

**ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA**

---

**SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA**

DIPARTIMENTO di IMPIANTI INDUSTRIALI

*CORSO DI LAUREA MAGISTRALE in INGEGNERIA GESTIONALE*

**TESI DI LAUREA MAGISTRALE**

in

Sistemi di Produzione Avanzati M

**La sostenibilità nei processi produttivi:**

**lo strumento della Sustainable Value Stream Mapping**

CANDIDATO:

Alberto Abate

RELATORE:

Prof.ssa Cristina Mora

Anno Accademico 2017/18

Sessione III

# Indice

Introduzione .....	1
1. Lean Manufacturing .....	4
1.1. Le origini .....	4
1.2. Lean production: Concetti base, principi e strumenti.....	7
2. Value Stream Mapping – (VSM) .....	13
2.1. Creazione della Value Stream Mapping.....	14
2.2. Icone della Value Stream Mapping.....	20
3. Green Manufacturing .....	21
3.1. Introduzione.....	21
3.2. Le origini .....	22
3.3. Green Manufacturing: Concetti base e principi.....	23
3.4. Strumenti ed elementi.....	25
4. Lean & Green .....	29
4.1. Differenze tra Lean e Green .....	30
4.2. Integrazione tra Lean e Green .....	30
5. Sustainable Value Stream Mapping .....	32
5.1. Introduzione.....	32
5.2. Stato dell'arte.....	35
5.2.1. Analisi Bibliografica .....	35
5.3. Sustainable Value Stream Mapping – (Sus-VSM).....	49
5.3.1. Metriche per valutare la sostenibilità produttiva .....	49
5.3.1.1. Environmental metrics.....	51
5.3.1.2. Societal metrics .....	53
5.4. Studi post-Sus-VSM.....	57
5.4.1. Studio n°1 .....	57
5.4.2. Studio n°2.....	60
5.4.2.1. Formulazioni matematiche .....	61

5.4.2.2. L'ideal-typical re-utilization cycle e la VSM.....	65
5.4.3. Studio n°3.....	67
5.4.3.1. Il metodo .....	68
5.4.3.2. Applicazione del metodo.....	70
5.4.4. Studio n°4.....	74
5.4.4.1. Il PDCA per lo sviluppo della E-VSM.....	75
6. Sostenibilità in ottica Supply Chain .....	85
6.1. La Supply Chain Sustainable Value Stream Mapping – SC Sus-VSM .....	85
6.1.1. Parametri della SC Sus-VSM.....	85
6.1.1.1. Parametri ambientali .....	86
6.1.1.2. Parametri sociali .....	88
6.1.2. Costruzione Current-state.....	92
6.1.3. Implementazione Future-state .....	94
6.1.4. Proposta migliorativa .....	94
7. Proposta integrativa alla Sustainable Value Stream Mapping .....	96
7.1. Problematica del modulo Physical Load Index (PLI) .....	96
7.2. Proposta migliorativa: introduzione del NIOSH FORM.....	98
7.2.1. Il metodo Niosh .....	98
7.2.2. Il NIOSH FORM .....	102
7.2.3. Vantaggi e differenze.....	104
Conclusioni.....	108
Acronimi.....	112
Sitografia .....	114
Bibliografia.....	115
Ringraziamenti .....	119

## Introduzione

Già da qualche anno si è diffusa sempre più la consapevolezza che lo sfruttamento delle risorse naturali presenti sulla terra, per svolgere e sostenere tutte le frenetiche attività dell'uomo, sta avendo risvolti negativi sul nostro pianeta, stravolgendo gli eco-sistemi, uccidendo specie animali e cambiando il clima in modo permanente, andare avanti di questo passo porterà le generazioni future a sopravvivere in un mondo martoriato.

A questo proposito, è interessante considerare l'*Earth Overshoot Day*, la data in cui la richiesta annuale di risorse alla natura da parte dell'uomo supera quella che gli ecosistemi del Pianeta Terra riescono a rigenerare nell'arco dell'anno. Per il 2018 le risorse rigenerabili sono terminate l'1° di agosto.

Partendo da questo quadro non incoraggiante, è necessario sottolineare come il problema di dominio pubblico ha spinto una pleora sempre maggiore di persone, a vari livelli sociali, ha sensibilizzarsi verso la questione.

Infatti, da qualche anno i governi di tutto il mondo hanno iniziato ad affrontare il tema con tenacia e convinzione, facendo diventare di uso quotidiano una parola semplice, che oggi ha assunto un'importanza notevole, sostenibilità.

L'obiettivo che è stato prefissato oggi e che sarà nelle mani della nostra generazione è quello di promuovere e implementare, in modo sempre più deciso, uno sviluppo economico sostenibile, definito già nel Rapporto Brundtland nel 1987 come: *"lo sviluppo che risponde alle necessità del presente, senza compromettere la capacità delle generazioni future di soddisfare le proprie necessità."*

A livello ambientale, tra le attività umane che hanno un maggiore impatto ci sono le industrie. Nel 2005, in Italia, le attività produttive hanno generato l'80% delle emissioni di inquinanti ad effetto serra, il 90% delle emissioni che sono all'origine del fenomeno dell'acidificazione e più del 60% delle emissioni di gas responsabili della formazione dell'ozono troposferico [dati ISTAT], percentuali che negli ultimi 10 anni per fortuna sono crollate drasticamente: COVNM -40% (Composti Organici Volatili Non Metanici come il benzene), SOx -92% (Ossidi di Zolfo), NOx -74% (Ossido di Ozono), PM 2,5 -65% (Particolato atmosferico)[dati ANTER 2018]. Una tendenza positiva e continua dovuta a fattori macroeconomici (delocalizzazione, chiusura di vecchi stabilimenti, automazione), a normative più stringenti ma anche a scelte *green* operate dal settore in un'ottica di efficienza energetica, sostenibilità ambientale e, perché no, risparmio.

L'obiettivo odierno che hanno le imprese moderne, infatti, è quello di riuscire a sviluppare congiuntamente una produzione eco-compatibile, per i motivi sopradescritti, ma allo stesso tempo sostenibile e migliorativa in termini economici.

Rivedere i sistemi rodati da anni di studi e applicazioni può essere un'occasione unica in mano ai tanti imprenditori, che si prodigano alla ricerca dell'efficienza per ottenere risparmi economici.

Nasce in quest'ultimi anni, dalla necessità di raggiungere questi obiettivi, uno strumento la *Sustainable Value Stream Mapping*.

La *Sustainable Value Stream Mapping*, che intrinsecamente contiene principi presi dalle due filosofie produttive più conosciute degli ultimi 50 anni, la *Lean Manufacturing* e la *Green Manufacturing*, è uno strumento che si prefigge l'obiettivo di aiutare la valutazione di sostenibilità di un processo, con il duplice focus ambientale ed economico.

Infatti, quando si parla di sostenibilità all'interno di un plant lo si intende a 360°, dagli aspetti ambientali, a quelli economici fino ad arrivare a quelli sociali legati alle persone.

L'obiettivo della mia tesi è quello di riportare l'analisi dei principali studi presenti in letteratura su questo strumento, evidenziando gli approcci e i parametri considerati, caso per caso.

Si potrà osservare come lo sviluppo di questo *tool* non ha seguito un filone di pensiero unico, ma piuttosto è stato costituito da tante applicazioni ad hoc dello strumento classico della Lean Production, la Value Stream Mapping.

In particolar modo, mi sono soffermato ad analizzare il modello della *Sustainable Value Stream Mapping* (Sus-VSM) sviluppato da William Faulkner e Fazleena Badurdeen, che credo rappresenti l'apice degli studi esaminati, per completezza di parametri utilizzati, applicabilità e risultati ottenuti.

La mia ricerca mi ha portato anche a studiare estensioni della Sus-VSM con focus non soltanto sul singolo plant produttivo ma sull'intera *supply chain*, una vera rivoluzione.

Infine, proprio a partire dalla Sus-VSM, ho proposto una mia personale implementazione migliorativa, dei parametri sociali che mirano alla valutazione della sicurezza sul lavoro, applicando le mie conoscenze in ambito ergonomico apprese durante la mia formazione universitaria.

La struttura della tesi è la seguente: nella prima parte sarà possibile trovare un rapido excursus sui principi, gli strumenti della *Lean Manufacturing* e della *Green Manufacturing*, inoltre verranno messe a confronto queste due filosofie cercando di evidenziare le principali differenze e affinità. Nella seconda parte, inizia l'analisi della letteratura sulla *Sustainable*

*Value Stream Mapping*, in cui verranno riportati i primi studi effettuati sul tema. Si arriverà quindi alla presentazione della Sus-VSM e degli studi sviluppati proprio a partire da questa. Nella terza parte, sarà possibile trovare l'estensione della Sus-VSM a livello di *supply chain*, infine, nell'ultima parte verranno descritte le mie idee migliorative e le conclusioni tratte da quest'analisi.

Oggi uno strumento come la *Sustainable Value Stream Mapping* non è ancora tanto conosciuto né utilizzato, in particolar modo in Italia, dove non esiste neanche in letteratura. Tuttavia, credo che in futuro sempre più persone si avvicineranno a un tool importante come questo, perché sarà sempre più necessario cercare una produzione a ridotto impatto ambientale, se vogliamo davvero salvaguardare il nostro pianeta.

# 1. Lean Manufacturing

*“Il pensiero snello aiuta a definire precisamente il valore dei singoli prodotti, a identificare il flusso di valore per ciascun prodotto, a far sì che questo flusso scorra senza interruzioni e il cliente “tiri” il valore dal produttore e a perseguire, infine, la perfezione.”*

Da “Lean Thinking” di James P. Womack e Daniel T. Jones.

## 1.1. Le origini

La genesi di quella che oggi viene riconosciuta come la filosofia produttiva per eccellenza, la *Lean Manufacturing* [P. Womack, T. Jones, 1996], deve essere ricercata agli inizi del XX secolo.

I primi anni del ‘900 furono scenario della seconda rivoluzione industriale, che vide la nascita di grandi innovazioni tecnologiche come le metropolitane, lunghe tratte ferroviarie, la nascita del telefono e tante altre che ancora oggi caratterizzano le nostre vite.

All’interno di questo contesto di grandi cambiamenti, trovò terreno fertile l’idea di Henry Ford di una nuova visione del mercato, una visione di massa che antepose l’offerta alla domanda.

Ciò che voleva realizzare l’imprenditore statunitense, all’interno degli stabilimenti della sua Ford Motor Company, era la produzione di auto con caratteristiche tecnologiche e commerciali in grado di poter essere riprodotte e vendute in grandi quantità.

Questo semplice concetto divenne il modello di riferimento più adottato tra le realtà industriali dell’epoca.

Ciò che contraddistingueva la produzione di massa è l’industrializzazione, ossia l’ottimizzazione dei processi produttivi mediante il raggiungimento della massima efficienza caratterizzata dalla standardizzazione delle attività e dei prodotti realizzati.

Questo tipo di processo non considerava minimamente l’importanza del capitale umano dal momento che l’organizzazione interna era caratterizzata da una forte rigidità a fronte di una visione di eccellenza globale che non teneva conto di tutti quegli aspetti legati alla qualità, al prezzo e al servizio al cliente.

Per anni, grazie alla costante espansione dei mercati in cui regnava la regola *“if you make it, you can sell it”* [Henry Ford], non era mai stato percepito il limite all’idea introdotta da Ford e così l’occidente trainava i mercati e la produttività risultava spinta al massimo.

Tuttavia, allo stesso tempo in quel periodo, anche dall'altra parte del mondo si producevano auto, in particolare in Giappone, dove Toyota fino alla metà del '900 tentò di competere con i colossi automobilistici Americani senza successo.

Basti sapere che alla fine degli anni '40 la Toyota Motor Company aveva prodotto complessivamente nei trent'anni della sua attività industriale un numero di vetture che non raggiungeva neppure la metà di quelle realizzate in un solo giorno dallo stabilimento Ford di Rouge: 2685 contro 7000. E ancora, nel 1950 gli 11706 autoveicoli, per la maggior parte autocarri che costituivano l'intera produzione di Toyota, dovevano scontrarsi con i 4 milioni di vetture prodotte dalla General Motors o alle oltre 2 milioni di Ford. [www.sole24.com]

Così, in quei anni, si diffuse sempre di più l'idea che la produzione di massa, fosse l'unica soluzione possibile per competere sul mercato.

Tuttavia, una grave cecità stava colpendo molti imprenditori dell'epoca.

Infatti, già in quegli anni alcune domande sorgevano spontanee: in un periodo di crescita limitata questo sistema sarebbe risultato ancora vincente? E poi, era realmente possibile che “per fare il lavoro di un americano servissero nove giapponesi?” [Taiichi Ohno,1987]

Furono le risposte a queste domande che spinsero Taiichi Ohno a pensare a un rivoluzionario sistema produttivo, il cosiddetto *TPS o Toyota Production System* [Taiichi Ohno, 1987], che si basava su un differente concetto di creazione del valore.

Il TPS divenne il fattore di successo che sostenne Toyota e le imprese giapponesi negli anni della decrescita mondiale e che negli anni novanta rese la loro produttività superiore del 40% rispetto quelle occidentali.

In realtà il TPS, più che un sistema produttivo, rappresentava un nuovo modo di pensare e di competere, una filosofia di produzione focalizzata sulla soddisfazione personalizzata del singolo cliente attraverso la differenziazione dei prodotti, l'eliminazione di sprechi e di inefficienze, la capacità e il coinvolgimento delle persone, l'efficienza e la flessibilità degli impianti.

Il grande successo che riscontrò e che riscontra ancora oggi questo nuovo modello, nasce dalla turbolenza che caratterizza il moderno contesto competitivo; le imprese, trovandosi di fronte a clienti sempre più esigenti e preparati, alla ricerca di prodotti nuovi, differenziati, funzionali ed “attraenti”, non potevano più permettersi di lavorare in maniera rigida e statica, come invece proponeva Henry Ford.

Le imprese, per sopravvivere, iniziarono ad assumere un assetto snello e dinamico per poter interagire con i cambiamenti del mercato e che gli permettesse di reagire tempestivamente alle continue fluttuazioni della domanda.

In particolare, erano due le spinte competitive fondamentali dello scenario industriale moderno:

1. **Massimizzazione dell'efficienza**, per ottenere una significativa riduzione del costo del prodotto, dal suo concepimento al suo declino (*life cycle cost*).
2. **Massimizzazione dell'efficacia**, declinata come riduzione dei tempi di consegna e aumento della flessibilità nei confronti del consumatore.

L'evoluzione dello scenario competitivo cambiò radicalmente.

