree di produzione (paragrafo 5, Capitolo 2).

Sono stati spostati i banchi di lavoro e gli scaffali di stoccaggio delle materie prime e dei prodotti finiti, in favore dell'utilizzo dei carrelli kit cavi (capitolo 5, paragrafo 1). Il flusso del materiale è stato reso più lineare, con le postazioni di lavoro disposte in maniera sequenziale e con l'area

preposta per contenere i carrelli kit rivolta direttamente verso la LINE 01, evitando spostamenti non necessari.

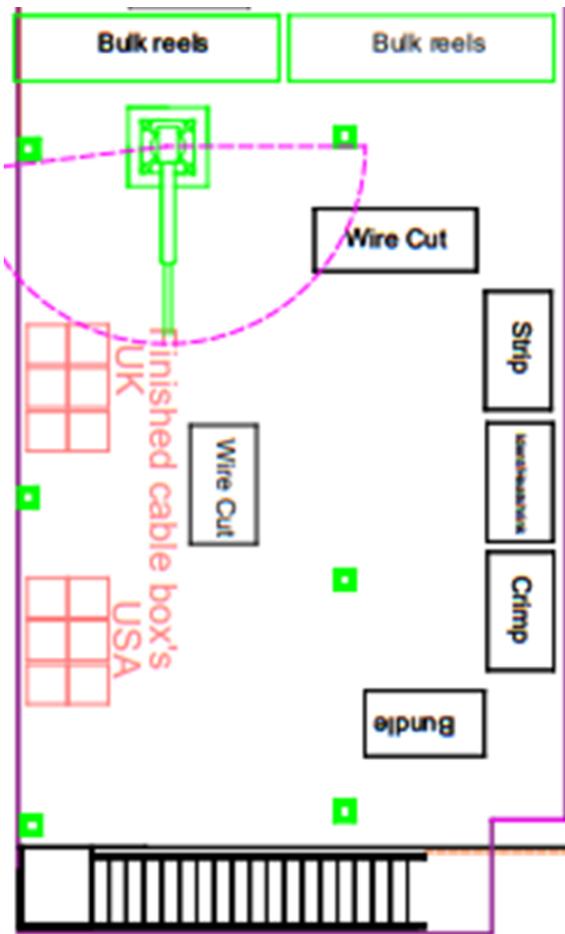


Figura 90 - LINE 05 "as is"

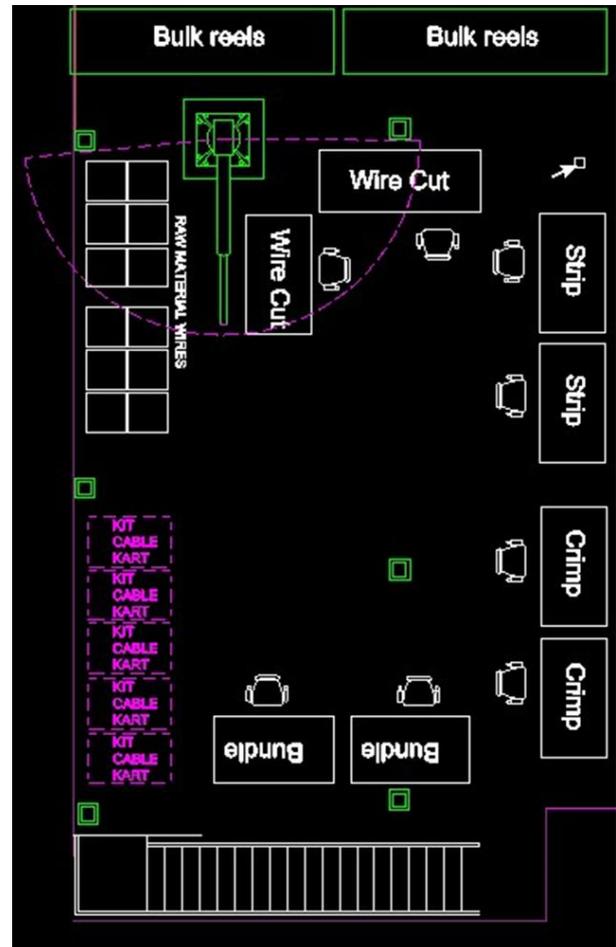


Figura 89 - LINE 05 "to be"

## 5.5.2– LINE 02

La LINE 02 è la zona dove vengono prodotti tutti i subassemblati che verranno montati successivamente sulle unità BESS (capitolo 2, paragrafo 5.2) Questa area di produzione è stata rimodulata per creare un flusso dei materiali più chiaro ed intuitivo, modificando la disposizione, il numero e la conformazione di tutti i banchi di lavoro.

Le dotazioni di ogni postazione di lavoro sono state aggiornate e migliorate, seguendo la logica 5S di ricerca dell'ordine e della pulizia sul posto di lavoro. Sono state eliminate le scaffalature *kanban* presenti in precedenza, in favore di un aumento di spazio nella zona di lavoro e dell'utilizzo della nuova logica di movimentazione di materiali. Questa scelta è stata attuata seguendo l'esempio del progetto pilota che Pramac ha perseguito nei suoi stabilimenti in Spagna ed Italia, che hanno visto

l'avvento degli ordini di lavoro ed ordini di prelievo due anni prima di questa modifica allo stabilimento inglese, con importanti miglioramenti nella riduzione del valore dei magazzini.

Sono stati aggiunte due postazioni di lavoro, è stata aggiunta una scaffalatura per contenere i subassemblati da ispezionare ed una vera e propria postazione di test e sono state posizionate diversamente le postazioni di lavorazione delle canaline per seguire un flusso più lineare.

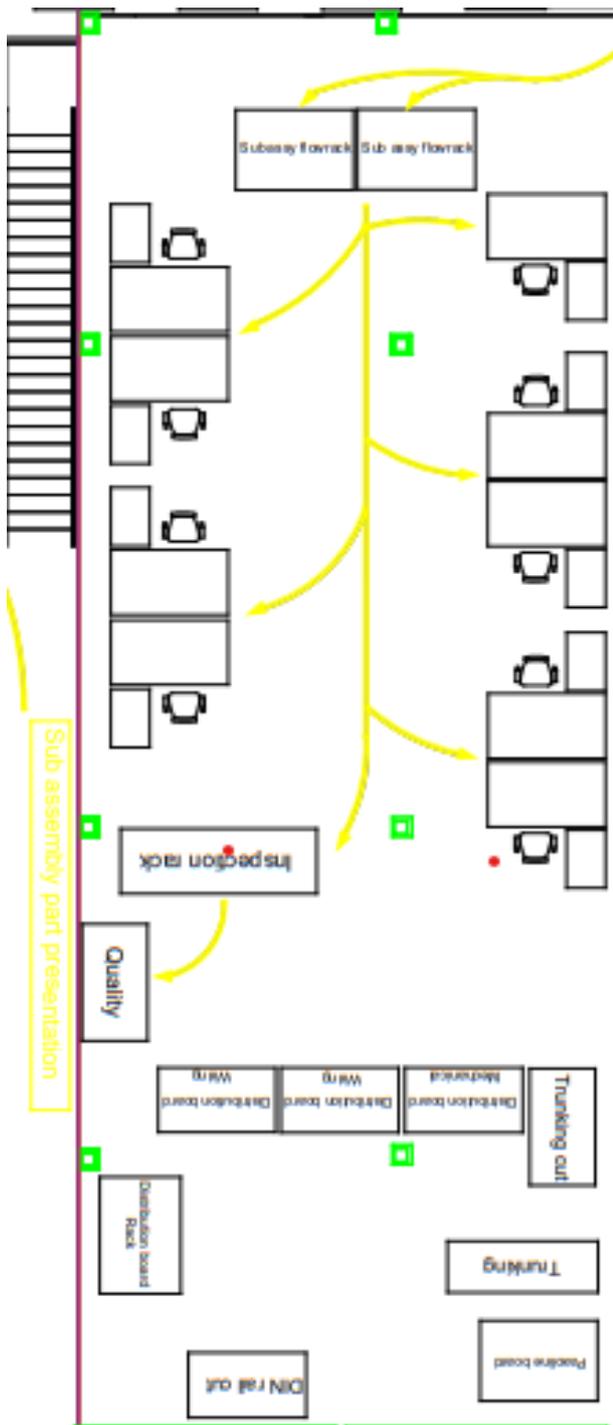


Figura 91 - LINE 02 "as is"