Infatti, la *Toyota Production System*, imponeva che i cambiamenti non riguardassero soltanto le modalità produttive e direzionali, ma anche aspetti organizzativi e gli orientamenti strategici delle imprese; si imponeva dunque il superamento degli interventi locali di ottimizzazione, improntati esclusivamente alla riduzione delle spese di produzione: la leadership di costo, secondo il modello di Porter, non era più sufficiente e, per competere, occorreva agire a 360 gradi attraverso la revisione dell'intero processo logistico-produttivo. [Porter, M. 1980]

Era necessario perseguire un equilibrio dinamico tra differenti prestazioni frutto del miglioramento ottenuto in ambiti diversi come la qualità, il servizio, la flessibilità e la capacità innovativa.

Ma per far questo, occorreva guardare al di là del ciclo di trasformazione ed “imparare a vedere” gli sprechi altrove: nei trasferimenti, nelle movimentazioni, nelle sovrapproduzioni e nelle scorte, nei controlli, nei difetti, nelle attese e nelle riparazioni, con la consapevolezza che in media l'80% delle attività di un processo sia a non valore aggiunto, il 15% sia spreco e solo il 5% sia a valore [Stalk, G. & Hout, T. M., 1990].

È bene precisare che i moderni termini “*Lean Production, Lean Thinking*” furono conati dagli studiosi James P. Womack e Daniel T. Jones nel loro libro “*The machine that changed the world*”, in cui confrontarono i sistemi di produzione dei principali produttori statunitensi ed europei di automobili con la giapponese Toyota, rilevando la netta superiorità di quest'ultima rispetto a tutti gli altri.

La *Lean Production* si basa sui concetti appena visti adottati dal sistema di produzione della Toyota (o Toyota Production System – TPS) e rappresenta l'evoluzione del sistema di produzione di massa, nonché il modello produttivo più adottato ancora oggi grazie alla filosofia del *Lean Thinking* e del “*learning to see*” che rappresentano proprio la soluzione all'obiettivo congiunto di efficienza ed efficacia, la risposta all'esigenza di garantire servizio e qualità in tempi e costi contenuti, in un contesto dinamico e variabile come quello del mercato moderno. [www.makeitlean.it]

## 1.2. Lean production: Concetti base, principi e strumenti

Per un'analisi più completa, all'interno del mio elaborato presenterò un excursus schematico delle nozioni più rappresentative e descrittive della *Lean Production*, che un'azienda deve seguire per rientrare all'interno della categoria *Lean Company* [James P. Womack, Daniel T. Jones, 1991]

Per comprendere affondo che cosa s'intenda con il termine *Lean Production* è necessario partire dai concetti fondamentali, elaborati da Taiichi Ohno, alla base del Toyota Production System che permise all'azienda giapponese di primeggiare nel mercato delle automobili:

**1) Attenzione al cliente.** Il cliente diventa il centro dell'universo "azienda" che ruota tutto intorno a lui, è il punto di partenza e di arrivo di tutte le attività ed azioni svolte nel trasferire, attraverso i propri prodotti e servizi, il valore che il cliente si attende. Il cliente non è solo quello che riceve il prodotto o il servizio finito, ma viene creata anche la figura del cliente "interno" che è ugualmente importante. Il flusso di informazioni parte dal cliente fino ad arrivare alla ricerca e sviluppo: il dialogo con il cliente è fondamentale per identificare i fabbisogni e definire il valore.

**2) Il contributo delle persone.** "Saper fare azienda", o saper fare bene le cose (Monozukuri), è possibile solo partendo dalla capacità di gestire le persone (Hitozukuri): lo sviluppo e il sostegno della competitività aziendale, con l'ottenimento di risultati significativi e duraturi, è possibile solamente con il continuo e costante allineamento del *management* e di tutte le persone che lavorano nell'azienda verso un obiettivo comune.

**3) Lotta agli sprechi.** MUDA è il termine giapponese che può essere tradotto come spreco. I MUDA consistono in tutte le attività, che impegnano risorse ed energie, che non aggiungono valore al prodotto o al servizio e non danno quindi valore al cliente. Riconoscere gli sprechi è fondamentale per l'applicazione del *Lean thinking*.

Taiichi Ohno, sviluppatore del Toyota Production System, individuò e classificò gli sprechi in 7 categorie:

1. Sovrapproduzione, madre di tutti gli sprechi; produrre più del necessario (o senza la presenza di un ordine) infatti significa generare...
2. Scorte, che come detto comportano dei costi ed occupano...
3. Spazi a cui sono legati proporzionalmente i...
4. Trasporti di materiale e le...

5. Movimentazioni delle persone che a loro volta generano...
6. Tempi di attesa; scorte elevate infine aumentano i livelli di...
7. Scarti e rilavorazioni a seguito di danneggiamenti o modifiche.



Figura 1: i 7 tipi di sprechi produttivi (MUDA)

**4) Miglioramento continuo.** KAIZEN in giapponese significa miglioramento continuo: nessun processo è perfetto ma può essere sempre migliorato. Tutto il personale dell'azienda, top management, dirigenti, responsabili, fino agli operatori, deve partecipare al processo di miglioramento condividendo obiettivi comuni e definiti. [www.produzioneagile.it]

A partire da questi concetti fondamentali i due autori Womack e Jones, dopo aver ideato il concetto di *Lean Manufacturing* sulla base del modello di Toyota, nel libro "*Lean Thinking*" cercarono di individuare i principi, metodi e tecniche che un'azienda doveva adottare per sposare pienamente la logica della produzione snella e riuscire nel "fare sempre di più con sempre meno", mirando a ridurre sistematicamente gli sprechi e ad aumentare il valore percepito dal cliente.

I principi su cui si fonda ancora oggi sono:

**1) Identify the value:** Il punto di partenza della caccia allo spreco è l'identificazione di ciò che vale. Il consumo di risorse è giustificato solo per produrre valore altrimenti è spreco (MUDA).

Bisogna tentare di definire con precisione il valore in termini di prodotti specifici con caratteristiche specifiche, offerte a prezzi specifici attraverso un dialogo con clienti specifici.

In altre parole, il valore viene definito dal cliente ed assume significato solamente se espresso in termini di un prodotto/servizio in grado di soddisfare le sue esigenze ad un dato prezzo ed in un dato momento.

**2) *Map the value stream:*** Per eliminare gli sprechi occorre “mappare” il flusso dell’intera gamma di attività necessarie per trasformare le materie prime in prodotto finito.

L'analisi del flusso di valore mette sempre in evidenza grandi quantità di spreco attraverso la classificazione delle attività in tre categorie:

- Attività che creano valore (tutte quelle il cui costo può essere trasferito al cliente).
- Attività che non creano valore ma necessarie (non sono eliminabili con gli attuali sistemi di sviluppo prodotto, gestione ordini e produzione).
- Attività che non creano valore e non necessarie (possono quindi essere eliminate da subito).

**3) *Create the flow:*** Definito con precisione il valore (primo principio), identificato il flusso di valore per un dato prodotto o famiglia di prodotti ed averlo ricostruito eliminando le attività inutili attraverso la mappatura dei flussi (secondo principio), bisogna fare sì che le restanti attività creatrici di valore formino un flusso (terzo principio).

Il pensiero snello rovescia il tradizionale modo di ragionare attraverso "lotti", "funzioni" e "uffici". Infatti, i compiti possono quasi sempre essere eseguiti in modo più efficace se il prodotto viene lavorato ininterrottamente dalla materia prima al prodotto finito.

Il flusso continuo in produzione si raggiunge soprattutto attraverso interventi radicali, che permettono di trasformare in breve tempo le attività produttive necessarie per fabbricare un prodotto da un sistema a lotti e code ad un flusso continuo.

**4) *Establish pull:*** Quando l'azienda ha definito il valore (per il cliente), ha identificato il flusso di valore, ha eliminato gli ostacoli e quindi gli sprechi per fare sì che il flusso scorra senza interruzioni, allora è giunto il momento di permettere ai clienti di tirare il processo (cioè il flusso di valore). In definitiva i clienti "tirano il valore dall'impresa".

Cosa vuol dire? Vuol dire acquisire la capacità di progettare, programmare e realizzare solo quello che il cliente vuole nel momento in cui lo vuole.

**5) *Seek perfection:*** Questo ultimo principio può sembrare presuntuoso e va quindi interpretato nel senso di miglioramento continuo (KAIZEN).

Infatti, se si sono applicati correttamente i primi quattro principi si creano sinergie impensabili che mettono in moto un processo continuo di riduzione dei tempi, degli spazi, dei costi.

L'applicazione dei principi Lean deve essere sistematica e continua per giungere a continui miglioramenti. In questo senso il quinto principio deve essere da sprone per l'incessante applicazione dei principi Lean e risultare ogni volta quale un nuovo punto di partenza. Una volta finito si deve ricominciare per fare emergere nuovi sprechi ed eliminarli

I principi della *Lean Production* divennero così, nel corso degli anni, il fulcro per lo sviluppo di numerosi strumenti in grado di implementare un processo produttivo con sprechi nulli, scorte minimizzate, capace di rispondere alle richieste del cliente in tempi ridotti. Gli strumenti più utilizzati e conosciuti sono:

**Just in Time:** modello gestionale pensato affinché la produzione industriale venga avviata solo nel momento in cui si manifesta la domanda nei volumi esatti richiesti. Con riferimento alla gestione delle scorte, l'obiettivo è minimizzare gli sprechi che possono verificarsi nei rapporti di fornitura attraverso l'acquisto di beni e materiali in base alla domanda del mercato; il non anticipare la produzione e, dunque, non accumulare scorte si riflette soprattutto in una considerevole riduzione dei costi. La gestione delle scorte *just in time* richiede, tuttavia, un alto livello di coordinazione nell'intera supply chain, dal momento che le forniture vengono consegnate solo quando sono necessarie per alimentare il processo produttivo.

**Kanban:** il sistema Kanban è una delle tecniche più importanti per attuare il Just-in-time. Si articola in un sistema di cartellini, che permettono di condividere, sia internamente all'azienda che con i fornitori direttamente, il livello di scorte, in modo da attuare automaticamente, solo quando vi è una richiesta, la fornitura della materia prima.

**Poka-yoke:** termine giapponese che letteralmente si traduce in "a prova di scimmia", che identifica uno strumento o una procedura a prova d'errore, che previene la creazione di difetti nel processo di gestione ordini o in quello produttivo. Questo strumento deve essere in grado di rendere difficile e improbabile l'errore anche da parte di personale non particolarmente accorto. I sistemi poka – yoke possono essere applicati in diversi ambiti aziendali.

**5 S:** con la sigla "5S" si identificano i 5 passi necessari per organizzare e standardizzare il posto di lavoro che, in lingua giapponese, iniziano tutti con la lettera "s":

1. Seiri, significa distinguere e separare le attrezzature, i materiali e le istruzioni necessarie da quelli non necessari. Il processo termina con l'eliminazione di questi ultimi.
2. Seiton, vuol dire disporre accuratamente le attrezzature e le parti dopo averli identificati; questa attività ne facilitano ovviamente anche l'uso.
3. Seiso, significa pulire accuratamente ed estensivamente.

4. Seiketsu, richiama l'idea di dover eseguire le prime 3 fasi ad intervalli frequenti e ben definiti.

5. Shitsuke, significa crearsi l'abitudine di eseguire sempre le prime 4 S.

**5 Perché:** i 5 Perché (5 Whys, dall'inglese), è una tecnica d'interrogazione che viene utilizzata per esplorare la relazione di causa ed effetto che si nascondono dietro a un problema particolare. Lo scopo primario di questa tecnica è di determinare la causa d'origine del difetto del problema grazie alla ripetizione del quesito "Perché?". Il numero 5 indica il numero di volte che, normalmente, sono necessarie per risolvere il problema

**Layout razionalizzato:** progettare il layout dei reparti produttivi in modo che le singole attività in sequenza possano essere armoniche e ottimizzate e fare in modo che fornitori e i clienti interni siano a portata di vista e di mano per poter interagire facilmente.

**Heijunka:** termine giapponese che indica il livellamento della produzione. Questa tecnica ha l'obiettivo di imporre un ritmo di produzione a monte costante, mantenendolo tale anche per le operazioni a valle. Tramite un piccolo inventario di prodotto finito alla fine del processo produttivo, può essere livellata la domanda per l'intera produzione e anche per i fornitori, rendendo così più efficace utilizzo delle risorse lungo l'intero flusso di valore soddisfacendo al contempo i requisiti del cliente (evitare il *bullwhip effect* – effetto colpo di frusta) [Hau Lee, 1992].

**Total Productive Maintenance:** è un approccio globale al sistema manutentivo che tende a massimizzare la capacità produttiva degli impianti, rispettando un corretto equilibrio fra costi di manutenzione ed efficienza globale degli impianti produttivi. La sua implementazione diventa necessaria ed essenziale nelle aziende *capital intensive* [Peter L. King, 2009] per garantire la massima efficienza produttiva, attraverso lo sviluppo delle politiche di manutenzione preventiva e migliorativa a scapito della manutenzione correttiva/a guasto.

**Takt time:** strumento strategicamente molto utile perché permette di calcolare il ritmo della produzione e avere una corretta pianificazione, per fare sì che le stazioni produttive siano sincronizzate e garantire che il flusso produttivo sia continuo e bilanciato nella realizzazione di una determinata commessa. Per calcolare il takt time occorre definire l'orizzonte temporale nel quale si vuole calcolare, il volume di vendita previsto nel periodo precedentemente stabilito e il tempo lavorativo a disposizione, al netto delle pause programmate.

**Cellular manufacturing:** strategia organizzativa rivolta a massimizzare il valore aggiunto e a ridurre al minimo gli sprechi, organizzando la produzione in celle contenenti le macchine e le attrezzature per permettere tutti i processi manuali e automatizzati necessari alla produzione di un componente o dell'intero prodotto.

**Kaizen:** rappresenta uno dei tratti caratteristici della *Lean Production*. Si tratta di correzioni che devono essere fatte continuamente per migliorare il processo produttivo o il prodotto stesso. Il concetto di Kaizen è differente da quello di innovazione, poiché quest'ultima richiede uno sforzo in termini di tempo ed energia molto maggiori [G. Graziadei, 2005].

**Riduzione dei lotti:** l'obiettivo della produzione snella è il lotto da 1 pezzo, cioè il famoso "one-piece flow". Se questo non fosse appropriato o possibile, occorre ridurre il più possibile il volume del lotto.

**SMED:** sono procedure standardizzate che permettano un attrezzaggio veloce dei macchinari in modo da riuscire a produrre anche lotti di prodotto molto piccoli.

Infine, l'ultimo mezzo utilizzato per attuare i principi della *Lean Production* e quindi ottimizzare i processi è la Value Stream mapping (VSM), che probabilmente rappresenta, per la sua facilità di utilizzo insieme alla sua grande efficacia, lo strumento Lean più utilizzato.

Ai fini del mio elaborato, presenterò le caratteristiche della VSM in modo più dettagliato rispetto ai precedenti metodi, dal momento che la *Sustainable Value Stream Mapping*, oggetto della mia tesi, nasce proprio come diretta estensione di quella che mi appresto a descrivere. Inoltre, le modalità di utilizzo e di redazione delle *Value Stream Mapping* sono le stesse sia nella versione "classica" che per quella sostenibile.

## 2. Value Stream Mapping – (VSM)

*“Value stream mapping is a pencil and paper tool that helps you to see and understand the flow of material and information as a product makes its way through the value stream”*  
[M.Rother, J.Shook, 1998]

Partendo direttamente dalle parole dei due autori del libro *Learning to See – Value stream mapping*, si comprende fin da subito la grande praticità della VSM, quello di essere uno strumento grafico, che necessita soltanto di un foglio di carta e una matita per essere realizzato. Il fatto di essere “grafico” non è una caratteristica banale.

Infatti, è noto che la vista è il senso più utilizzato dall’uomo per raccogliere informazioni e questo gli consente di vedere in modo molto veloce e immediato problematiche significative, senza dover effettuare alcun calcolo e soprattutto a costo zero.

L’obiettivo della *Value Stream Mapping* è quello di tracciare il processo produttivo, di un prodotto o di una famiglia di prodotti, dalla consegna della materia prima da parte del fornitore alla spedizione finale al cliente, cercando di garantire un flusso tirato da valle e verificando che la catena del valore non sia intaccata da inefficienze, sprechi e in generale problematiche che ne comprometterebbero l’efficienza.

La creazione della *Value Stream Mapping* viene effettuata da un’analista incaricato che, con un foglio bianco in mano e una matita, ripercorre, dall’inizio alla fine, tutto il percorso che il prodotto interessato effettua all’interno del processo produttivo, in modo da:

- Rappresentare il layout: flussi fisici e flussi informativi dell’azienda allo stato attuale in modo da trovare le cause dello spreco all’interno dei flussi;
- Riprogettare tali flussi in un possibile stato futuro che elimini gli sprechi e permetta prestazioni elevate.

Quanto definito sopra deve essere fatto ricordando le finalità di questo strumento, ovvero:

- Non focalizzarsi sul singolo processo ma sul flusso.
- Trovare le cause dello spreco all’interno del flusso.
- Rendere il flusso comprensibile a tutto il personale.
- Visualizzare gli aspetti che hanno reso più efficiente il processo.
- Implementare un sistema di *Lean Manufacturing*.

## 2.1. Creazione della Value Stream Mapping

La realizzazione della Value Stream Mapping è una operazione che si articola in più fasi:

		Assembly Steps & Equipment							
		1	2	3	4	5	6	7	8
PRODUCTS	A	X	X	X		X	X		
	B	X	X	X	X	X	X		
	C	X	X	X		X	X	X	
	D		X	X	X			X	X
	E		X	X	X			X	X
	F	X		X		X	X	X	
	G	X		X		X	X	X	

Figura 2: Creazione famiglie di prodotto

**1) Selecting a product family** - “Your customer care about their specific products, not all your products.” Il primo step per la realizzazione della VSM è la selezione della famiglia di prodotto per la quale interessa conoscere il *Value Stream*. La selezione è molto importante per garantire una buona efficacia della stesura. Infatti, non è necessario tracciare il flusso di tutti i prodotti

realizzati, si rischierebbe di avere una mappatura non chiara a causa della mole di informazioni che bisognerebbe annotare. È necessario considerare quella gamma di prodotti maggiormente importanti per il mio cliente e sul quale c’è anche la possibilità di un guadagno maggiore. Per contesti particolarmente complessi è possibile ricorrere a matrici Prodotto-Attrezzatura, per individuare quali prodotti costituiscono una famiglia.

### 2) The value stream Manager – “Who is responsible for the Value stream?”

A questa seconda fase, spesso, non viene data l’importanza che meriterebbe, liquidandola assegnando l’incarico a uno dei responsabili di uno dei processi della catena produttiva.

È noto come la produzione si articoli in molti processi, diretti da persone diverse, che con ogni probabilità si spendono maggiormente per l’efficientamento del proprio, piuttosto che sulla realizzazione globale. Per questo è

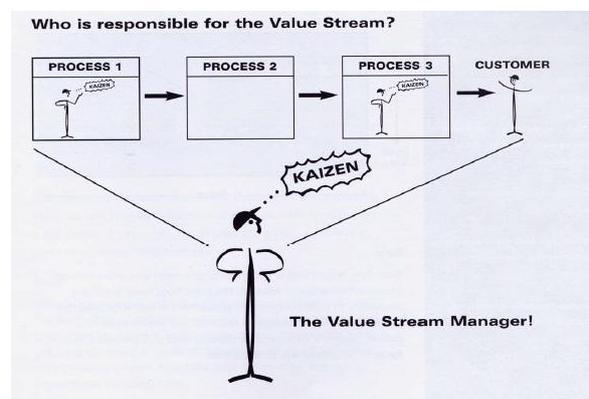


Figura 3: Il VSM Manager

necessario assegnare la responsabilità del flusso del valore a un Manager della Value Stream “esterno” che non abbia particolari coinvolgimenti verso un preciso processo, ma in modo che il proprio interesse non si focalizzi sul singolo processo ma sul flusso totale. Il responsabile della Value Stream è anche l’incaricato della sua stesura, che segue alcune regole generali:

1. Raccogliere le informazioni camminando all’interno del processo produttivo;

2. Prima camminata veloce per avere il quadro del processo e poi raccogliere le informazioni;
3. Partire dal processo produttivo a valle e risalire a monte;
4. Raccogliere personalmente i tempi (cronometro);
5. Mappare l'intero flusso da solo;
6. Mappare con carta e penna.

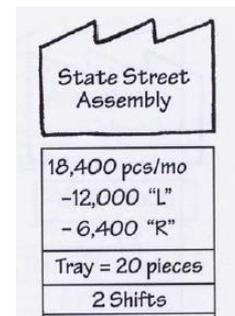


Figura 4: Il data box

**3) Drawing the current state map** – “Developing a future state begins with an analysis of the current production situation”. Il *Current State Map* – CSM, rappresenta l'insieme dei processi ed attività che concorrono alla realizzazione della famiglia di prodotti scelta, dal fornitore al cliente finale, passando per ogni processo interno aziendale. Il CSM, il cui focus principale sono i tempi e le scorte, deve essere considerata come una *snap-shot* [M. Braglia, G. Carmignani & F. Zammori, 2011] della *supply chain*, grazie alla quale è possibile conoscere la situazione del sistema produttivo e che quindi consente di stabilire i collegamenti esistenti tra le aree clienti, fornitori, processi produttivi, programmazione della produzione e supervisione dell'intero sistema aziendale e perciò, potrà essere la base per una possibile implementazione di future modifiche.

Nella rappresentazione grafica si posiziona il cliente nella parte del disegno in alto a destra mentre nella parte in alto a sinistra il fornitore o i fornitori; vengono rappresentati il flusso di produzione, che scorrere da sinistra verso destra, mentre il flusso informativo segue il percorso contrario.

Ogni attività di lavorazione dell'output, sarà caratterizzata da un “data box” contenente informazioni sensibili (Cycle time, Ut-Up time, C/O changeover, N°turni, N°operatori) all'analisi della *supply chain* e fra una lavorazione e l'altra è presente il numero di scorte che si accumulano. La mappatura del flusso delle informazioni permette la definizione della *Time Line* sotto forma di linea tracciata nella parte inferiore dello schema. Quest'ultima registra la durata di ogni operazione sotto i *process box* e allo stesso modo sotto le icone dei triangoli, riportanti il numero delle scorte, registra quanto tempo può coprire quello stock di pezzi. All'interno di questa linea del tempo sono riportati:

- *Total Lead Time*, nella linea spezzata superiore; ovvero il *lead time through the process*, il tempo di processamento totale, cioè il tempo in cui la materia prima entra nel sistema, ed esce trasformata come prodotto finito;
- *Value Added Time*, nella linea spezzata inferiore; cioè il tempo a valore di processamento.

Il confronto tra questi due tempi permette di identificare quanto tempo è effettivamente occupato da attività a valore e quanto risulta essere invece tempo “inutile”, rispetto al tempo totale di processamento della famiglia di prodotti.

Nella (quasi) totalità dei casi, il tempo non a valore è maggiore rispetto a quello a valore, perché molte di queste operazioni sono necessarie per la gestione aziendale e non possono essere rimosse.

I valori di tempo inseriti nella CSM sono tipicamente raccolti dall’analista/mappatore durante una serie (indicativamente di 2 ÷ 5) di visite in stabilimento e con l’eventuale ausilio di interviste al personale di produzione.

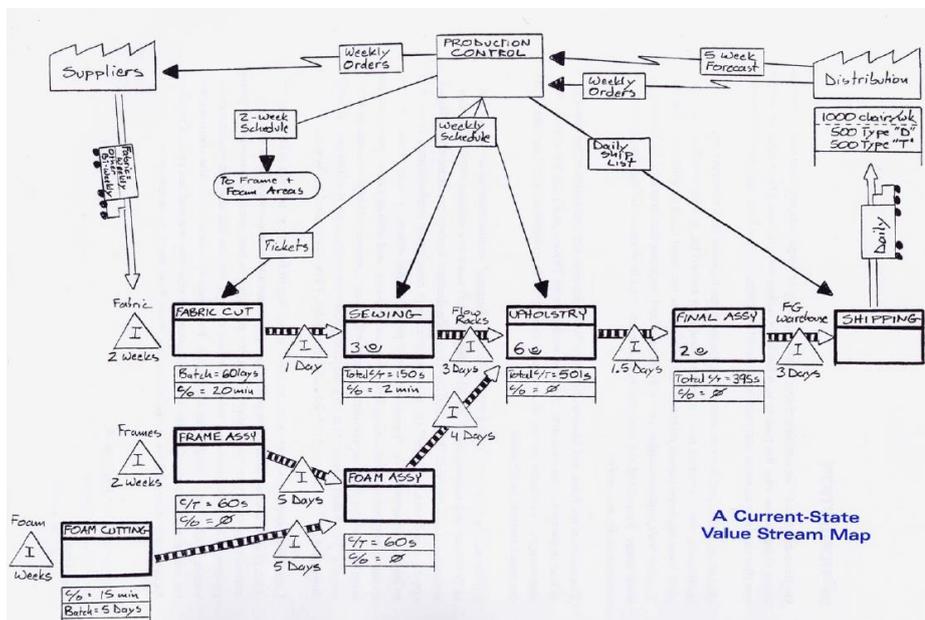


Figura 5: Il current state della VSM

**4) Drawing the future-state map-** “The goal is to build a chain of production where the individual processes are linked to their customer(s) either by continuous flow or pull, and each process gets as close as possible to producing only what its customer(s) need when they need it.

La creazione dello stato futuro è un processo che si articola in due fasi. In una prima fase si studia le inefficienze della CSM cercando di capire dove agire per migliorare l’intero processo.

In un secondo momento, si attuano determinate tecniche migliorative come:

**1- Calcolare il Takt Time (TT)** e produrre secondo tale ritmo. Viene calcolato il TT del cliente, ovvero il rapporto tra il tempo disponibile in un turno/giorno dell’azienda per

realizzare un prodotto e il numero di pezzi richiesti dal cliente. In base a tale TT si ridefiniscono le fasi produttive che devono rispettare ed essere bilanciate, per rispondere alla domanda del cliente.

**2- Inserire più fasi di lavoro possibili all'interno di un flusso continuo**, dove è possibile, nel rispetto del TT calcolato:

- minimizzare il tempo di *set-up*;
- massimizzare il tasso di disponibilità della macchina UT.

Questa azione è possibile per quelle fasi che hanno tempo di lavorazioni molto simili al *Takt time* e tempi di *set-up* ridotti. Inserire più fasi all'interno di un flusso continuo riduce i tempi morti, perché, ad esempio, i pezzi prima terminata una fase venivano stoccati in dei piccoli magazzini inter-operazionali, dove rimanevano in attesa di essere prelevati e lavorati, invece producendo secondo il TT e avendo messo le operazioni in successione tutti i pezzi subiscono le varie fasi immediatamente.

In generale, o vengono bilanciati i tempi assegnando le attività agli operatori oppure gli operatori vengono disposti in parallelo in ogni linea, dove ogni operatore si occupa di lavorare ogni fase.

**3- Inserire strumenti *pull system*** quando non è possibile instaurare il flusso continuo visto in precedenza. Infatti, in alcuni casi le fasi di lavorazione non possono essere inserite nel flusso continuo, soprattutto nei casi di operazioni con tempi di *set-up* molto elevati. La soluzione diventa quella di utilizzare alcuni sistemi pull:

- *Supermarket*: è un magazzino inter-operazionale controllato, che rappresenta un punto di disaccoppiamento in cui non obbligo i processi a valle (A) e a monte (B) ad essere bilanciati, ma il

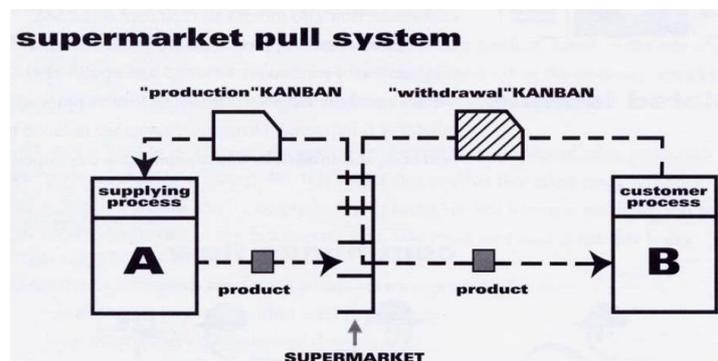


Figura 6: Il *supermarket pull system*

processo A produce solo la quantità espressa dal Kanban. Allora il processo produttivo a monte, grazie al supermarket, riesce a lavorare con i suoi tempi e contemporaneamente lavora con un ordine di produzione richiesto dal cliente.

- FIFO lane: è una corsia con capacità controllata, CONWIP che entra in gioco quando neanche il supermarket può essere utilizzato, ovvero nei seguenti casi:
  - materiali molto costosi, dove non è il caso di generare lotti di produzione;
  - prodotti con un livello di obsolescenza alto;
  - lavorazioni svolte in subfornitura.

Nella corsia FIFO si ha un flusso continuo da A a B. A ha un limite dato dalla dimensione della corsia: lavora finché non è completa la linea. In particolare, produce solo quando c'è la presenza del Kanban e finché la FIFO lane non è saturata.

**4- Individuare il processo da schedulare: *pacemaker process***, il quale non è altro che l'unico processo dell'intera catena del valore da schedulare. La velocità di processo, imposta all'attività presa come riferimento, che è anche la più vicina al cliente, sarà la velocità produttiva che dovranno avere anche tutti gli altri processi.

**5- Livellare il mix produttivo.** Ottenere (dove possibile) il livellamento massimo, chiamato *One Piece Flow*: n volte la sequenza 1A-1B-1C al giorno.