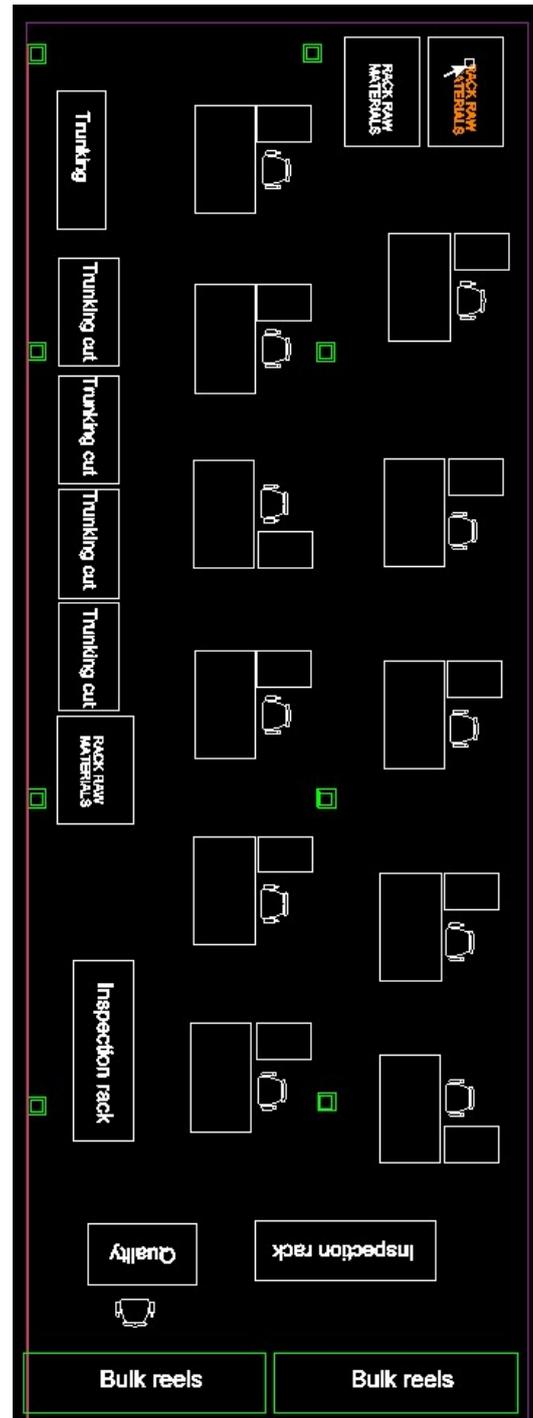


Figura 92 - LINE 02 "to be"

### 5.5.3– LINE 01

La LINE 01 è la linea principale di assemblaggio delle unità BESS, ed è anche quella che ha subito le modifiche più profonde ed importanti. La struttura precedente vedeva le varie postazioni di montaggio meccanico ed elettrico disposte in sequenza. Le postazioni del montaggio delle batterie erano a fianco di quelle dell'assemblaggio elettrico, e venivano seguite dalle postazioni per i test finali e da quelle di pannellatura e preparazione alla spedizione.

La nuova LINE 01 è formata da isole di lavoro nelle quali vengono effettuate tutte le lavorazioni necessarie ad una unità, senza mai essere spostata fino alla sua ultimazione. Sono state inserite delle aree di stoccaggio per i rack batteria e gli "stillages", utili a contenere i pannelli della cofanatura.

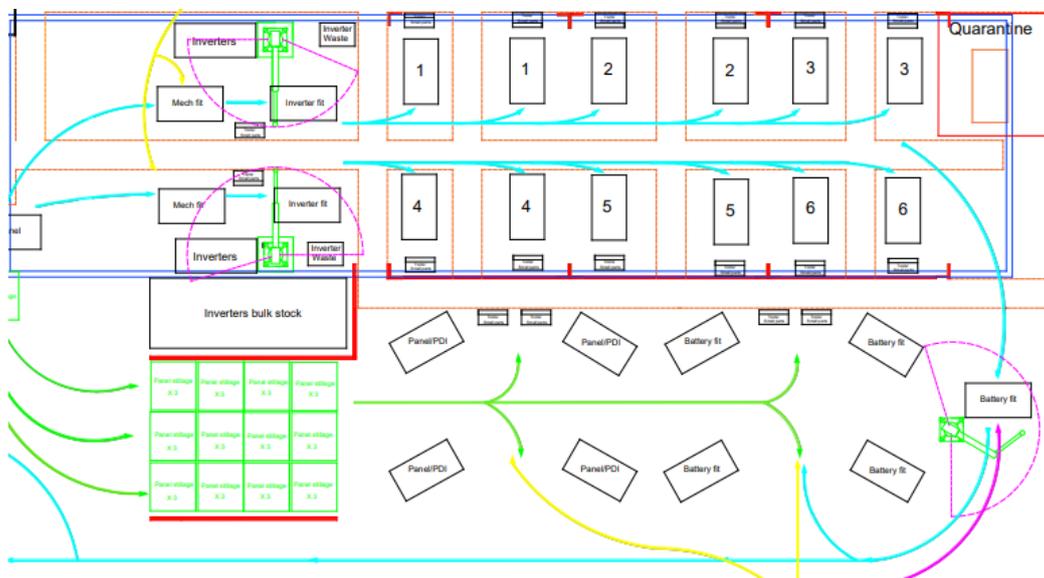


Figura 93 - Layout LINE 01 "as is"



Figura 94 - Layout LINE 01 "to be"

## Capitolo 6 – Il flusso dei materiali

Il flusso dei materiali all'interno dello stabilimento è stato profondamente modificato per poter essere il più adatto possibile al nuovo prodotto ed al nuovo layout. L'ufficio Lean ha lavorato alla creazione del nuovo flusso partendo dalla distinta base della macchina e dalla disposizione delle celle di lavorazione, con una particolare attenzione al trasportare i materiali verso le celle produttive nel minor tempo possibile ed in completa sicurezza. I vincoli imposti alle movimentazioni interne di materiale riguardano infatti la possibilità di limitare il più possibile il transito di carrelli a forche frontali ed elevatori all'interno delle aree dove sono presenti gli operatori di produzione, preferendo la movimentazione delle macchine con transpallet elettrici o manuali. Grazie ad una collaborazione con l'ufficio di pianificazione, è stato possibile calcolare il fabbisogno giornaliero di materiali alle celle di produzione e dimensionare i flussi di materiale in maniera precisa, cadenzando le consegne in modo ciclico e puntuale. Creando delle postazioni per lo stoccaggio temporaneo dei pezzi in ogni singola cella di lavorazione è stato possibile dividere il tipo di rifornimento dei diversi componenti di ogni macchina, in modo da non congestionare la linea di pezzi troppo ingombranti o non necessari in determinate fasi del processo.

Per capire le dinamiche degli spostamenti fra magazzini e linee di produzione verrà presentata una breve panoramica sulle funzioni di pianificazione presenti sull'ERP Oracle, e come queste siano state utilizzate per poter creare il nuovo flusso dei materiali, presentando le differenze con il precedente.

### 6.1 – Funzioni pianificazione Oracle

Come accennato nel paragrafo 4 del quinto capitolo, sono stati introdotti i “*Work orders*” (gli ordini di lavoro e le “*picking lists*” (le liste di prelievo) all'interno del sistema gestionale Oracle, per permettere un maggior controllo dei rifornimenti alla linea e delle giacenze nei magazzini.

Oracle è un software utilizzato come Enterprise Resource Planning dall'azienda. Un ERP è un software che le organizzazioni utilizzano per tenere sotto controllo tutte le attività necessarie, come la contabilità, la gestione del rischio, la *compliance* e tutte le *operations* della *supply chain*. Questi sistemi mettono in relazione fra loro un insieme di processi dello stesso business, e ne consentono uno scambio di dati continuo, funzionando come un vero e proprio hub centrale per il flusso dei dati

end-to-end dell'azienda e consentendone l'accesso a tutti i reparti. Questo permette di avere una visione chiara dell'intero processo, monitorando tutti gli aspetti della produzione, della logistica e del reparto finanziario.