**6- Livellare il volume produttivo.** Questa fase si implementa tramite l'utilizzo dello

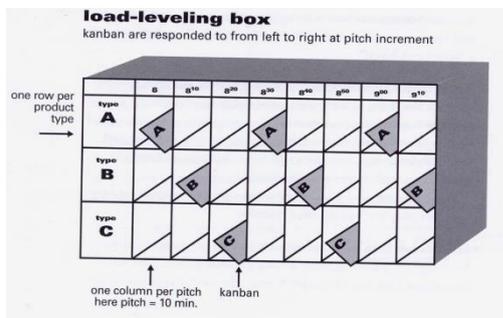


Figura 7: Il Load Levelling Box

strumento *Load Levelling Box*, una bacheca tramite cui è possibile alternare la produzione del mix produttivo in base al parametro pitch. In ascissa è riportata la linea del tempo mentre in ordinate sono riportati i contenitori (A, B, C, etc.). L'obiettivo è quello di generare delle sequenze di produzione alternando il mix in modo tale da bilanciare il volume produttivo. Il primo passaggio da fare è

calcolare il parametro Pitch, così definito:

$$Pitch = TT * CAPACITA'CONTENITORE \left[ \frac{sec}{cont} \right] = \left[ \frac{sec}{pz} \right] * \left[ \frac{pz}{cont} \right]$$
 le dimensioni sono le seguenti: Si ottiene ogni quanti secondi è necessario realizzare un contenitore. Il *load levelling box* è da posizionare a fianco del pacemaker in modo da livellare gli ordini dei clienti e a fianco del supermarket per bilanciare anche i prelievi.

**7- Produrre tutte le parti in EPED – Every Part Every Day**, ogni giorno/turno a monte del *pacemaker*. In un'ottica *Lean*, l'ottimizzazione si avrebbe producendo un lotto al giorno.

Una volta presentate e nel caso applicate le varie tecniche di efficientamento del processo, bisogna sempre ricordare che l'applicazione della VSM va sempre seguita con occhio critico e con la consapevolezza che non esiste una *Future state map* (FSM) univoca, ma si possono creare più varianti in base alle diverse modifiche e migliorie proposte.

Dopo aver rappresentato la *Future State Map* che si ritiene essere la migliore, è opportuno confrontarla con la situazione iniziale AS-IS raffigurativa della *Current State Map* per confrontare:

- 1) Il tempo di esecuzione di ogni fase di lavoro;
- 2) Il tempo che si impiega per l'ottenimento dell'output (nella *time line* ci si ferma prima della consegna del prodotto finito);
- 3) Il *lead time* complessivo;
- 4) L'indice di rotazione  $I_r$  espresso dalla seguente formula:

$$I_r \left[ \frac{\text{volte}}{\text{anno}} \right] = 240 \left[ \frac{\text{gg}}{\text{anno}} \right] LT [gg] .$$

In riferimento a quest'ultimo parametro,  $I_r$ , nella situazione TO-BE il valore deve aumentare rispetto alla condizione iniziale AS-IS, in quanto significa che il tempo di attesa si è correttamente ridotto a fronte delle modifiche proposte. Viceversa, tutti gli altri parametri di valutazione dalla situazione AS-IS alla TO-BE devono essere valori minori.

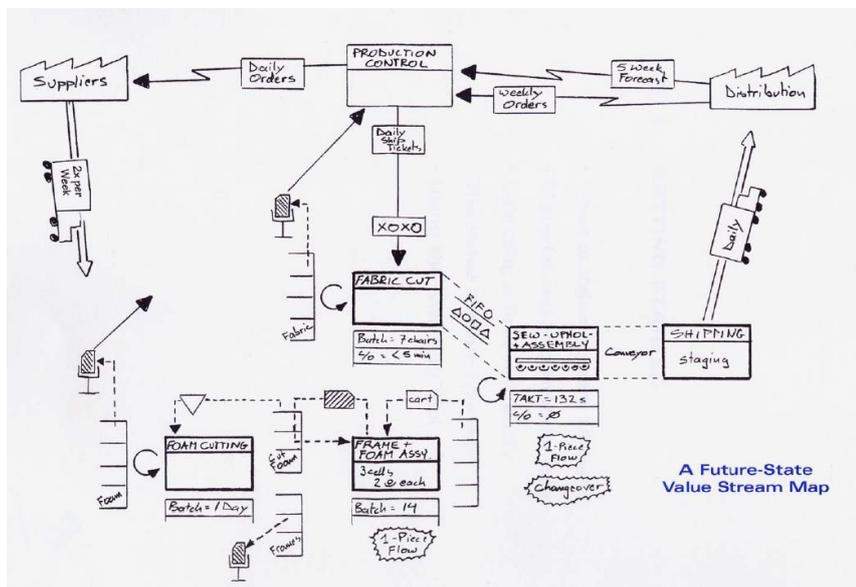


Figura 8: Il *future state* della VSM.

**5) Achieving the future-state map- “Value stream mapping is only a tool.”**

Viene definito il piano di azione: chi, come e quando, con quali risorse ed in quale ordine, si eseguono le modifiche. Dalla fase progettuale, si arriva all’attuazione del piano di lavoro che si propone di realizzare fisicamente i cambiamenti programmati nella realtà produttiva.

**2.2. Icone della Value Stream Mapping**

Essendo la VSM uno strumento grafico possiede una simbologia specifica, che come visto nella CSM e nella FSM, è caratterizzata da icone, ognuna delle quali, rappresentano una particolare parte del processo produttivo o una delle tecniche descritte:

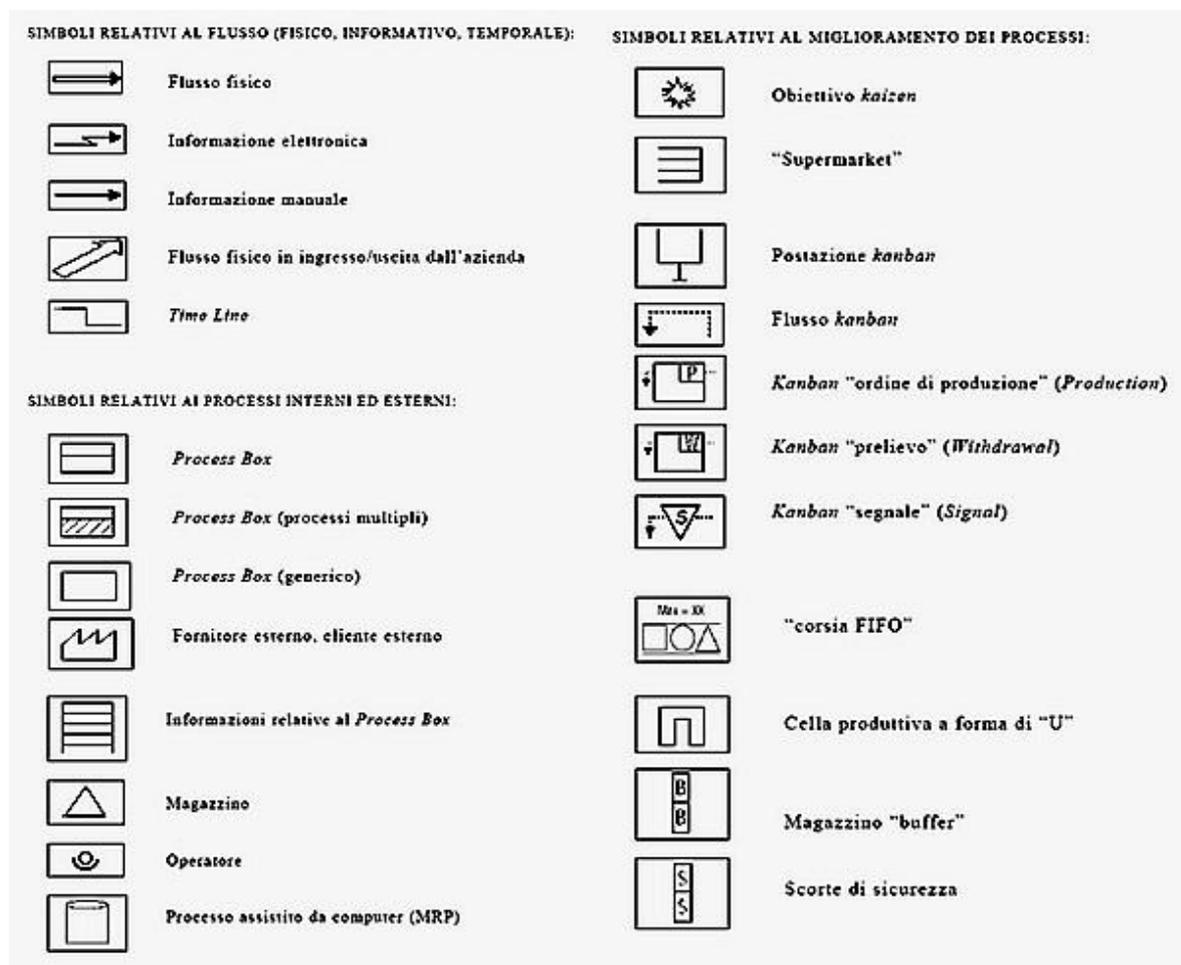


Figura 9: Icone della VSM

[[www.leanmanufacturing.it/strumenti/valuestreammapping.html](http://www.leanmanufacturing.it/strumenti/valuestreammapping.html)]

## 3. Green Manufacturing

### 3.1. Introduzione

Gli anni 90' segnarono, la diffusione della *Lean Manufacturing* come modello organizzativo predominante a discapito dell'obsoleto Fordismo [Paolo Jedlowski, William Outhwaite, 1997]. Contemporaneamente, a livello globale, iniziò una sempre più diffusa presa di coscienza del rapporto uomo-ambiente. Ci si accorse che con la grande industrializzazione, l'uomo stava danneggiando irreparabilmente il pianeta, per cui andavano presi dei provvedimenti. Infatti, dal 3 al 14 giugno 1992 a Rio de Janeiro, si tenne il *Summit della Terra*, la prima conferenza mondiale dei capi di Stato sull'ambiente. Durante la conferenza, il cui nome ufficiale è *United Nations Conference on Environment and Development* (UNCED), ci si interrogò per la prima volta nella storia sul rapporto tra una produzione sfrenata, seppur ottimizzata e l'ambiente. I temi principali trattati furono:

- l'esame sistematico dei modelli di produzione – in particolare per limitare la produzione di tossine, come il piombo nel gasolio o i rifiuti velenosi;
- le risorse di energia alternativa per rimpiazzare l'abuso di combustibile fossile ritenuto responsabile del cambiamento climatico globale;
- un quadro sui sistemi di pubblico trasporto con il fine di ridurre le emissioni dei veicoli, la congestione stradale nelle grandi città e i problemi di salute causati dallo smog;
- la crescente scarsità di acqua.

Un importante risultato della conferenza fu l'accordo sui cambiamenti climatici, che alcuni anni dopo, portò alla stesura del protocollo di Kyōto. Inoltre, proprio a partire dai risultati del summit di Rio, furono implementati successivi programmi da parte delle Nazioni Unite, come:

- Commissione sullo sviluppo sostenibile;
- Programma sullo sviluppo delle Nazioni Unite;
- Programma sull'ambiente delle Nazioni Unite;
- Organizzazione di sviluppo industriale delle Nazioni Unite;
- Conferenza sul commercio e sullo sviluppo delle Nazioni Unite.

All'interno di questo contesto si evidenzia una particolare attenzione per lo sviluppo sostenibile. Ed è proprio a partire da qui, che si iniziarono a cercare con insistenza soluzioni

produttive maggiormente efficienti che rispettassero l'ambiente, soluzioni che portarono alla nascita della *Green Manufacturing*. [Jonathan Katz, 2007]

### **3.2. Le origini**

Il concetto di *Green Manufacturing* nacque in Germania a cavallo tra gli anni 80' e 90'.

I primi sviluppi di una produzione sostenibile si ebbero proprio alla fine degli anni 80', quando si iniziò a riporre particolare attenzione sugli scarti di processo.

Inizialmente, si pensò di spostare la concentrazione di sostanze dannose dei rifiuti, cercando di rilasciare le emissioni fuori dai centri abitati tramite tubi e ciminiere per allontanarle dalla popolazione.

Successivamente si adottò un approccio *Correttivo* [www.isprambiente.gov.it] poiché ci si rese conto che le emissioni erano ancora presenti, anche se non avevano più un impatto diretto sull'uomo.

Gli scarti dei processi erano meno pericolosi, ma ne venivano prodotti grandi quantità, per cui si iniziarono a trattare l'emissione ed effluenti con filtri, trattamenti chimici o combustione.

Qualche anno più tardi, ci fu un'evoluzione verso un approccio di tipo reattivo, con l'obiettivo di rendere i processi più puliti e più efficienti, ridurre il quantitativo di scarti da mandare in discarica ed eliminare l'estrazione di materie prime da fonti non rinnovabili.

Il focus si spostò radicalmente negli anni 90', quando si iniziò a ragionare più in un'ottica di prodotto, poiché si capì che i principali impatti ambientali non derivano necessariamente dalla fase produttiva.

L'approccio orientato al prodotto considerava l'intero ciclo di vita: dalla "culla alla tomba" minimizzando le risorse utilizzate, il numero di materiali potenzialmente tossici e incentivando l'uso di energia rinnovabile.

Si cominciò anche a introdurre i concetti di riciclaggio e riuso [Fischer et al. 1997].

In generale, è possibile affermare che la *Green Manufacturing*, nacque come esigenza di adeguare i propri prodotti e processi, in risposta alle leggi che furono imposte dalle nazioni in quegli anni, che cercavano di ridurre l'impatto delle attività dell'uomo sull'ambiente. [Bylinsky, G. 1995]

### 3.3. Green Manufacturing: Concetti base e principi

“Green Manufacturing is meeting the needs of the present generation without compromising the ability of future generations to meet their own needs.” [Mendler, S., Odell, W. and Lazarus, M.A. (2005)]

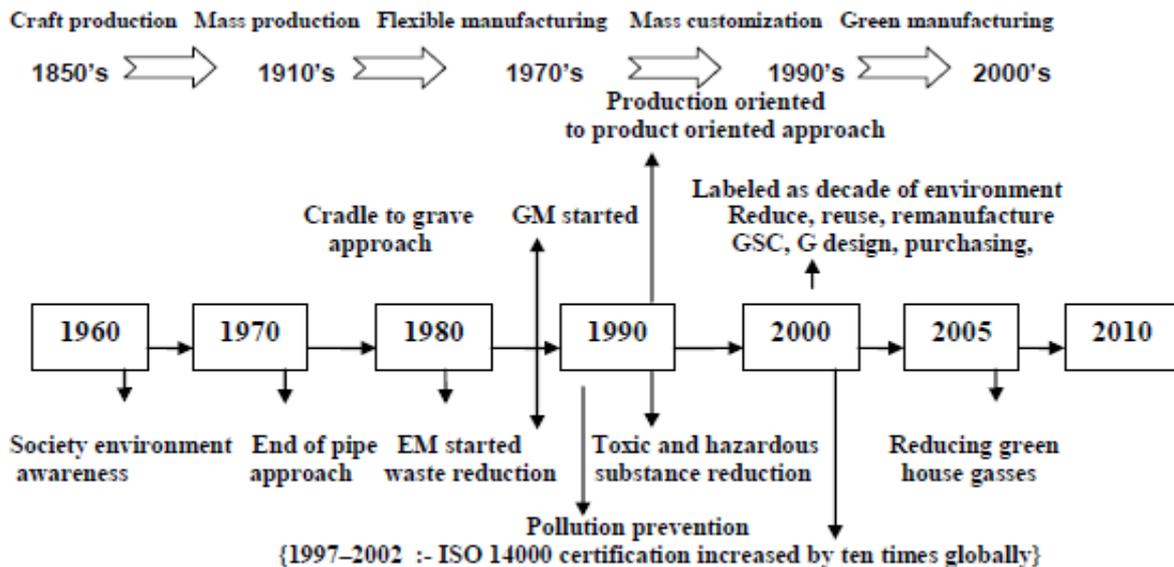


Figura 10: the history time line of Green Manufacturing [Minhaj A.A. Rehman, R.L. Shrivastava, 2013]

Sono molteplici le definizioni di *Green Manufacturing* (GM) in letteratura, ma sicuramente quella sopra riportata è una delle più famose nonché una delle più calzanti. La Green Manufacturing è conosciuta con diversi nomi tra cui: *Clean Manufacturing*, *Environmentally Conscious Manufacturing*, *Environmentally Benign Manufacturing*, *Environmentally Responsible Manufacturing*, and *Sustainable Manufacturing*.

Indipendentemente dal nome, l'obiettivo rimane lo stesso, progettare e fornire prodotti che riducano al minimo gli effetti negativi sull'ambiente attraverso la loro produzione, uso e smaltimento.

La *Green Manufacturing*, è un approccio produttivo già utilizzato da anni, ma che trova grandi applicazioni ancora oggi, poiché il problema ambientale continua ad essere tutt'ora uno dei temi più delicati a livello internazionale.

La produzione, insieme al trasporto, è da sempre la sezione a livello industriale che in incide maggiormente in termini di impatto ambientale.

La produzione sostenibile oggi si va a inserire come cuore pulsante di un approccio molto innovativo, che permea il mondo aziendale in tutte le sue componenti, che prende il nome di eco-efficienza,

L'eco-efficienza è un nuovo modello di management che incoraggia le aziende a diventare più competitive, innovative e responsabili nei confronti dell'ambiente.

Essa unisce gli obiettivi di eccellenza economica d'impresa con quelli di eccellenza ambientale:

- Usare minori quantità di risorse e produrre meno rifiuti significa risparmiare denaro e generare profitti (efficienza economica).
- Proteggere l'ambiente, preservando le risorse naturali e riducendo l'inquinamento (efficienza ambientale).

La definizione precisa viene data dalla *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD): *“L'eco-efficienza viene raggiunta fornendo a prezzi competitivi prodotti e servizi che soddisfino i bisogni umani e portino ad una maggiore qualità della vita, riducendo progressivamente l'impatto ecologico e l'uso di risorse naturali durante il ciclo di vita del prodotto. In breve, significa creazione di maggior guadagno con minor impatto”* [WBCSD, 2006].

Gli obiettivi di questo modello di business sono molteplici:

1. **Ridurre il consumo di risorse:** minimizzazione del consumo di materie prime, dell'uso di energia, di acqua e di suolo.
2. **Ridurre l'impatto ambientale:** minimizzazione delle emissioni nell'atmosfera, degli scarichi d'acqua e della dispersione di sostanze tossiche.
3. **Aumentare il valore del servizio e del prodotto:** fornire più benefici ai consumatori attraverso la funzionalità e la flessibilità del prodotto, focalizzandosi sulla vendita dei bisogni funzionali di cui i clienti effettivamente necessitano, in modo tale da utilizzare meno materiale e risorse.
4. **Implementare il sistema di management ambientale e di sostenibilità:** integrazione del sistema di management ambientale con quello esistente di management economico, al fine di costruire un approccio eco-efficiente.

La *Green Manufacturing*, in sintesi è nata con il duplice obiettivo di aiutare le imprese a raggiungere una produzione più sostenibile, grazie alla realizzazione di prodotti sostenibili tramite processi e sistemi più sostenibili, ma che allo stesso tempo, inevitabilmente, portasse anche a enormi vantaggi economici-finanziari dovuti in particolar modo a un utilizzo più

sapiente di materiale, utilizzando energia rinnovabile e provando a riutilizzare gran parte dello scarto prodotto.

### 3.4. Strumenti ed elementi

Gli strumenti utilizzati per implementare un approccio di tipo *Green*, sono diversi:

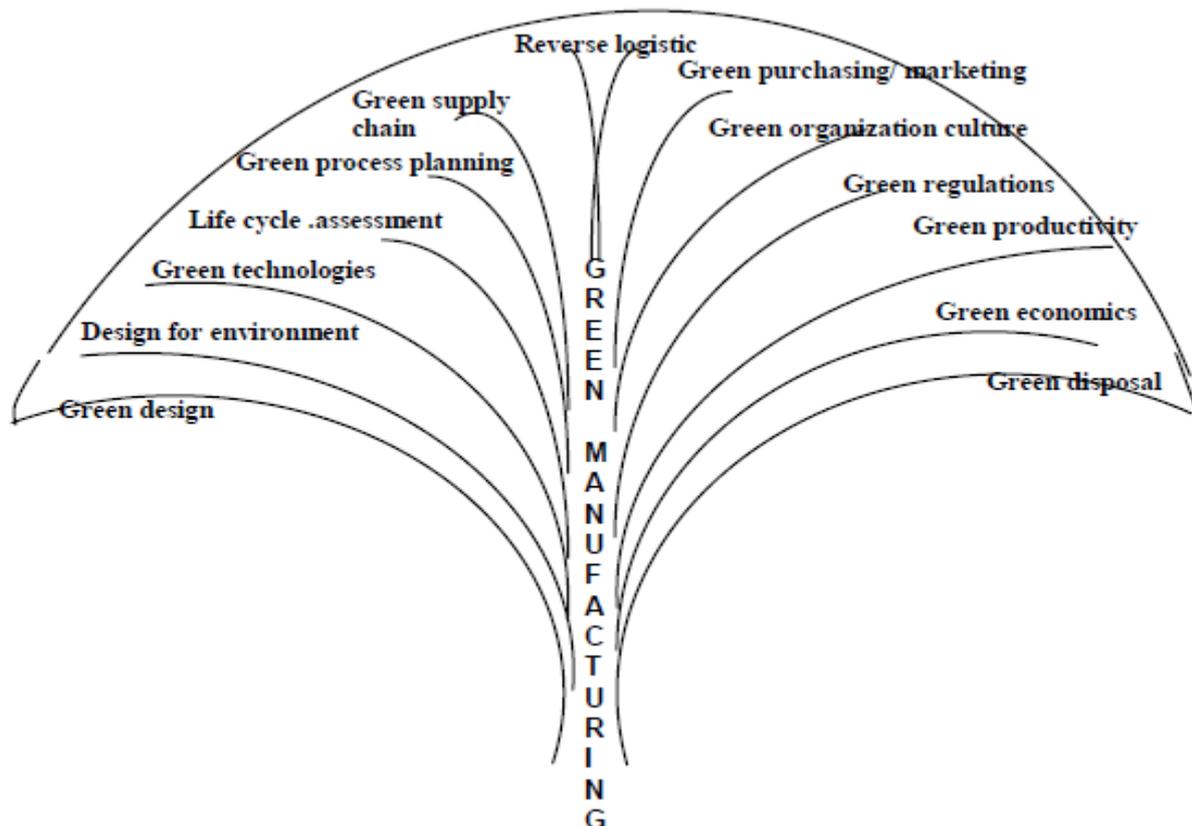


Figura 11: Green Manufacturing tree [Minhaj A.A. Rehman, R.L. Shrivastava, 2013]

1) **Green design:** conosciuto anche come *Eco-design* o *Design for the Environment* (DfE) [www.en.wikipedia.org] significa ideare e produrre oggetti di design pensando al benessere dell'ambiente e della società. Il green-design è applicabile a tutte le discipline di progettazione che vogliono studiare e realizzare soluzioni per ridurre il loro impatto ambientale, conferendo alla società maggior valore di quanto non sia stato sottratto all'ambiente, e non solo, durante l'intero processo produttivo.

I principi dell'*eco-design* si applicano a tutte le fasi del ciclo di vita del prodotto, con l'intento di ridurre l'impatto ambientale complessivo (Life Cycle Assessment (LCA): dall'approvvigionamento e impiego delle materie prime, che devono essere riutilizzabili, biodegradabili, riciclabili e non tossiche, e preferibilmente reperite in loco; alla loro

lavorazione nel processo produttivo e alla distribuzione, che devono rispettare le direttive statali in termini di efficienza energetica (ridotto consumo energetico nella fase produttive) e di ridotto impatto ambientale. Anche il consumo del prodotto e la possibilità di riutilizzo concorrono nel definirlo eco e sostenibile: il ciclo di vita di questo infatti deve essere allungato al massimo, attraverso un riciclaggio e riutilizzo potenzialmente infinito. In alternativa il prodotto dovrà risultare biodegradabile al 100%, in modo da rientrare completamente nel ciclo naturale. Non bisogna inoltre dimenticare il consumatore. Egli deve infatti effettuare un acquisto e un consumo consapevole e responsabile, occupandosi anche della parte di riciclaggio e riutilizzo.

Infine, i benefici del *Green design* includono anche fattori correlati alla produzione di una certa importanza, come fabbriche più sicure e pulite, protezione dei lavoratori, riduzione dei costi futuri per lo smaltimento, riduzione dei rischi ambientali e sanitari, miglioramento della qualità del prodotto a costi inferiori, migliore immagine pubblica e maggiore produttività [Gutowski, T. (2002)].

**2) *Green process planning*:** La pianificazione dei processi sostenibili è un metodo di supporto per migliorare un processo di produzione tradizionale. L'obiettivo della *Green process planning* è di potenziare le caratteristiche ambientali della produzione ottimizzando gli elementi del processo. Come supporto a questa finalità, sono stati sviluppati nel tempo alcuni Database contenenti informazioni utili alla causa.

Il più utilizzato risulta essere il GMPPSS [Yan, H., et al. 2007] costituito da tre moduli funzionali: selezione degli elementi di processo, ottimizzazione dell'andamento di processo e valutazione di elaborare progetti in ottica GM. Il database del GMPPSS è utilizzato per fornire informazioni sul consumo di risorse e dell'impatto ambientale dei processi produttivi, tramite i database degli attributi di processo, i database delle macchine e i database degli utensili. Inoltre, per migliorare la valutazione ambientale, sono state aggiunte l'analisi delle materie prime, l'analisi del consumo di materiale secondario, l'analisi del consumo di energia e l'analisi dell'impatto ambientale del processo.

**3) *Green supply chain*:** La GSCM non è altro che l'integrazione del pensiero ambientale all'interno della catena di fornitura, compresa la progettazione del prodotto, l'approvvigionamento e la selezione dei materiali, la produzione processi, la consegna del prodotto finale ai consumatori e la gestione del fine vita del prodotto.

La struttura tradizionale della catena di approvvigionamento deve essere estesa per includere meccanismi sostenibili. Infatti, è difficile pensare che in un contesto come quello attuale, in cui la partnership tra aziende della filiera produttiva è molto forte, ci sia un'azienda che adotti logiche *Green* e altre no, ne inficerebbe il lavoro e il guadagno di tutti.

**4) *Green Purchasing*:** L'approvvigionamento sostenibile ha l'obiettivo di evitare un impatto sociale e ambientale negativo nella catena di fornitura, di ridurre l'impatto ambientale derivante dalle attività inerenti i servizi tramite l'acquisto di prodotti che rispettano gli standard ambientali riconosciuti.

Le pratiche di approvvigionamento sostenibile generalmente più diffuse tra le aziende sono:

- Acquistare beni e utilizzare servizi in linea con i principi internazionali volti a promuovere e proteggere i Diritti Umani riconosciuti dai principi del *Global Compact* delle Nazioni Unite.
- Includere dei criteri di sostenibilità come parte del processo di valutazione dei fornitori e appaltatori.
- Dare priorità ai fornitori che hanno inserito pratiche etiche e sostenibili all'interno della propria organizzazione e le applicano anche all'interno della propria catena di approvvigionamento.
- Promuovere un livello di consapevolezza della sostenibilità tra i partner della catena di fornitura e incoraggiarli a adottare pratiche sostenibili.
- Acquistare beni e servizi, che riflettono le specifiche o gli standard ambientali minimi riconosciuti al fine di perseguire il miglioramento continuo delle pratiche di approvvigionamento.
- Acquistare esclusivamente prodotti di origine forestale provenienti da fonti sostenibili.
- Utilizzare prodotti che hanno un impatto minimo sull'ambiente, sia locale che globale.

**5) *Green Disposal*:** Per ottenere uno smaltimento globale sostenibile è necessario che non ci sia nessun rilascio di sostanze tossiche nella vita del prodotto e che ci sia l'uso di materiali biodegradabile sia nel prodotto che dell'imballaggio così il relativo smaltimento dovrebbero essere rispettosi dell'ambiente. Inoltre, per ridurre ulteriormente l'impatto dei rifiuti bisogna abbassare il contenuto inquinante dei fumi emessi durante la produzione del prodotto e allo stesso tempo bisognerebbe cercare di riutilizzare la maggior parte di scarti di produzione così da destinarne alla discarica una percentuale ridottissima.

**6) Green Marketing:** Le aziende che utilizzano processi *eco-friendly*, possono fare leva su questo aspetto per aumentare il valore percepito dei propri prodotti agli occhi dei consumatori, puntando a differenziarsi dai *competitor*.

Infatti, un'acquirente, sarà molto più propenso ad acquistare un prodotto che "rispetta l'ambiente" perché consapevole dell'importanza della questione.

**7) Reverse-logistic:** La *Reverse-logistic* rientra pienamente nel concetto di riuso e riciclo. Infatti, oggi, lungo tutta la filiera produttiva, si sta fortunatamente perdendo la logica dell'"usa e getta", ovvero una volta terminato il ciclo di vita del prodotto, questo veniva buttato. Ora, per rendere il processo di filiera sempre più sostenibile e grazie l'attenzione data in fase di progettazione dei nuovi prodotti (eco-design), anche lo smaltimento del prodotto finale diventa una risorsa, perché realizzato con materiali che possono essere riutilizzati per altri scopi dall'azienda madre o da altre della *supply chain*. La *reverse logistic* è quel processo che in particolare, movimentata e gestisce, il fine vita di un prodotto per permettere il riciclo e il riuso dei suoi componenti.