I sistemi ERP si basano su un'unica struttura di dati, o schema, che condivide un database comune. In questo modo si è certi che le informazioni utilizzate da tutta l'azienda siano normalizzate e comuni a tutti. Questi costrutti vengono interconnessi con i processi ed i flussi di lavoro dei vari reparti, connettendo i sistemi e le persone che li utilizzano. Invece che tanti database a sé stanti con diversi inventari disconnessi, i sistemi ERP permettono la creazione, l'archiviazione e l'utilizzo degli stessi dati derivanti dai vari processi in un unico database.

Il software ERP Oracle mette a disposizione del reparto di pianificazione diverse funzioni che rendono il processo ordinato e sempre sotto controllo, anche se lo rallentano leggermente a causa della loro rigidità.

È possibile integrare i magazzini con i sistemi ERP, creando un collegamento con il Warehouse Management System (WMS) che permette di gestire in modo automatico le movimentazioni di magazzino e di avere un controllo real-time della giacenza. Ciò determina uno snellimento del processo di picking, una diminuzione dei tempi di prelievo e una riduzione degli errori.

### **6.1.1 – Logica utilizzo “*Work order*”**

Quando l'ufficio pianificazione riceve dall'ufficio vendite la richiesta per la creazione di una unità, il sistema crea un ordine di lavoro, o “*work order*”, che serve ad Oracle per accoppiare il numero di serie della macchina che sta per essere prodotta con i vari numeri di serie dei pezzi principali utilizzati per costruirla (come ad esempio batterie, convertitori di corrente, etc.) In questo modo si può avere una panoramica completa della macchina, con informazioni riguardanti la data di emissione dell'ordine di lavoro, la data di messa in linea e di completamento dell'unità e le specifiche richieste dal cliente. Gli ordini di lavoro non vengono creati solo per la macchina finita, ma per ogni pezzo della macchina che necessita una lavorazione in una linea specifica, come tutti i vari subassemblati provenienti dalla *Line 02*. Per una singola unità vengono quindi creati molteplici ordini di lavoro, che serviranno a far partire la produzione di ogni singolo pezzo necessario per il montaggio della macchina finita nelle varie linee. Questo metodo permette di avere l'assoluto controllo su cosa viene prodotto ogni giorno all'interno dello stabilimento, diminuendo al minimo gli sprechi di materiale e le giacenze di semilavorati. Per ogni ordine di lavoro viene creato anche un ordine di prelievo.

### 6.1.2 – Logica “*Pick order*”

Un ordine di prelievo è un documento generato dal software ERP che, tramite la lettura della distinta base nel database del sistema, elenca tutti i singoli pezzi (definiti “raw materials” nel quarto paragrafo del capitolo 5) necessari alla lavorazione della macchina o del pezzo per cui è stato redatto. All’interno di un “*pick order*” è presente la lista di tutti i pezzi necessari alla macchina, le loro locazioni all’interno del magazzino dove sono stoccati, il numero esatto di pezzi necessari e le linee di destinazione dove i pezzi devono essere consegnati. Questo documento è fondamentale per poter muovere del materiale dal magazzino alle linee, poiché senza esso lo spostamento non risulterebbe effettuato nel sistema ERP e creerebbe delle discrepanze fra le giacenze segnalate da Oracle e quelle reali dei magazzini. Implementando la possibilità di prelevare materiale solo tramite un “*pick order*”, composto da diverse “*picking lists*”, il controllo sui magazzini e sui materiali utilizzati risulta essere più preciso e permette di mantenere sempre le giacenze corrette all’interno del software ERP. Questo sistema è inoltre molto utile per capire in anticipo se ci sono eventuali mancanze di materiali necessari per una determinata unità nei magazzini. Infatti, quando viene creato un ordine di lavoro ed il conseguente ordine di prelievo del materiale necessario (diviso in diverse liste di prelievo) il sistema segnala immediatamente alla pianificazione che non sono presenti i pezzi necessari per completare la macchina, evitando di mettere in produzione un’unità che non sarebbe finita nei tempi prestabiliti. Questa funzione rende possibile accorgersi in maniera preventiva degli eventuali “*shortages*” nel magazzino e reagire con estrema reattività ed efficienza. Questa breve panoramica sulle funzioni più importanti implementate al software ERP Oracle per tutte le movimentazioni all’interno dello stabilimento serve a conoscere la terminologia utilizzata e comprendere più chiaramente la modifica dei flussi di materiale presentata nel prossimo paragrafo.

## 6.2 – Logistica interna

La gestione della logistica all’interno dello stabilimento risulta fondamentale per avere un processo efficiente, senza tempi di attesa e al minor costo. Gli strumenti utilizzati per la gestione delle movimentazioni di materiale interni allo stabilimento Pramac UK sono gli ordini di lavoro (o “*work orders*”) e le varie liste di prelievo (o “*picking lists*”) contenute in essi. Gli operatori che possono effettuare le movimentazioni di materiale tramite le liste di prelievo sono solo gli addetti al magazzino, mentre i rifornimenti presso le zone *kanban* possono essere eseguiti da tutti gli operatori che ne necessitano.

Il flusso di materie prime parte dal magazzino, nell' *unit 5*, passa per le *unit 3&4* dove è presente la produzione, e finisce con l'uscita dalla linea del prodotto finito.