## 4. Lean & Green

La *Lean Manufacturing* e la *Green Manufacturing* sono state per molto tempo due filosofie produttive considerate separatamente. Solo negli ultimi anni, con la sempre più diffusa sensibilizzazione dell'opinione pubblica sui temi ambientali, si è visto un interesse nel tentare un confronto e un'integrazione delle due.

Infatti, ci si rese conto presto, che la *Lean* e la *Green manufacturing*, pur avendo focus totalmente differenti, di base, condividevano lo stesso obiettivo: la riduzione degli scarti.

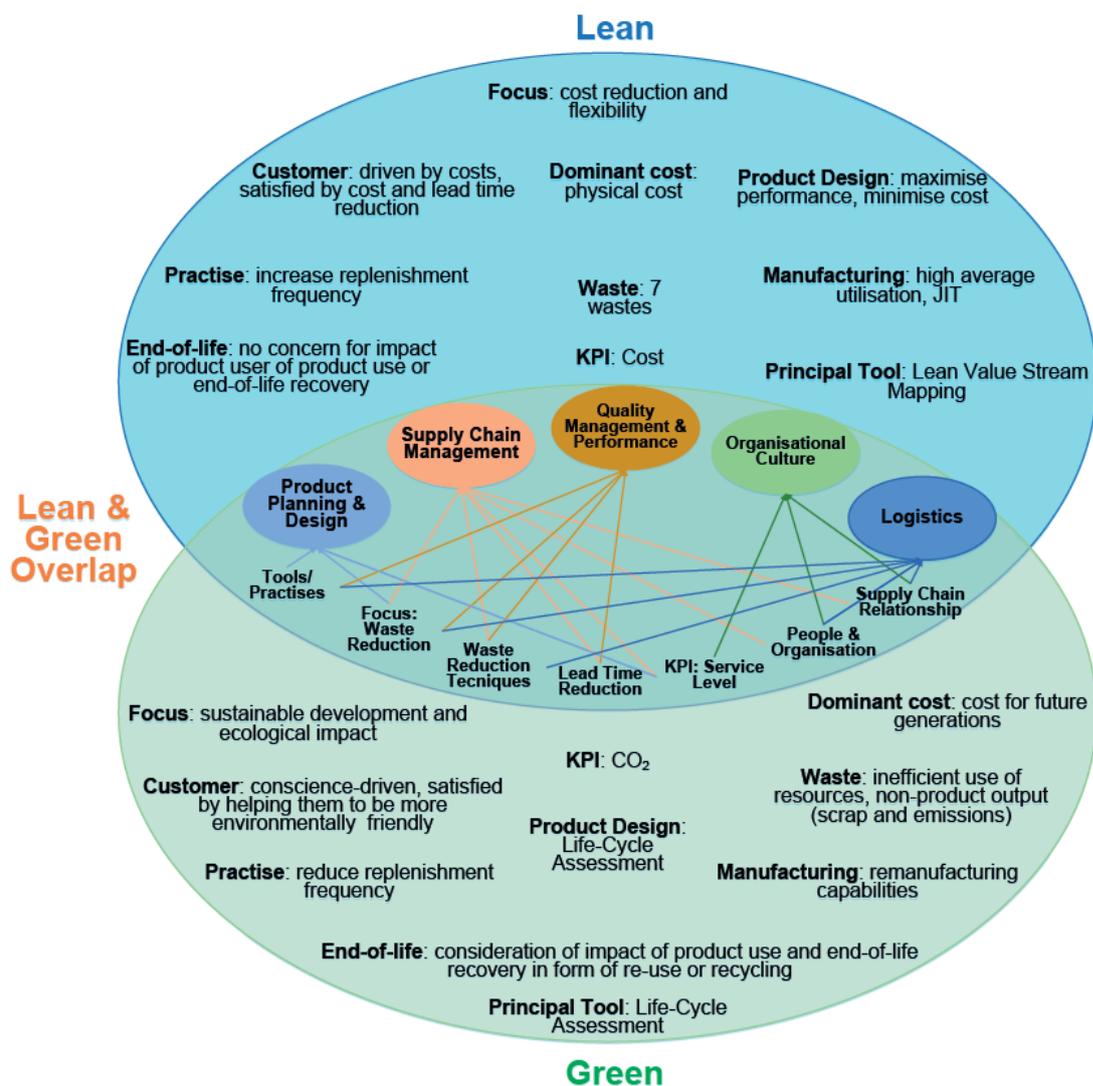


Figura 12: Overlap of Lean & Green Paradigms and its Influence on Related Organisational Areas [Adapted from Dües, Tam and Lin, 2013]

## 4.1. Differenze tra Lean e Green

Come mostrato in figura e detto nell'incipit, il focus delle due filosofie è la riduzione dei rifiuti/scarti. Ma mentre la *Lean* “combatte” i famosi muda, ovvero gli sprechi, in termini materiali e non, delle attività non a valore, la *Green manufacturing* si concentra sulla minimizzazione dell'impatto ambientale dei propri prodotti, cercando di ridurre al minimo la quantità di rifiuti ambientali destinati alla discarica o all'inceneritore, incentivando il riciclo e riutilizzo dei materiali.

Una seconda differenza tangibile, sono le modalità con cui si cerca di aumentare il valore percepito del proprio prodotto nel cliente. La *Lean* si focalizza sul processo, sulla riduzione dei tempi di consegna, sulla capacità di personalizzazioni in tempi ridotti, in generale si mira alla soddisfazione del cliente puntando maggiormente sul “come” si realizza piuttosto che sul “cosa”. Nella *Green Manufacturing* si punta invece su un obiettivo diametralmente opposto, ovvero sul prodotto, tentando di realizzare un finito con materiali riciclabili, non inquinanti, *eco-friendly*, per intercettare quell'utenza, ma non solo, di clienti molto attenti ai temi ambientali, che di giorno in giorno aumenta.

Un ultimo grande distacco tra le due è osservabile nelle tecniche suggerite. Infatti, uno dei più famosi accorgimenti profetizzati dalla *Lean production*, il celeberrimo *Just-in-time*, che promuove una produzione e consegna del prodotto finale per piccoli lotti, aumentando di fatto il numero dei viaggi da realizzare e quindi inevitabilmente l'impatto inquinante, divergendo completamente da ogni logica *Green*.

## 4.2. Integrazione tra Lean e Green

Il lavoro di molti studiosi negli ultimi anni sono andati proprio nella direzione di trovare una sinergia vincente tra l'ottica *Lean* e *Green*. Con il termine sinergia s'intende ottenere, tramite la congiunzione delle due, dei risultati migliori che l'applicazione singola, anche successiva, non garantirebbe. [M.Bortolini et. Al, 2016]

La concentrazione in questa ottica nasce dalla ormai conosciuta prova dell'efficienza dell'applicazione delle tecniche *Lean* unitamente a uno sguardo più attento verso i temi ambientali.

La grande sfida era quello di trovare un punto di contatto tra le due, anche in termini applicativi, che fu infatti trovato nel famoso *tool* della *Value Stream Mapping*, descritta nel

dettaglio in precedenza. Questo strumento come visto viene utilizzato proprio per individuare quelle attività non a valore del processo produttivo, che gravano soltanto sui costi e sull'accrescimento dell'inefficienza.

Li fu trovato il viatico per l'integrazione. Fu semplicemente pensato di inserire all'interno della VSM considerazioni ambientali, tipiche delle *Green Manufacturing*, affiancandole agli ormai rodati indicatori prestazionali misurati in ottica *Lean*, poiché la riduzione di materiali utilizzati, la minimizzazione dell'energia utilizzata e altri aspetti ancora, oltre che avere degli ovvi impatti benefici sull'ambiente ne avevano anche sui costi di realizzazione.

Questa fu la grande innovazione, il riuscire a capire che una produzione sostenibile, oltre che esserlo in termini ambientali lo era anche e soprattutto in termini monetari.

Tuttavia, la mera applicazione della VSM integrata di parametri ambientali non poteva bastare. Affinché l'unione dei due pensieri possa definirsi tale ci vuole un cambio radicale di prospettiva a tutti i livelli, dal management agli operatori di linea. Il cambio di prospettiva oltre che nelle strategie si deve toccare anche nei sistemi di controllo, ovvero nei KPI scelti per la valutazione dello stato di avanzamento dei processi.

Proprio a partire da questo discorso e dal diffondersi sempre più dell'economia circolare, la massima espressione attuale di sostenibilità, oggi è possibile trovare sistemi altamente innovativi, chiamati *Circular Lean Product-Service Systems* (CLPSS), che rappresentano la combinazione tra prodotti circolari tangibili con elementi di servizio a valore aggiunto immateriali e relative reti infrastrutturali di supporto a ciclo chiuso. I CLPSS possono guidare alla dematerializzazione attraverso la riduzione di rifiuti nelle operazioni di produzione, servizi e il consumo di materiali vergini, grazie ad un sistema operativo rigenerativo in grado di soddisfare le esigenze dei clienti, disaccoppiare la crescita economica dall'impatto ambientale e creare nuovi flussi di entrate dall'estensione del valore residuo dei prodotti. Tutto questo può essere garantito tramite l'integrazione tra il sistema di *Circular Economy* con le più avanzate tecniche di gestione *Lean*.

Tuttavia, senza allontanarsi troppo dal sentiero tracciato, dall'integrazione della *Lean Manufacturing* e delle *Green Manufacturing*, tenendo presente l'importanza della VSM, in questi ultimi anni è nato un nuovo *tool* chiamato *Sustainable Value Stream Mapping*, che non è altro che l'evoluzione della classica VSM con l'obiettivo di unificare gli obiettivi visti in precedenza in un unico strumento.

## 5. Sustainable Value Stream Mapping

### 5.1. Introduzione

Una volta analizzati i principi e gli strumenti utilizzati dalle due filosofie produttive nate nel XX secolo, la *Lean Manufacturing* e la *Green Manufacturing*, e dopo aver presentato un confronto tra esse, evidenziando le differenze ma anche le affinità, arriviamo al cuore dell'elaborato.

Di seguito sarà presentata un'analisi della letteratura riguardante uno strumento molto innovativo a disposizione dell'aziende moderne, la *Value Stream Mapping* sostenibile.

Il nome ufficiale, *Sustainable Value Stream Mapping (Sus-VSM)* è il nome più conosciuto di questo *tool*, ma è soltanto la punta di un iceberg formato da numerosi studi che si sono susseguiti nel corso del tempo.

La nascita della *Sus-VSM*, conosciuta anche come *Environmental Value Stream Mapping* o *Green Value Stream Mapping*, rappresenta la perfetta intersezione tra la logica *Lean* e la logica *Green*, grazie alla grande diffusione di utilizzo della classica VSM, unitamente al sempre più comune bisogno da parte delle imprese di rendere i propri processi eco-compatibili.

Infatti, come visto in precedenza, la VSM ha una grande semplicità di applicazione, una grande efficacia, a costi quasi nulli, per cui a partire dai primi anni del 2000', alcuni studiosi decisero di iniziare a pensare ad una sua estensione, che oltre a valutare i classici parametri, considerasse anche aspetti ambientali legati al processo produttivo e non solo. Infatti, nel corso del tempo, ne sono nate diverse tipologie, alcune che considerano anche il ciclo di vita del prodotto, altre più l'aspetto logistico.

L'analisi della letteratura sarà presentata mostrando, in ordine cronologico, l'evoluzione degli studi sull'argomento, descrivendo in modo generale le caratteristiche principali dei vari studi, fino ad arrivare alla presentazione più dettagliata della *Sustainable Value Stream Mapping (Sus-VSM)* [William Faulkner a, Fazleena Badurdeen, 2014] poiché rappresenta il modello più utilizzato, per praticità, efficacia e totalità di analisi.

In seguito, saranno anche presentati gli studi più significativi effettuati partendo proprio dalla *Sus-VSM*.

Prima di iniziare è doveroso sottolineare che un *tool* come la *Sustainable Value Stream Mapping*, oltre ad essere uno strumento con un imprinting legato al miglioramento degli

aspetti ambientali di un processo, è anche un'occasione di risparmio e di ottimizzazione per le aziende che l'applicano.

La concorrenza tra *competitors* oggi è diventata così aggressiva, da costringere le imprese ad analisi di miglioramento riguardanti anche aspetti come il consumo energetico, il riutilizzo dell'acque reflue, degli scarti di lavorazione.

Aspetti che fino a poco tempo fa erano considerati soltanto come aspetti ambientali, ma che oggi hanno assunto anche un'importanza strategica enorme.

Nella tabella 1, riportata nella pagina successiva, sono elencati in maniera ordinata tutti gli studi principali della mia analisi.

Infatti, ho analizzato più studi di quelli presenti in tabella, che, tuttavia, a mio avviso, non avrebbero aggiunto nulla di rilevante alla mia ricerca, poiché già riportato negli studi che verranno presentati.

All'interno della tabella i modelli sono elencati in ordine cronologico, dove è possibile trovare anche le principali informazioni, come il nome del paper da cui sono stati presi e l'obiettivo che si è erano preposti gli autori.