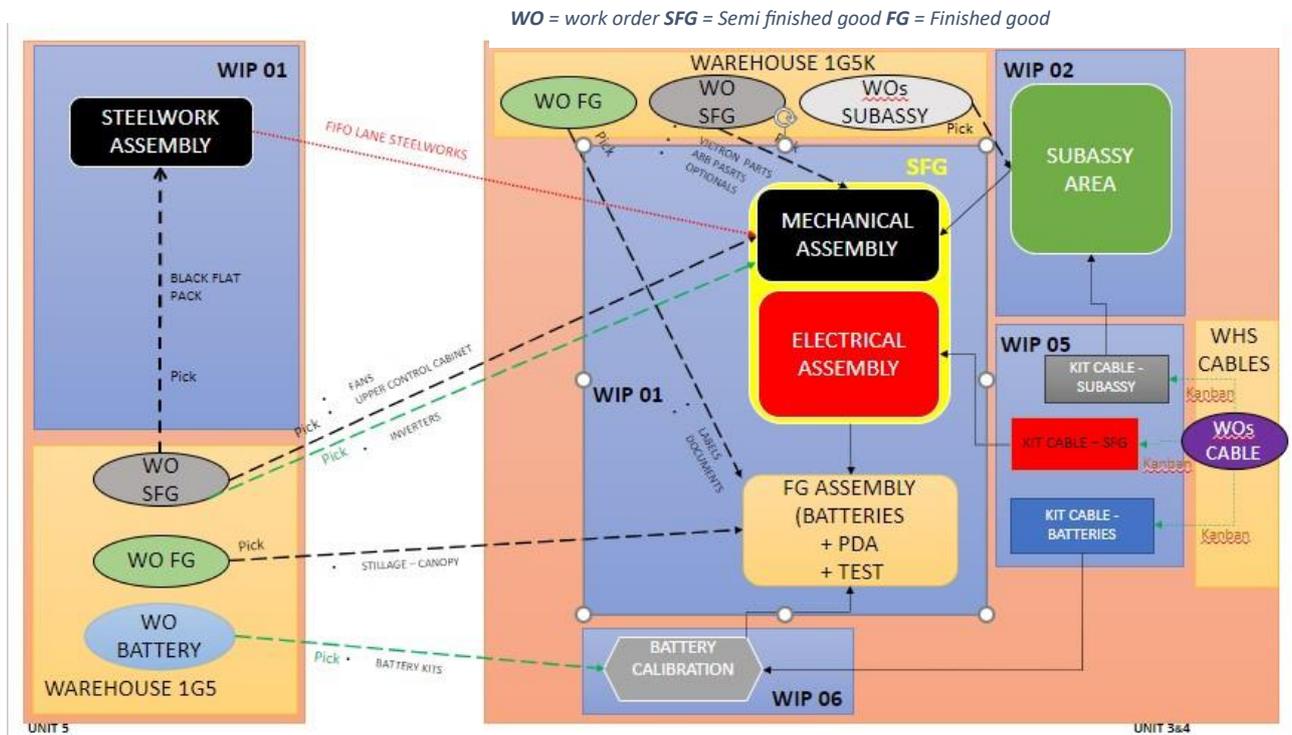


Figura 95 – Schema di flusso dei materiali per la nuova unità BESS

La prima movimentazione di materiale che avviene a seguito della ricezione di un ordine è inerente alla produzione dei cavi nell'area dedicata. I cavi grezzi con diametro minore a 16mm vengono prelevati dagli operatori di linea dal magazzino kanban della "cut wiring area", mentre i cavi con diametro superiore vengono consegnati dagli operatori del magazzino tramite una lista di prelievo, legata ad un diverso ordine di lavoro. Questi vengono prodotti due settimane prima della messa in linea della macchina, per poter arrivare al momento del montaggio meccanico di tutte le parti con i subassemblati ed i cavi per l'unità già pronti. Questa lista di cavi, chiamata "unit cutting list", una volta terminata viene mandata alla cella di lavorazione che è stata assegnata alla macchina, mentre il cablaggio necessario alla creazione dei subassemblati viene trasportato nella "Line 02". Oltre a questi cavi, vengono prodotti anche i cavi specifici per il collegamento in parallelo delle batterie nella parte superiore del rack di contenimento. Questo kit cavi, "chiamato Batteries", viene mandato nell'area di calibrazione delle batterie, pronto per essere utilizzato quando le celle arriveranno alla linea.

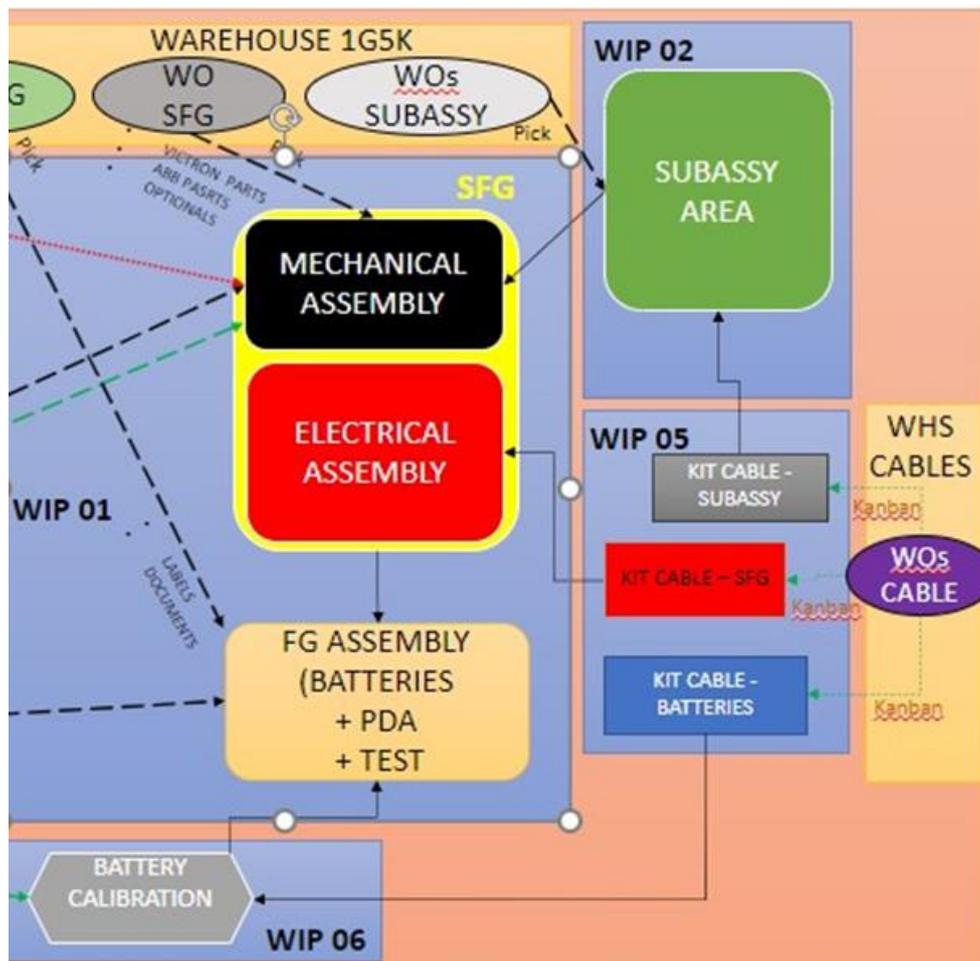


Figura 96 - Particolare del flusso inerente all'area cavi

Una settimana dopo l'inizio delle lavorazioni dei cavi, inizia la lavorazione dei subassemblati nell'area dedicata. Viene creato un ordine di lavoro per ogni subassemblato necessario alla macchina, ognuno con la sua lista di prelievo. Questi pezzi vengono lavorati all'interno del WIP 02 e, una volta passati i controlli qualità, vengono mandati alla cella assegnata alla macchina legata ai loro ordini di lavoro (in WIP 01). All'interno di ogni cella è presente uno scaffale che funge da magazzino per contenere tutti i subassemblati necessari all'unità in lavorazione, dove i pezzi vengono riposti quando pronti per il montaggio. Il processo di creazione e collaudo dei subassemblati dura circa una settimana, finendo in concomitanza con l'inizio del montaggio meccanico dell'unità principale.

Il montaggio meccanico inizia quando viene creato l'ordine di lavoro per l'assemblaggio del "Semi-finished good" (presentato nel capitolo 5, paragrafo quarto). Insieme a questo ordine di lavoro vengono creati anche quello per la macchina finita e quello per il pacco batterie.

L'ordine di lavoro per la macchina semi-finita contiene al suo interno le liste di prelievo per diversi componenti, quali:

- Lo scheletro interno dell'unità

La lista di prelievo dello scheletro interno dell'unità, chiamato "*steelwork*" richiama alla linea i materiali dal magazzino denominato 1G5. I materiali vengono presi da questo magazzino situato nell'unità 5 e portati in WIP 01. La lista di prelievo correlata all'ordine di lavoro dello "*steelwork*" contiene tutti i pezzi necessari al montaggio della struttura interna della macchina (Figura 33) e del rack per le batterie (Figura 42).

- I convertitori di corrente

La lista di prelievo dei convertitori presenta al suo interno il numero ed il tipo di codici necessari al modello in produzione. Questi vengono prelevati dal magazzino ancora nel proprio imballaggio terziario, e trasportati alle isole di lavoro per mezzo di muletti.

All'interno delle confezioni sono presenti i convertitori e i ganci di montaggio per fissarli alla struttura. (Figure 34 e 46)

- Le ventole di raffreddamento

Le ventole vengono prelevate dal magazzino materie prime e trasportate alle celle di lavorazione nel loro imballo secondario. La lista di prelievo specifica il numero di ventole necessarie alla lavorazione, ma la rottura dell'unità di carico e la selezione delle singole ventole risulta più lunga e meno comoda al trasporto. Viene così trasportata con un muletto la scatola contenente un numero standard di ventole, che viene scaricata nell'area libera presente vicino alle celle di lavorazione. (Figura 64 ) Un altro addetto del magazzino provvede poi a rifornire ogni singola cella con il numero di ventole riportato sulla lista di prelievo.

- Il pannello di controllo

Per il pannello viene creata una lista di prelievo che al suo interno riporta le specifiche del pannello e gli optional che la macchina dovrà montare. Si è optato per questa soluzione in seguito ad una analisi dei costi relativi al pannello. L'ufficio Lean ha riscontrato delle difficoltà nel convertire la zona dei subassemblati in modo che riuscisse a creare i pannelli di controllo per le varie unità. La variabilità nelle configurazioni, la difficoltà nel trasporto dovuta al peso (mancanza di smorzatori di peso nell'area di lavorazione) ed il tempo di

lavorazione dei quadri ha reso necessario trovare una soluzione alternativa. È stato così trovato un accordo con lo stabilimento Pramac Iberica (presso Murcia, in Spagna) per la fornitura dei pannelli di controllo totalmente assemblati (a parte gli optional ed i componenti specifici). Lo stabilimento spagnolo è provvisto di una zona adibita alla lavorazione di pannelli di controllo molto simili a quelli utilizzati sulla nuova linea BESS. Pertanto, non è stato necessario un ulteriore investimento da parte dell'azienda. I pannelli arrivano imballati uno ad uno all'interno di container, vengono scaricati e riposti all'interno di una scaffalatura apposita nel magazzino della *Unit 5*, per poi essere portati in linea singolarmente con l'uso di carrelli elevatori.

- Componenti aggiuntivi opzionali

Questi componenti sono stoccati nel magazzino presente nell'unità 3&4, denominato 1G5K. Questo magazzino viene utilizzato per lo stoccaggio di pezzi di piccole dimensioni e per una parte della minuteria, o *bulk*. La lista di prelievo per questi pezzi riposta il numero e la tipologia di pezzi necessari in base alla configurazione della macchina. Gli operatori del magazzino riforniscono la linea di questi pezzi utilizzando delle scatole che riempiono con tutti i pezzi necessari e portano alla cella di lavorazione, dove è presente uno spazio dedicato.

Quando vengono portati alle celle di lavoro tutti questi componenti, in concomitanza viene portato il carrello kit cavi, allocato nella zona predisposta all'interno della cella. (Figura 56)

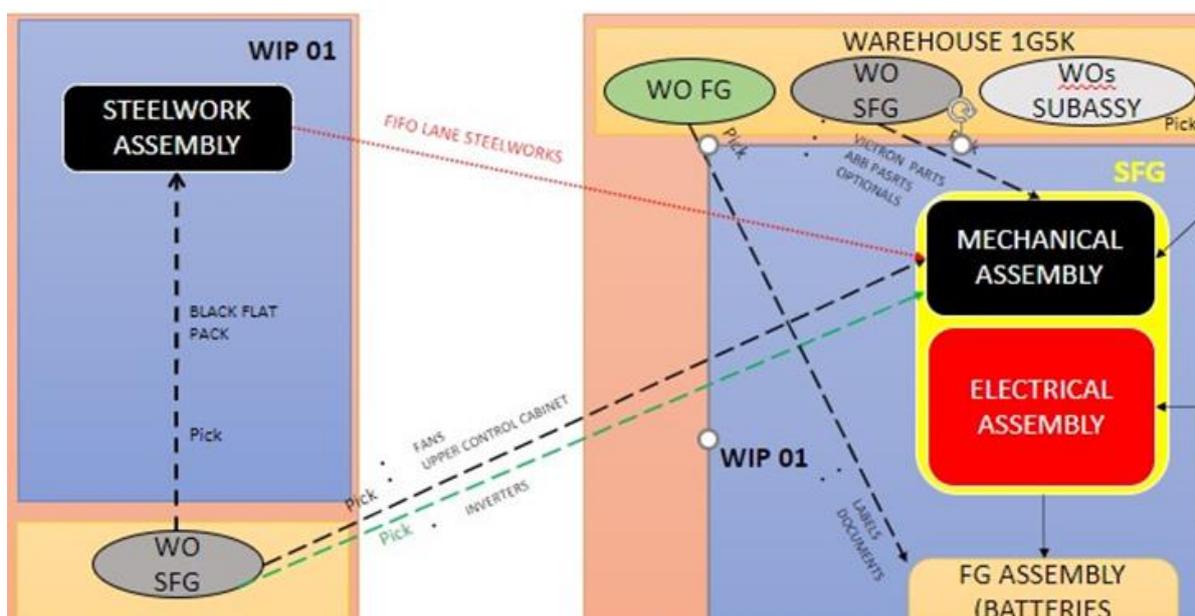


Figura 97 - Particolare flusso materiali "Semi-finished good"

L'ordine di lavoro della macchina finita, chiamata "*finished good*", racchiude al suo interno le liste di prelievo di tutta la cofanatura esterna, degli adesivi e dei documenti della macchina. Questa divisione degli ordini di lavoro è stata adoperata per ovviare al problema di eventuali ritardi nelle lavorazioni o per la disdetta di ordini. La personalizzazione che i clienti richiedono più di frequente è la colorazione dei pannelli esterni della cofanatura. (le aziende "rental" richiedono la brandizzazione dei prodotti per il riconoscimento del loro marchio) Pertanto, spesso le cofanature vengono verniciate con colori personalizzati, così come gli adesivi sono fatti su misura. Per evitare di dover annullare e rifare l'intero ordine di lavoro per l'unità, è stato deciso di dividere l'arrivo alle celle di produzione dei materiali personalizzabili esternamente, e metterli in un ordine di lavoro separato. In questo modo, se per caso ci fosse una disdetta su un ordine, potrebbe essere utilizzata la "*semi-finished good*" già pronta (insieme al pacco batterie) semplicemente creando un nuovo ordine di lavoro solo per la pannellatura esterna, gli adesivi ed i documenti.

La cofanatura esterna viene portata alle celle di lavorazione su strutture apposite, chiamate "*stillages*" (Figura 83), tramite transpallet elettrici. Ogni "*stillage*" ha la propria area dove essere riposto all'interno della cella di lavorazione, ed una area dedicata agli "*stillages*" già pronti in attesa di assegnazione della cella vicino all'area di stoccaggio dei rack batteria. (Figura 42) Gli adesivi ed i documenti vengono consegnati insieme alla cofanatura in una apposita busta, riposta all'interno del pannello frontale della macchina.

L'ultimo ordine di lavoro riguarda il pacco batteria. Correlata all'ordine di lavoro, viene creata una lista di prelievo con il numero di batterie necessario alla specifica macchina. Tutte le singole celle vengono portate alla zona predisposta all'accoppiamento del pacco batterie in contemporanea, in quanto è necessario tenere traccia dei numeri di matricola delle batterie per poter essere sicuri della loro calibrazione eseguita dal fornitore. La fornitura delle nuove batterie assicura il perfetto bilanciamento delle celle energetiche che appartengono allo stesso "*batch*". Una batteria potrà quindi essere utilizzata solo insieme a batterie provenienti dallo stesso container di consegna. Per poter assicurare il corretto bilanciamento delle batterie interne ad una singola macchina è necessario tenere traccia dei numeri seriali delle batterie, e portarle alla linea essendo sicuri che non vengano mescolate con batterie presenti in un altro ordine di lavoro. Per ovviare a questo problema, le batterie vengono caricate sui "*rack*", appositamente creati per contenerle, direttamente nel magazzino della *unit 5*. Queste strutture sono stoccate in un'area apposita del magazzino, vengono prelevate e riempite con le batterie presenti nell'ordine di prelievo. È stato fatto un investimento per rimodernare il magazzino, con scaffalature su misura appositamente progettate per contenere le celle batterie. Queste nuove strutture riescono a contenere un grande numero di batterie, occupando

una superficie contenuta del magazzino. Il loro sviluppo in altezza rende infatti possibile sfruttare la cubatura della Unit 5 e massimizzare il coefficiente di sfruttamento volumetrico (volume totale del magazzino / volume utilizzato per lo stoccaggio). Le batterie sono stoccate all'interno di contenitori appositi da 20 unità (quantità utilizzata per una unità BESS LX) disposte verticalmente. Il prelievo delle batterie avviene in maniera manuale, tramite l'ausilio di carrelli commissionatori. Questa nuova scaffalatura è frutto di una collaborazione fra PRAMAC e ROSSS, azienda italiana leader nel settore dello stoccaggio industriale. L'intera struttura, costituita dal rack riempito con tutte le batterie necessarie, viene poi portata tramite un carrello all' *unit 3&4*, nell'area dedicata al suo stoccaggio (Figura 65), in attesa di essere trasportata, tramite transpallet manuale, alla cella assegnata. Il kit cavi specifico per il collegamento delle batterie viene consegnato all'interno di un contenitore direttamente nella "battery pack area", e prelevato dall'operatore insieme al rack.

Nel caso in cui rimanessero delle batterie alla fine di un *batch* e non fosse possibile chiudere una macchina utilizzandole, è stata adibita vicino all'area di stoccaggio dei rack batteria una zona di calibrazione. In questo modo, le batterie appartenenti a diversi batch vengono calibrate (anche se il processo risulta molto dispendioso in termini di tempo, quindi adatto ad usi saltuari) e possono essere utilizzate e montate su una unità.