N°	Autore	Anno	Titolo dell'elaborato	Obiettivo
1	Simons andMason	2002	<i>Environmental and transport supply chain evaluation with sustainable value stream mapping</i>	Created a sustainable value stream map to evaluate the environmental metrics
2	US EPA	2007	<i>The lean and environment toolkit</i>	Created a toolkit to evaluate the lean and environmental performance of manufacturing firms
3	US EPA	2007	<i>The lean and energy toolkit: achieving process excellence using less energy</i>	Modified the EPA lean and environmental toolkit with energy metrics
4	Torres and Gati	2009	<i>Environmental value stream mapping (EVSM) as sustainability management tool</i>	Extended the EPA lean and environmental toolkit and created an environmental VSM (EVSM) which emphasize on water consumption
5	Feanne and Norton	2009	<i>Sustainable value stream mapping in the food industry.</i>	Created a sustainable value chain map (SVCMD) with sustainability metrics
6	Paju et al.	2010	<i>Framework and indicators for a sustainable manufacturing mapping methodology</i>	Created a new methodology named sustainable manufacturing mapping (SMM) which combines discrete event simulation (DES) and LCA with conventional VSM
7	Kuniger and Chen	2010	<i>Lean and green: a current state view</i>	Created a VSM which focused on evaluating the energy and environmental performance of manufacturing firms
8	Kuniger et al.	2011	<i>A lean sustainable production assessment tool</i>	Proposed a lean sustainable production assessment tool
9	Dadashzadeh and Wharton	2012	<i>A value stream approach for greening the IT department</i>	Created a VSM which focused only on evaluating environmental performance
10	Faulkner and Badurdeen	2014	<i>Visualizing sustainability performance of manufacturing systems using sustainable value stream mapping (Sus-VSM)</i>	Created a sustainable value stream mapping (Sus-VSM) to evaluate the sustainable performance of manufacturing firms
11	Brown, Amundson, Badurdeen	2014	<i>Sustainable value stream mapping (Sus-VSM) in different manufacturing system configurations: application case studies</i>	Examined the aptness and limitations of the Sus-VSM in assessing and visualizing sustainability performance in different manufacturing system configurations
12	S. Vinodh, Ben Ruben, Asokan	2015	<i>Life cycle assessment integrated value stream mapping framework to ensure sustainable manufacturing: a case study</i>	Created a VSM integrated with life-cycle assessment (LCA) for ensuring sustainable manufacturing
13	Garza-Reyes, Villarreal, Kumar	2016	<i>Lean and Green in the Transport and Logistics Sector – A Case Study of Simultaneous Deployment</i>	Created Sustainable Transportation Value Stream Map (STVSM) to improve efficiency and environmental performance of road transport operations
14	Edinayr, Sunk, Sliim	2016	<i>An Approach to Integrate Parameters and Indicators of Sustainability Management into Value Stream Mapping</i>	Created an approach to Sus-VSM to reduce material input for producing a specific amount of goods.
15	Garza-Reyes, Torres Romero, Govindan, Cherrafi, Ramanathan	2018	<i>A PDCA-based approach to Environmental Value Stream Mapping (EVSM)</i>	Applied PDCA-based approach to E-VSM to improve the green performance of operations

Tabella 1: Elenco studi analizzati

## 5.2. Stato dell'arte

L'analisi che presenterò vuole mostrare come, nel corso degli anni, si è giunti alla nascita della *Sus-VSM*, considerata da molti come il modello di riferimento attuale. Gli studi che si sono succeduti, non hanno seguito una logica di sviluppo ben precisa, poiché, come si vedrà in seguito, ognuno presenta differenti versioni sostenibili della classica VSM, dettate da esigenze di vario tipo, applicata in contesti differenti.

La mia attenzione si è focalizzata sull'approccio e sulle tipologie di parametri utilizzati dai vari autori per tracciare la sostenibilità di un processo tramite la *Value Stream Mapping*.

Quando si utilizza il termine sostenibile, lo si tende a 360°, non soltanto quindi caratteristiche ambientali, ma caratteristiche sociali, legate alla salute e alle condizioni di lavoro degli operatori e anche di sostenibilità in termini prettamente economici.

Perciò, i parametri che verranno ricercati all'interno dei diversi modelli presenti in letteratura dovranno spaziare il termine sostenibilità in tutte le sue sfaccettature, dalla sfera ambientale a quella sociale fino ad arrivare a quella economica.

### 5.2.1. Analisi Bibliografica

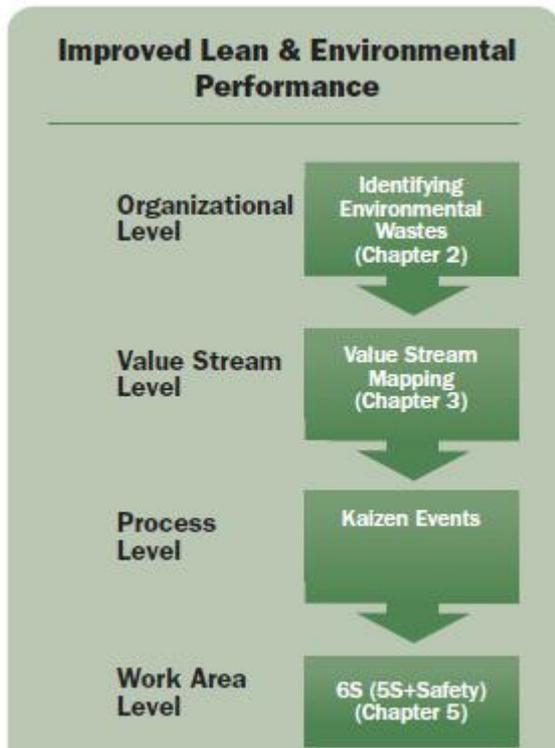
I primi studiosi che si occuparono dell'argomento, almeno ufficialmente, furono il professor Robert Mason e David Simon, i quali nel 2002 idearono per la prima volta un'estensione della VSM. Osservando la grande efficacia dello strumento introdotto da Mike Rother e John Shook, decisero di creare la *Sustainable Value Stream Mapping* (SVSM) con la quale poter tracciare le emissioni di CO<sub>2</sub> e di GHG (GreenHouse Gas) di un processo produttivo e quindi migliorare la sostenibilità dello stesso. [Simons and Mason, 2002]

$$\text{Maximize Value Add\%} = \frac{\text{Supply Chain Value Adding Time} \times 100}{\text{Total Supply Chain Time}}$$

$$\text{Minimize CO2\%} = \frac{\text{Supply Chain CO2} \times 100}{\text{Market Weight of Product}}$$

L'applicazione considerava soltanto parametri economici e ambientali, mentre non contemplava parametri sociali, poiché gli autori ritenevano che quest'ultimi sarebbero migliorati automaticamente nel momento in cui ci fosse stato un miglioramento dei primi due.

Qualche anno più tardi, precisamente nel 2007, l'US EPA (*United States Environmental*



*Protection Agency*) presentò un articolo, raccogliendo le esperienze di alcune aziende Americane come 3M, General Motors e Lockheed Martin che già da alcuni anni applicavano parallelamente concetti della *Lean Manufacturing* e *Green Manufacturing*, con l'obiettivo di fornire un modello che migliorasse sia le performance economiche che di sostenibilità, grazie all'eliminazione dei rifiuti ambientali.

La struttura generale ruota tutta intorno ai *Environmental Waste*, definiti come "l'uso non necessario di risorse o di una sostanza rilasciata nell'aria, nell'acqua o nella terra che potrebbe danneggiare la salute umana o dell'ambiente. I

Figura 13: Approccio *Lean* e *Green*

rifiuti ambientali possono verificarsi quando le aziende utilizzano le risorse per fornire prodotti o servizi ai clienti e / o quando i clienti utilizzano e smaltiscono i prodotti" [US EPA,2007a].

All'interno dei quali troviamo:

- Energia, acqua o materie prime consumate in eccesso rispetto a quanto necessario per soddisfare le esigenze dei clienti.
- Sostanze inquinanti e rifiuti materiali immessi nell'ambiente, come emissioni atmosferiche, scarichi di acque reflue, rifiuti pericolosi e rifiuti solidi (rifiuti o rottami di scarto).
- Sostanze pericolose che influiscono negativamente sulla salute umana o sull'ambiente durante il loro utilizzo in produzione o la loro presenza nei prodotti.

Anche dallo schema soprariportato è osservabile come il punto di forza su cui fa leva l'EPA è nel rapporto tra *Lean* e *Green*. Infatti, si evidenzia con forza, come questa relazione porti in modo del tutto naturale dei vantaggi biunivoci; mentre si applicano le regole di miglioramento

continuo introdotte da Toyota, eliminando i *muda* e le attività non a valore, è possibile focalizzarsi anche sulla riduzione dei rifiuti ambientali e quindi al miglioramento delle performance di sostenibilità. Allo stesso modo, considerando parametri ambientali, come quelli della figura 14, è possibile aumentare il valore, abbassare il costo del materiale utilizzato e riducendo le responsabilità verso l'ambiente evitando di violare la legge in termini di emissioni.

Types of Environmental Metrics	
✓ Scrap/Non-product Output	✓ Air Emissions
✓ Materials Use	✓ Solid Waste
✓ Hazardous Materials Use	✓ Hazardous Waste
✓ Energy Use	✓ Water Pollution/Wastewater
✓ Water Use	

Figura 14: tipi di metriche ambientali del modello EPA

Lo strumento individuato dall'*Environmental Protection Agency* come adatto a raggiungere le finalità sopra riportate è la Value Stream Mapping, data la sua grande

versatilità e facilità di utilizzo. La VSM sviluppata ha due focus principali:

- Individuare la quantità di materiale utilizzato per ogni operazione, capire quanto di questo viene scartato e se vi è presente una componente potenzialmente pericolosa.
- Individuare possibili migiorie per la salute dell'uomo.

Tramite il simbolo EHS (*Environmental, Health and Safety*), si cerca di individuare miglioramenti a quelle operazioni ritenute pericolose per l'uomo a causa della tipologia di rifiuti prodotta. La VSM

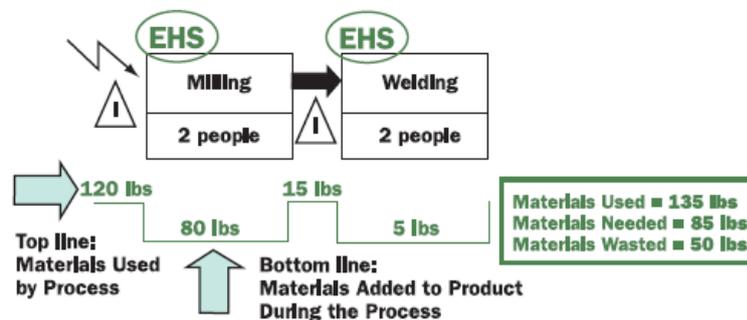


Figura 15: schema identificativo dei processi nel modello EPA

era solo il primo passo del processo e serviva come mezzo per individuare le eventuali problematiche. Dopo di che era possibile, tramite le classiche tecniche *Lean* apportare miglioramenti, ottenendo così un *future-state* ottimizzato.

Seguendo una logica del tutto simile, l'EPA sempre nel 2007 pubblicò un secondo studio, *The lean and energy toolkit: achieving process excellence using less energy*, invece non incentrato nella riduzione dei rifiuti pericolosi, ma incentrato nell'ottimizzazione, sempre in ottica *Lean*, del consumo di energia elettrica, sia in termini ambientali che economici. [US EPA, 2007b]

L'articolo mette in risalto quanto le logiche e le tecniche *Lean*, potessero essere efficaci nell'ottimizzazione energetica, portando molti tipi di vantaggi, come:

1. Risparmio sui costi: la riduzione dei costi energetici ha un impatto significativo sulle prestazioni aziendali, anche se i costi possono essere nascosti nei costi generali o di struttura.
2. Cambiamenti climatici e rischio ambientale: affrontare in modo proattivo l'ambiente e gli impatti climatici dell'uso dell'energia sono sempre più importanti per l'industria e la società. Non farlo sarebbe un potenziale rischio per l'azienda.
3. Vantaggio competitivo: riduzione dei costi operativi ricorrenti, miglioramento del morale del personale e rispondere alle aspettative dei clienti in termini di prestazioni ambientali ed efficienza energetica aumenta il vantaggio competitivo.

La costruzione delle VSM è del tutto analoga a quella tradizionale, con l'aggiunta di dati inerenti al consumo di energia elettrica contenuti nei riquadri colorati posti sotto i processi. I dati sull'energia son stimabili tramite misurazioni con appositi sensori montati sulle macchine, tramite l'utilizzo di strumenti per la rilevazione del consumo o tramite l'osservazione di un esperto con l'analisi della serie storica.

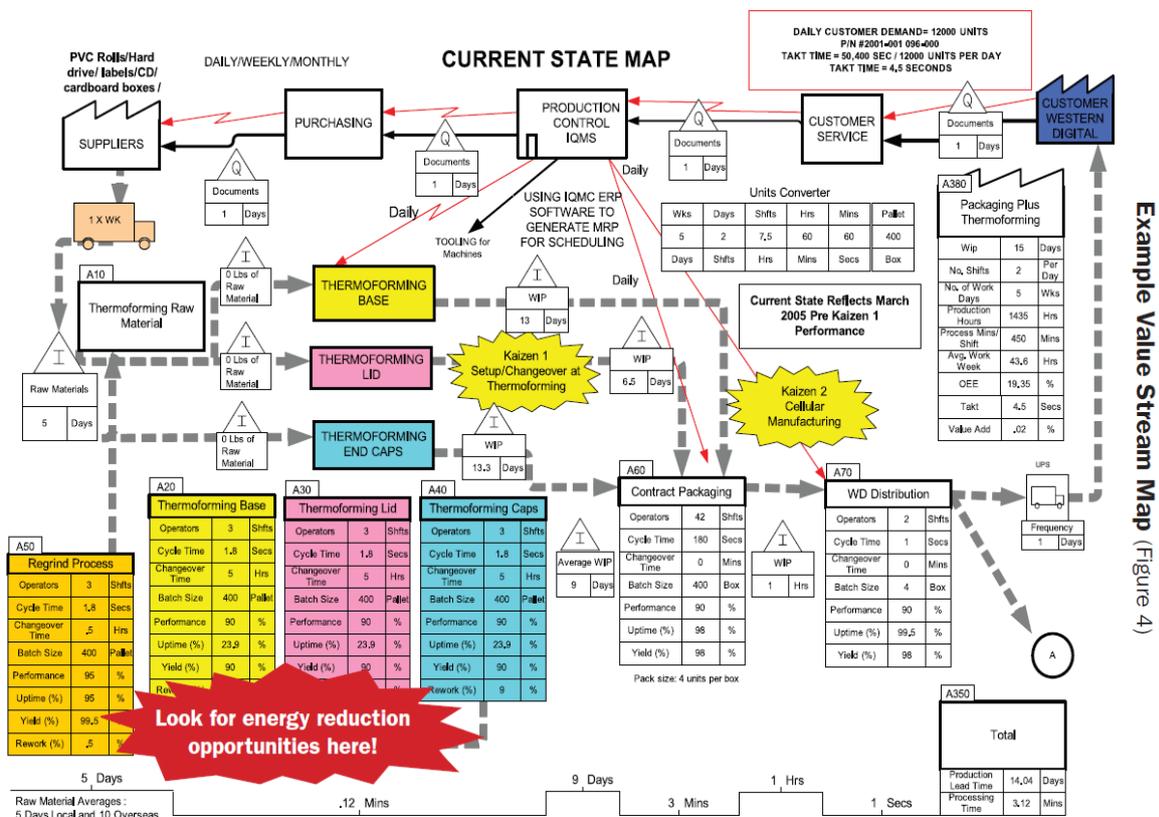


Figura 16: Il current-state dell'EPA *The lean and energy toolkit* [US EPA, 2007b].

La figura 16 mostra il *current-state*, dal quale partire per applicare tecniche *Lean* e migliorare il processo. I due modelli presentati dall'EPA considerano, oltre che ai parametri classici di efficientamento della VSM, soltanto metriche di tipo ambientale: la prima legata al consumo di materiale e quindi ai rifiuti, il secondo legato al consumo dell'energia elettrica.