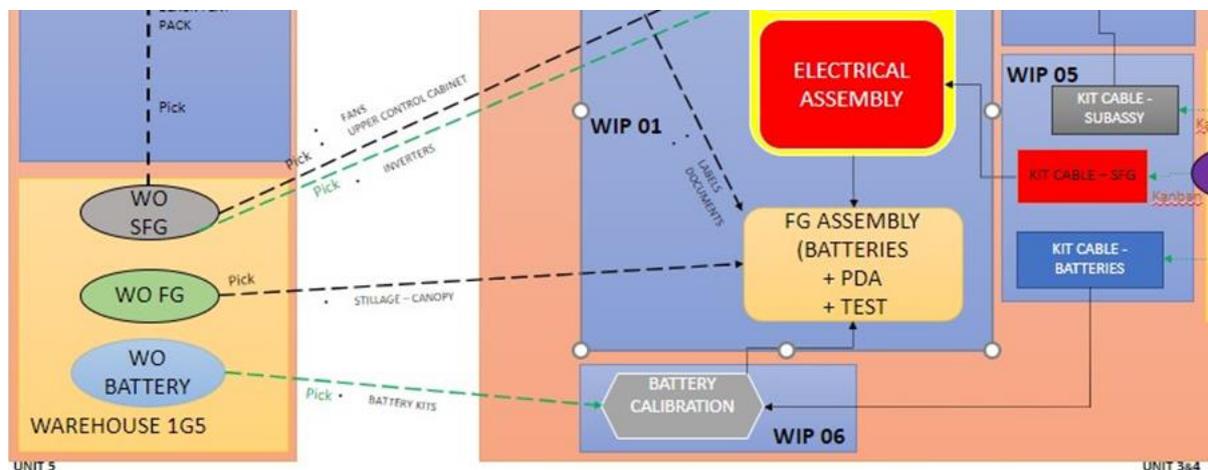


Figura 98 - Particolare flusso dei materiali di batterie e cofanatura

Una volta che tutti gli ordini di prelievo sono stati evasi, i materiali per la creazione dell'unità BESS si troveranno tutti a disposizione della cella di lavorazione, e la macchina verrà completamente assemblata. Una volta terminata, questa viene trasportata tramite un muletto alla *unit 6*, pronta per la spedizione.

La logica *Kanban* rimane in uso solo per la minuteria e le materie prime a basso costo. Questa modifica delle logiche di rifornimento delle linee deriva dalla volontà di controllare maggiormente il capitale immobilizzato e ridurlo il più possibile, puntando ad avere una produzione “*Just in Time*”. La logica *kanban* precedentemente utilizzata era stata infatti implementata non correttamente, e non controllata nei suoi fondamentali quali le dimensioni dei buffer *kanban* ed il controllo dei pezzi lavorati a disposizione della linea principale. Uno dei principali problemi derivava dalla modifica degli ordini da parte dei clienti che poteva essere richiesta anche dopo che i subassemblati ed i cavi erano già stati lavorati e riposti nei contenitori *kanban*. Con la nuova logica, la produzione viene completamente mossa dal cliente e ci si avvicina il più possibile ad una logica “*Pull*”, con produzione “*just in time*” per ridurre i “*muda*”, perfettamente in linea con la filosofia della *Lean Production*.

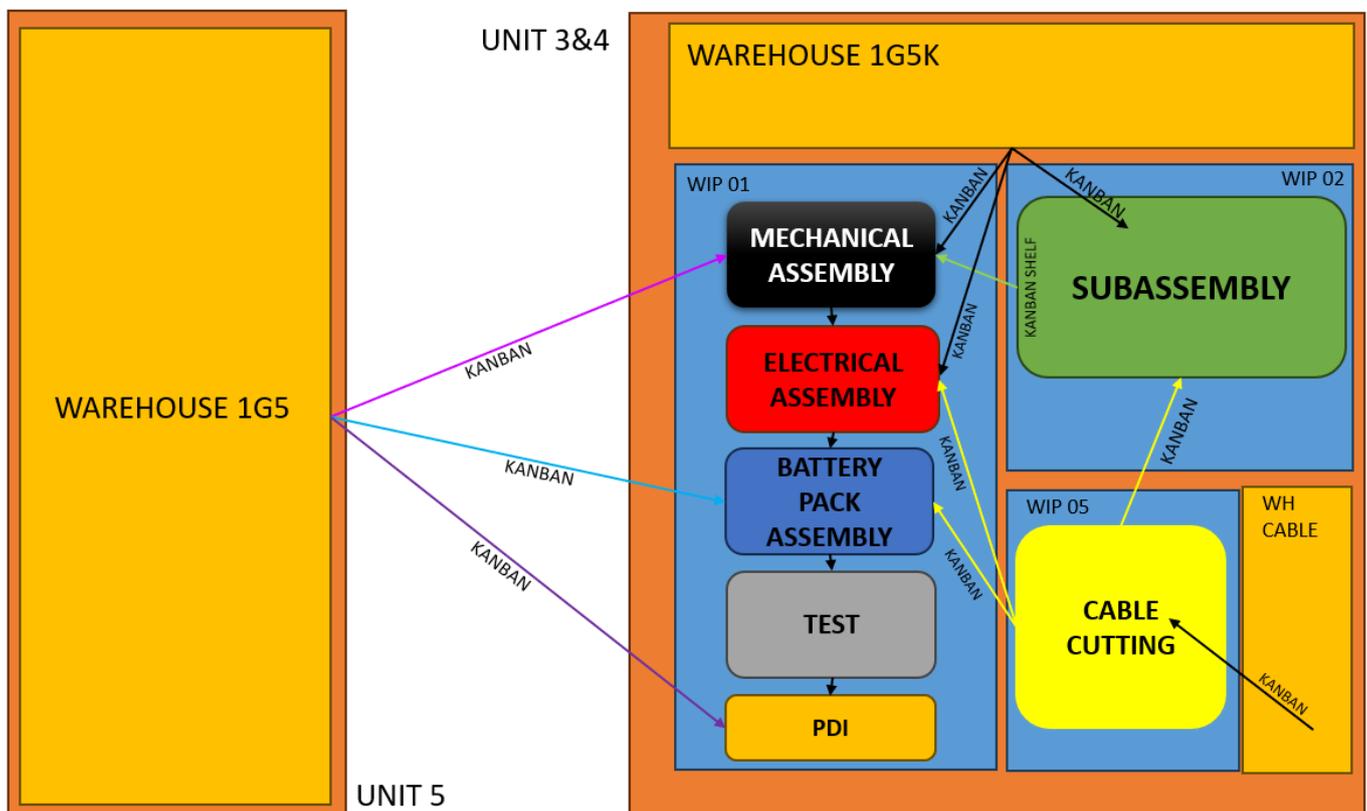


Figura 99 - Flusso materiali "as is"

## 6.3 - Logistica esterna

La logistica inerente ai fornitori è stata studiata in maniera approfondita durante la fase di progettazione dell'unità. È stato eseguito da parte dell'ufficio acquisti uno studio sui fornitori più idonei (in termini di costo e di lead time), cercando di bilanciare la spesa relativa all'acquisto della materia prima, la qualità costruttiva ed il costo dei trasporti.

In particolare, il rifornimento di materie prime avviene secondo tre modalità differenti:

- Tutti i materiali provenienti dalla Gran Bretagna vengono consegnati tramite autoarticolato (via gomma).
- Per tutti i fornitori esterni all'isola, il trasporto avviene via nave per tenere i costi moderati.
- Nel caso in cui ci siano ordini con elevata urgenza, viene richiesto un trasporto eccezionale via aerea.

Per quanto riguarda le cadenze degli ordini, con ogni fornitore è stata concordata una ciclicità delle consegne che spaziano dalla giornaliera (per pezzi di piccole dimensioni spediti dall'UK) alla quadrimestrale (per pezzi importati da paesi distanti, come le nuove batterie provenienti dalla Cina in container da migliaia di unità). La possibilità di avere consegne con un *lead time* così elevato è possibile grazie all'ampio spazio di immagazzinamento presente nel magazzino, grazie al sistema di stoccaggio descritto nel paragrafo precedente.

Presso l'ingresso della *Unit 5* è presente una banchina che permette di scaricare le UDC direttamente sulla superficie del magazzino, per uno smistamento nelle locazioni specifiche del materiale più rapido. Allo stesso modo, è presente una baia di carico nella *unit 6*, dove i prodotti finiti possono essere caricati sugli autoarticolati. Allo stesso modo della logistica in entrata, la logistica del prodotto finito è gestita via terra per quanto riguarda gli ordini dall'UK (autoarticolati), e via mare per tutti gli ordini standard dal resto del mondo.

Grazie al controllo che si riesce ad effettuare con il sistema ERP Oracle, quando un cliente pianifica un ordine con l'ufficio vendite, è possibile dargli una data di consegna del prodotto discretamente precisa solo controllando le schede di pianificazione e conoscendo il tipo di macchina richiesta (le macchine personalizzate hanno tempi di lavorazione specifici). L'ufficio pianificazione, in base ai tempi di processo calcolati e monitorati dall'ufficio lean, riesce ad individuare la data in

cui la macchina sarà terminata e pronta alla consegna, ed in base al *lead time* esegue una previsione sulla plausibile data di consegna al cliente.

## Conclusione

Questo progetto di industrializzazione della nuova serie BESS è frutto di una stretta collaborazione fra tutti gli uffici coinvolti (ufficio acquisti, ufficio tecnico, ufficio prevenzione e protezione, ufficio pianificazione, ufficio IT ed ufficio lean) sia per quanto riguarda la sua ideazione (effettuata nella sede italiana del gruppo), sia per la sua messa in pratica (presso la sede inglese di Rugby). Il costante scambio di informazioni fra tutti i membri del *team* di sviluppo ha reso possibile una totale condivisione di idee, risultata fondamentale per delineare un processo completo ed efficiente. Fin dall'inizio del progetto, è stata enfatizzata l'attenzione per il "design for manufacturing" fortemente voluto dalla dirigenza. Il nuovo prodotto è stato appositamente studiato per:

- avere una *supply chain* modulare, con la possibilità di cambiare fornitura per un determinato componente in tempi il più brevi possibili. In questo modo la reattività dell'azienda ad un mercato sempre più veloce ed imprevedibile rende il prodotto sempre competitivo.
- avere un processo di assemblaggio preciso e standardizzato, per riuscire ad abbassare i costi e migliorare l'efficienza della produzione. Requisito fondamentale per competere in un mercato in espansione, dove l'elevata domanda attrae sempre più *competitors*.
- soddisfare i requisiti del mercato ed i clienti, puntando a conquistare anche le porzioni di mercato che i vecchi modelli non erano riusciti ad impattare adeguatamente, aumentando le vendite ed i ricavi

Ogni singola modifica e miglioramento effettuate sul vecchio modello, preso come base di partenza per lo sviluppo, sono state correlate ad una modifica nel processo. È stato stanziato un budget per la modifica dell'impianto produttivo, dando la possibilità di implementare nuovi macchinari e nuove stazioni di lavoro. La necessità di migliorare gli ambienti produttivi è legata sia alla volontà di ridurre il *tackt time*, sia all'implementazione delle logiche Lean all'interno di uno stabilimento acquisito dal gruppo e non ancora rimodernato nei processi e nella cultura aziendale.

Da questi presupposte nasce la volontà di implementare questo nuovo prodotto nello stabilimento di Rugby. L'azienda assorbita da Pramac nel 2021 è stata infatti la prima a sviluppare un prodotto

come il BESS, diventando leader nel settore per il periodo in cui ha operato (proprio nel suddetto stabilimento). Purtroppo, la *supply chain* e l'organizzazione della produzione precedentemente utilizzate erano dimensionati per numeri notevolmente minori a quelli che Pramac prevedeva di ottenere, rendendo necessaria una profonda modifica di tutto il sistema di lavoro. L'acquisizione strategica compiuta da Pramac ha mirato ad assicurarsi il *know-how* posseduto dai lavoratori ed una posizione dominante in un mercato emergente. Nella pianificazione a lungo termine dell'azienda, queste prerogative sono fondamentali per il consolidamento del *business*, ed unite alla standardizzazione dei processi ed al controllo che una grande azienda come Pramac può portare, possono essere gli ingredienti perfetti per un investimento remunerativo.

Una volta delineato un processo produttivo provvisorio, è stato necessario creare i flussi di materiale, dimensionandoli in base ai magazzini disponibili ed ai sistemi di movimentazione più idonei. Anche in questo caso è stato stanziato un budget per le modifiche ai magazzini, grazie al quale è stato possibile aumentare lo spazio di stoccaggio e diminuire le spese di consegna di determinate merci, acquistando lotti più numerosi e sfruttando le economie di scala. Per la movimentazione dei carichi è stato cercato di utilizzare, dove possibile, prodotti Pramac che permettessero di spostare il materiale manualmente, ricorrendo ai muletti solo dove strettamente necessario. La richiesta dell'ufficio PP (prevenzione e protezione) è stata circoscrivere gli spostamenti effettuati con muletti solo ai flussi di materiali fra diverse unità (dai magazzini alla produzione e viceversa), senza creare ambienti promiscui.

Ogni movimentazione di materiale effettuata fisicamente deve essere tracciata sul sistema informativo aziendale, rendendo necessaria una collaborazione fra l'ufficio Lean e l'ufficio IT (information technology) per lo sviluppo delle nuove funzioni Oracle per la gestione dei flussi. L'elemento fondamentale che ha reso possibile correlare le esigenze della pianificazione e della produzione è stata la nuova distinta base. Tramite uno studio minuzioso nella creazione della BOM, è stato possibile sfruttare al massimo le funzioni Oracle e modellare la struttura della macchina (intesa come raggruppamento di diversi pezzi) su misura per il processo produttivo. Questa agisce infatti da collante fra la parte informatizzata e la parte fisica della produzione, e si adatta in maniera puntuale a tutte le principali necessità di ogni reparto (*finance* per la possibilità di scaricare le ore di tutti i differenti reparti, *planning* per la corretta gestione dei materiali, *manufacturing* per le procedure di montaggio più adatte, IT per la completa compatibilità con il sistema informatizzato aziendale).

Durante tutta la durata dell'implementazione del nuovo processo, le modifiche apportate in corso d'opera sono state numerosissime, riguardanti qualsiasi argomento. Ogni minima modifica nel design portava la necessità di modificare leggermente le lavorazioni, e di conseguenza di aggiornare le liste degli utensili da comprare per una determinata postazione di lavoro, aggiornare i documenti CAD per le procedure di montaggio e così via. Ogni modifica apportata ha creato a cascata altri cambiamenti in diverse aree del processo. Ogni decisione presa ha dovuto essere il più possibile studiata e ponderata, per avere la sicurezza che non andasse ad intaccare i delicati equilibri sviluppati fra richieste della dirigenza e migliorie implementate.

L'azienda ha deciso di intraprendere questo processo di rimodulazione del layout delle aree di produzione e dei flussi dei materiali in occasione del lancio della nuova linea, approfittando dell'opportunità che la nuova unità, sviluppata con una strategia di "Design for manufacturing", proponeva nel rimodernare i processi produttivi. È quindi stato sfruttato il nuovo prodotto per migliorare e modificare il processo, implementare il nuovo sistema di rifornimento di materie prime (implementato con grande successo durante un progetto pilota negli stabilimenti di Casole d'Elsa e Murcia) e perfezionare tutte le procedure Lean per l'eliminazione degli sprechi. Il punto di partenza è stato il prodotto, utilizzato come punto di partenza e pietra di volta per andare ad armonizzare fra loro tutte le componenti dell'intero sistema produttivo.

Questa tesi presenta come la modifica di un prodotto possa influenzare profondamente il processo produttivo, e tutti gli elementi ad esso correlato. Le migliorie apportate alle nuove macchine hanno reso possibile un rimodernamento dell'impianto produttivo, ridisegnando il layout e migliorando macchinari e postazioni di lavoro. Hanno inoltre reso possibile un miglioramento della logistica interna ed esterna allo stabilimento, con particolare attenzione alla sicurezza dei lavoratori. È stata implementata la filosofia Lean all'interno del processo produttivo, cercando il miglioramento continuo e la diminuzione degli sprechi, mentre è stata modificata la *supply chain*, rendendola più reattiva alle variazioni dei prezzi nel mercato delle materie prime.

Certo, l'avvento della nuova linea è stata un'opportunità che la dirigenza ha colto per iniziare un processo di rinnovo dell'impianto produttivo che sarebbe stato comunque necessario, ma sfruttare la possibilità di apportare le modifiche in maniera mirata e modellare tutto lo stabilimento sul nuovo processo è stato sicuramente un valore aggiunto al lancio della nuova unità, come progetto a lungo termine per il futuro.

Attualmente la nuova linea è in produzione all'interno dello stabilimento di Rugby, dopo la creazione di diversi prototipi presso lo stabilimento italiano di Pavia. L'unità è stata ufficialmente

presentata all'Intersolar di Monaco (fiera del settore dell'energia solare), ed ha iniziato ad attirare l'attenzione del mercato, ricevendo già diversi ordini per novembre 2023. La produzione ufficiale partirà da ottobre 2023, riuscendo a consegnare le prime unità entro l'inizio del mese successivo. Tutto il processo produttivo verrà monitorato dall'ufficio lean durante i primi mesi di operatività del nuovo layout e del nuovo sistema logistico interno, ricercando possibili migliorie ed apportando altre modifiche se risulteranno necessarie. Questo periodo di supervisione approfondita avrà fine a gennaio 2024, quando sarà pronto all'implementazione un nuovo progetto inerente all'inizio della produzione della linea BESS anche nello stabilimento di Foshan, in Cina.

## Bibliografia

- ATTOLICO, L. (2012) *Innovazione lean; Strategie per valorizzare persone, PRODOTTI E Processi*. HOEPLI.
- Chiarini, A. (2016) *Lean Organisation for excellence: Hoshin Kanri, Value Stream Accounting, Lean Metrics, Strumenti toyota production system E lean agile scrum*. Milano: FrancoAngeli.
- Harvey, S. (2020) *Kaizen. The Experiment*.
- Roser, C. and Shook, J. (2021) *All about pull production: Designing, implementing and maintaining Kanban, CONWIP, and other pull systems in lean production*. Offenbach, Deutschland: All About Lean.com Publishing.
- WOMACK, J.P. (2008) *Lean thinking: Come Creare Valore E Bandire Gli sprechi*. S.l.: GUERINI E ASSOCIATI.

## Sitografia

Sito ufficiale Pramac (no date) *Categories*. Available at:  
[https://www.pramac.com/it\\_IT/categories?folder=349](https://www.pramac.com/it_IT/categories?folder=349) (Accessed: 2023).

## Indice degli acronimi

BESS = Battery energy storage system  
BOM = Bill of materials  
IT = Information technology  
PP = Prevenzione e protezione  
UDC = Unità di carico  
UK = United Kingdome  
ERP = Enterprise resource planning  
MRP = Material requirements planning  
WIP = Work in progress  
WMS = Warehouse management system  
VSM = Value stream map  
TPS = Toyota production system

LFP = Lithium iron Phosphate

NMC = Nichel manganese cobalt

OEE = Overall equipment effectiveness

SMED = single minute exchange of die

JIT = Just in time

PDI = Pre-dispatch inspection

CAD = Computer-aided design

## **Indice dei termini stranieri**

Lean production = Produzione snella

Supply chain = Catena di fornitura

Manufacturing = Produzione

Finance = Finanze

Tackt time = Tempo ciclo

Planning = Pianificazione

Batch = Lotto

Team = Squadra

Unit = Unità

Stillage = Contenitore metallico

Bulk = Di consumo

Rack = Struttura

Finished good = Prodotto finito

Semi-finished good = Prodotto semi-finito

Steelwork = Scheletro metallico

Work order = Ordine di lavoro

Pick order = Ordine di prelievo

Picking list = Lista di prelievo

Shortages = Difezioni

Raw materials = Materiale grezzo

Phantom = Articolo fantasma

Compliance = Conformità e standardizzazione

Operations = Sezione operativa

Refilling = Riempimento

Sorting = Divisione

Vendor item = Oggetto di vendita

Picking = Prelievo

As is = Allo stato attuale

Wiring area = Area di cablaggio

Cut wiring area = Area di taglio cavi

Battery pack area = Area di creazione del pacco batteria

Subassembly = Subassemblato

Bottleneck = Collo di bottiglia

Item = Oggetto

Throughput = Flusso di uscita della produzione

Shadowboard = Contenitore sagomato per attrezzi

Lack of information = Mancanza di informazioni

## Ringraziamenti

*“Il senso della ricerca sta nel cammino fatto e non nella meta. Il senso del viaggiare è il viaggiare stesso e non l’arrivare.”*

Tiziano Terzani

Desidero ringraziare chiunque mi abbia accompagnato e supportato in questo viaggio, durante il quale ho fatto esperienze ed amicizie che porterò sempre insieme a me per il resto dei miei giorni.

Non ringrazierò mai abbastanza la mia famiglia, che mi ha aiutato e supportato in ogni possibile maniera durante questi (e non solo) anni di studio. Spero che questo traguardo possa renderli fieri, almeno come una piccola parte di quanto io sia fiero di loro.

Un particolare ringraziamento va a Renata, che fin da quando ero piccolo mi ha fatto sentire amato e speciale, cercando sempre di tirare fuori il meglio da me e spronarmi ad essere una persona migliore. Grazie nonna per avermi donato la tua tempra, senza di te tutto questo non sarebbe stato possibile. Sei sempre stata e sempre resterai per me un esempio di come nei momenti più bui si debba essere forti e non arrendersi mai.

Ringrazio i miei amici di sempre, per essere stati al mio fianco ed avermi fatto ridere e divertire in questi anni, facendomi vivere i momenti di spensieratezza necessari per staccare la spina nei periodi di riposo. Siete e sarete sempre le persone che voglio vicino a me, perché la vostra compagnia mi fa stare bene e mi rende una persona migliore. Ringrazio il mio più caro amico, che mi accompagna da anni ed anni e con il quale ci siamo sostenuti a vicenda nei momenti più bui, ma anche goduti insieme i momenti migliori di questi anni universitari, sempre spalla a spalla nonostante le diverse direzioni che hanno preso i nostri percorsi.

Ringrazio la mia compagna di avventure, che in questi cinque anni ha condiviso con me tanti momenti e tanti luoghi. Abbiamo vicendevolmente reso il nostro percorso più bello e degno di essere sempre ricordato, aiutandoci a crescere ed imparare. Crederò sempre in te, come ho sempre fatto fin dal primo momento. Spero che in futuro tu possa trovare tutta la felicità e la serenità che ti meriti, e ricordati sempre che sei una persona speciale.

Grazie a tutti i miei compagni di corso e di lavoro, colleghi ma prima di tutto amici, che mi hanno accompagnato in questo viaggio, condividendo tante esperienze e tante soddisfazioni. Grazie a

Francesco, che mi ha accolto e fatto sentire a casa nei momenti più delicati lontani dalla mia città. Mi hai insegnato e guidato molto nel tempo passato a lavorare assieme. Spero di poter imparare e condividere ancora tanto con te e tutti i colleghi ed amici nell'ufficio di Casole.

Grazie alla professoressa Grimaldi per il suo supporto ed il suo aiuto durante la stesura di questa tesi, con grande pazienza e disponibilità mi ha guidato durante tutto il processo di ideazione e scrittura dell'elaborato, oltre ad essere stata estremamente interessante e formativa durante le sue lezioni.

Un ringraziamento speciale va, infine, ai miei miei genitori, che sono stati coloro i quali hanno sempre creduto in me fin dall'inizio. Chi lo avrebbe mai detto? Eppure, oggi sta succedendo, ed è in buona parte anche merito vostro. Spero di aver ripagato la vostra fiducia e di dimostrarvi quanto mi ritenga fortunato ad avervi.

Grazie a tutti per lo splendido viaggio, il primo passo di qualcosa di più

*“Un viaggio di mille miglia deve cominciare con un solo passo.”*

Lao Tzu