Riprendendo proprio il primo studio dell'EPA, nel 2009, due studiosi brasiliani, Alvaír Silveira Torres e Ana Maria Gati, crearono la *Environmental Value Stream Mapping* (EVSM), analizzando il consumo d'acqua all'interno di una fabbrica produttrice di zucchero e alcool. [Torres and Gati, 2009]

Il focus del loro studio era quella di ridurre il consumo di acqua utilizzata, essendo un elemento primario del processo, sia per motivi di impatto ambientale che per una questione economica. L'approccio utilizzato, chiamato *Research Design* [Lindgren, R. et al, 2004] era organizzato in 4 fasi:

<b>Method Subject</b>	<b>Data to Collect (stakeholders interviews)</b>	<b>Variables and Metrics</b>
<i>Exploratory Phase</i>	Manufacturing process overview	Main product and water process flow
<i>Main Stage - Planning Phase</i>	Build the VSM (Map)	Material/ Water material balance across the process
<i>Stage of Action</i>	Map analysis - improvements	Set objectives for process improvements
<i>Stage of Evaluation</i>	Verify results and Lessons learned	Prepare new KPI's about water losses

Tabella 2: le 4 fasi del *Research Design* [Lindgren, R. et al, 2004].

1. ***Exploraty phase***: nella fase iniziale si analizza il processo produttivo e quei dati interessanti dal punto di vista ambientale ed economico. Questo processo è svolto intervistando le persone strettamente a contatto con i vari processi.
2. ***Main stage (Planning)***: il secondo step, consiste nell'intervistare, i manager e i responsabili di produzione tramite questionari e capire quali sono i loro suggerimenti e osservazioni sull'oggetto dell'analisi. Con i dati raccolti fino a questo momento, si costruisce la VSM nelle stesse modalità proposte dell'EPA, individuando le possibili criticità.
3. ***Stage of action***: come dice la parola stessa è il momento in cui si passa all'azione, pensando e attuando correzioni alle attività che richiedono maggiore attenzione. Viene costruita una seconda mappatura del processo indicando tutti gli accorgimenti.

4. **Stage of Evaluation:** la fase finale consiste nello studio dei risultati, cercando di capire i benefici nel breve-medio periodo. Inoltre, le mappe create sono alla base anche per miglioramenti continui futuri.

**Analisi critica:** Il modello appena descritto può essere considerato come la validazione del modello EPA, presentato appena 2 anni prima, il quale considera soltanto parametri strettamente ambientali.

Tuttavia, la grande novità è rappresentata dall'approccio *Research Design*, all'interno del quale viene inserita l'EVSM, dal momento che uno dei pilastri del metodo è coinvolgimento delle persone, a diversi livelli, strettamente legate al processo produttivo, cosa che fino a quel momento non era mai stata considerata come importante.

Sempre nel 2009, altri due studiosi Norton e Fearne, seguendo un filone differente rispetto a Torres e Gati, basandosi sul lavoro di Mason e Simon, proposero un'implementazione della loro SVSM applicandola a un'azienda produttrice di cibo surgelato, con l'obiettivo di minimizzare i rifiuti prodotti, così da migliorare le prestazioni operative e le performance ambientali. [Fearne A, Norton A, 2009]

Mentre l'obiettivo di Mason e Simons era quello di massimizzare il valore e minimizzare l'emissione di CO<sub>2</sub>, quello di Norton e Fearne era minimizzare gli scarti di cibo.

$$\text{Minimize Food Waste}\% = \frac{\text{Supply Chain Food Waste} \times 100}{\text{Unit Weight of Product}}$$

I due autori volevano creare uno strumento “fai da te” usufruibile da aziende piccole, le quali non potevano permettersi dei consulenti esterni.

La classica SVSM fu estesa con l'aggiunta di *Environmental Performance Indicators* (EPI), proposti dalla *UK Department for Environment, Food and Rural Affairs* (DEFRA), classificati in due categorie:

1. *Basic indicators:* indicatori da considerare per tutte le aziende, come: rifiuti (in tonnellate totali inviate per lo smaltimento), emissioni di gas a effetto serra (come tonnellate totali di CO<sub>2</sub> equivalenti) e consumo di acqua (come tonnellate totali acquistate o sottratte)
2. *Other indicators:* indicatori che dipendono dal particolare settore in cui si trova l'azienda dove viene applicata.

Nel caso specifico furono considerati:

1. Rifiuti solidi: Scarto di cibo, rifiuti biodegradabili da packaging, come carta e cartone, rifiuti plastici da packaging, come PET, PP, LDPE, HDPE, rifiuti metallici, come fusti metallici, fogli di alluminio.
2. Emissione di CO<sub>2</sub>: emissioni durante il processo produttivo, emissioni a causa del mantenimento del surgelato, emissioni durante il trasporto.
3. Rifiuti liquidi: considerando il consumo d'acqua e rifiuti chimici e biochimici di ogni processo.

La stesura della SVSM avvenne in modo classico con una visita allo stabilimento produttivo, ma con la differenza che si tracciò il processo secondo una logica top-down e non risalendo la filiera come proposto nella VSM.

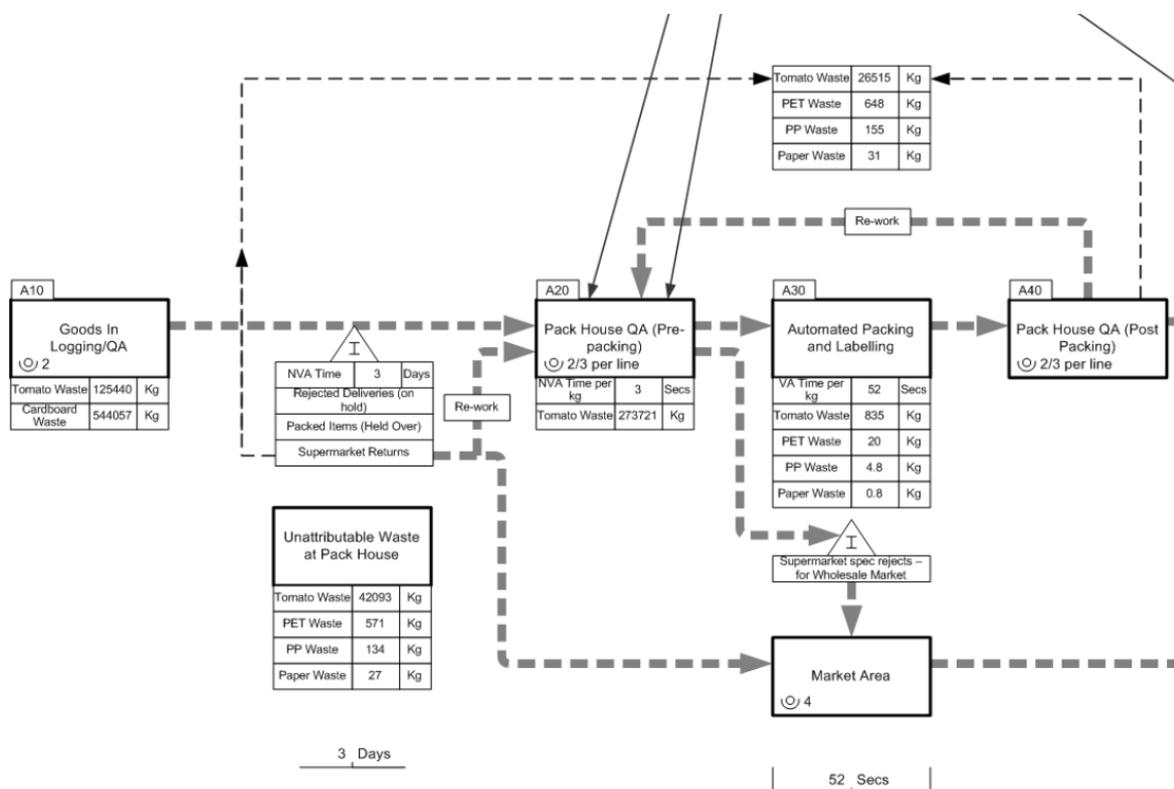


Figura 17: l'estensione della SVSM proposta da Norton e Fearné [Fearné A, Norton A, 2009].

Questa immagine mostra la *Sustainable Value Stream Mapping* costruita, dove è osservabile, sotto ogni processo, le quantità di rifiuti (solido e liquido) prodotte, mentre le emissioni di CO<sub>2</sub> furono registrate in un'apposita tabella aggiuntiva.

Il modello fu utile per avere un'idea generale e per capire dove si concentrava la maggior parte dello spreco, e allo stesso tempo limitato, perché fu applicato da persone esterne all'azienda, che quindi non avevano accesso liberamente a tutti i dati di cui avevano bisogno.

**Analisi critica:** il metodo appena proposto mostra un'evoluzione rispetto al precedente in termini di parametri ambientali. Infatti, è facilmente osservabile come vengano considerate ben 3 categorie differenti, rifiuti solidi, rifiuti liquidi e le emissioni di anidride carbonica. Tuttavia, il limite di questo approccio è quello di non considerare ancora aspetti sostenibili legati al personale e alla resa economica del prodotto.

Un anno più tardi, nel 2010, Marja Paju insieme a un team di collaboratori, presentò un articolo in cui descriveva una versione rivoluzionaria della VSM, chiamata *Sustainable Manufacturing Mapping* (SMM).

Quest'idea fu considerata rivoluzionaria perché valutava indicatori ambientali in modo più completo rispetto ai modelli visti, tramite l'utilizzo unificato di 3 strumenti: la *Value Stream Mapping* (VSM), il *Life Cycle Assessment* (LCA) e il *Discrete Event Simulation* (DES).

Il DES sono tecniche di simulazione che permettono una valutazione simile a quella della VSM, ma mentre quest'ultima rappresenta un'istantanea del processo in un determinato frangente, con la simulazione è possibile avere una valutazione dinamica aggiungendo parametri come la valutazione di colli di bottiglia, il livello di buffer o il cambiamento dei volumi di produzione. Il DES permette analisi impossibili con carta e matita nella *Value Stream*. Inoltre, le tecniche di simulazione permisero di integrare la VSM con i dati e gli obiettivi della LCA, tecnica atta alla valutazione dell'impatto ambientale di un prodotto, non solo durante il suo processo produttivo, ma nell'intero ciclo di vita, dall'estrazione della materia prima alla sua dismissione [Paju et al, 2010].

Feature	VSM	LCA	DES
<b>Dynamic assessment</b>	Deterministic, standard or average parameter	Deterministic, standard or average parameter	Dynamic event relationships, probabilistic parameters
<b>Publicly available data</b>		Public LCA data available	
<b>Visualization</b>	2D process map	Limited process view	3D visualization and animation
<b>Simplified</b>	User-friendly tool	Experts tool	Experts tool
<b>Standardized</b>	Industrial de facto standard for lean manufacturing	Standardized ISO 14040, ISO 14044	Partially
<b>Framework for environmental impact analysis</b>	Methodology has been presented	The main tool	Mostly research initiatives, also commercial solution entering the market

Tabella 3: strumenti della SMM [Paju et al, 2010].

Un'altra peculiarità della SMM è l'approccio di tipo *goal oriented*. Infatti, per

l'applicazione, il primo passo è determinare gli obiettivi e gli scopi che si vogliono indagare, come ad esempio ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> durante la produzione oppure ridurre l'impatto ambientale del prodotto. I possibili obiettivi valutabili possono essere i più disparati, ma l'importante è definirli per determinare i confini della ricerca. Strettamente in funzione al primo, il secondo step è quello di scegliere gli indicatori corretti per valutare gli obiettivi scelti. Gli indicatori selezionati saranno quelli visualizzati, poiché è impensabile considerare qualsiasi parametro, si perderebbe l'efficacia visiva, fondamentale nella VSM.

<b>Category name</b>	<b>Sub-categories</b>	<b>Metrics, examples</b>	<b>Units</b>
<b>Energy</b>	Energy type	Electricity, heat, cooling	kWh, MJ
<b>Materials</b>	Raw materials	Steel bars, packaging materials	kg
	Auxiliary materials	Lubrication oil, compressed air, process water	m <sup>3</sup> , kg
	Waste materials	Steel and plastic to recycle, waste oil	kg
<b>Emissions</b>	Air emission	Nitrogen oxides, heavy metals	kg
	Water emissions	Chemical oxygen demand	kg
<b>Production</b>	Time	Throughput time, cycle time	d, h, s
	Production quantity	Piece	pc
<b>Logistics</b>	Mode of conveyance	Vehicle type, load rate, capacity	Several
<b>Costs</b>	Unit cost	Raw material, energy costs	€, \$
	Investment cost	Machine, robot, facility	€, \$
<b>Social</b>	Staff	Number of man-hours of work, work absence days	d/a
	Customers	Number of reclamations	pc/a

Tabella 4: parametri possibili da considerare nella SMM [Paju et al, 2010].

La tabella 4 rappresenta possibili indicatori selezionabili per la valutazione. È interessante vedere come la SMM colleghi i parametri classici di prestazione agli indicatori di sostenibilità. Infatti, la VSM e i DES sono comunemente usati per l'analisi e lo sviluppo di sistemi produttivi, mostrando solo alcuni indicatori chiave di performance produttiva.

Allo stesso tempo, entrambi i metodi partendo da queste considerazioni, creano i dati necessari per il calcolo e l'analisi degli aspetti ambientali. Quando si trattano gli indicatori di sostenibilità è importante, per una buona analisi, riuscire a ricondurre i vari parametri considerati a unità di misura confrontabili, per permettere dei confronti e proporre eventuali migliorie [Paju et al, 2010]. Un esempio potrebbe essere la riduzione delle emissioni di carbonio derivanti dalle operazioni di produzione illustrando il beneficio monetario derivante dalla rispettiva riduzione. La valutazione viene avviata identificando, in modo sistematico, il materiale e flussi di energia, nonché le operazioni che contribuiscono in termini d'impatto

ambientale con la categoria analizzata. Gli indicatori più adatti da mappare potrebbero essere l'energia termica (MJ), consumo di energia elettrica (kWh) per ogni processo unitario nella struttura e costi unitari dell'energia (ad es. \$ Per kWh). Il consumo di elettricità e altre possibili emissioni, vengono quindi convertiti in riscaldamento globale misurati in kg di CO<sub>2</sub>, in modo da poter ricondurre due misurazioni differenti a una unica. La figura rappresenta i 3 apporti dei 3 strumenti citati. L'interfaccia generale è molto simile a quella della VSM.

**Analisi critica:** il modello presentato da Paju è sicuramente uno dei più innovativi, grazie alla completezza di dati considerati, ottenuti dal legame della VSM e della LCA, che unitamente alla possibilità di una visione dinamica e non più statica del sistema, acquisita per mezzo della simulazione, permetteva valutazioni di una precisione e di una accuratezza fino a quel momento inimmaginabili. Il limite del modello, come nei casi precedenti, rimane quello di garantire una valutazione di sostenibilità prettamente legata all'ambiente, per di più tramite l'analisi di dati produttivi, non considerando né aspetti di tipo monetari né di tipo sociale, mancanza sottolineata anche dagli autori, che auspicavano una loro integrazione negli sviluppi futuri della SMM.

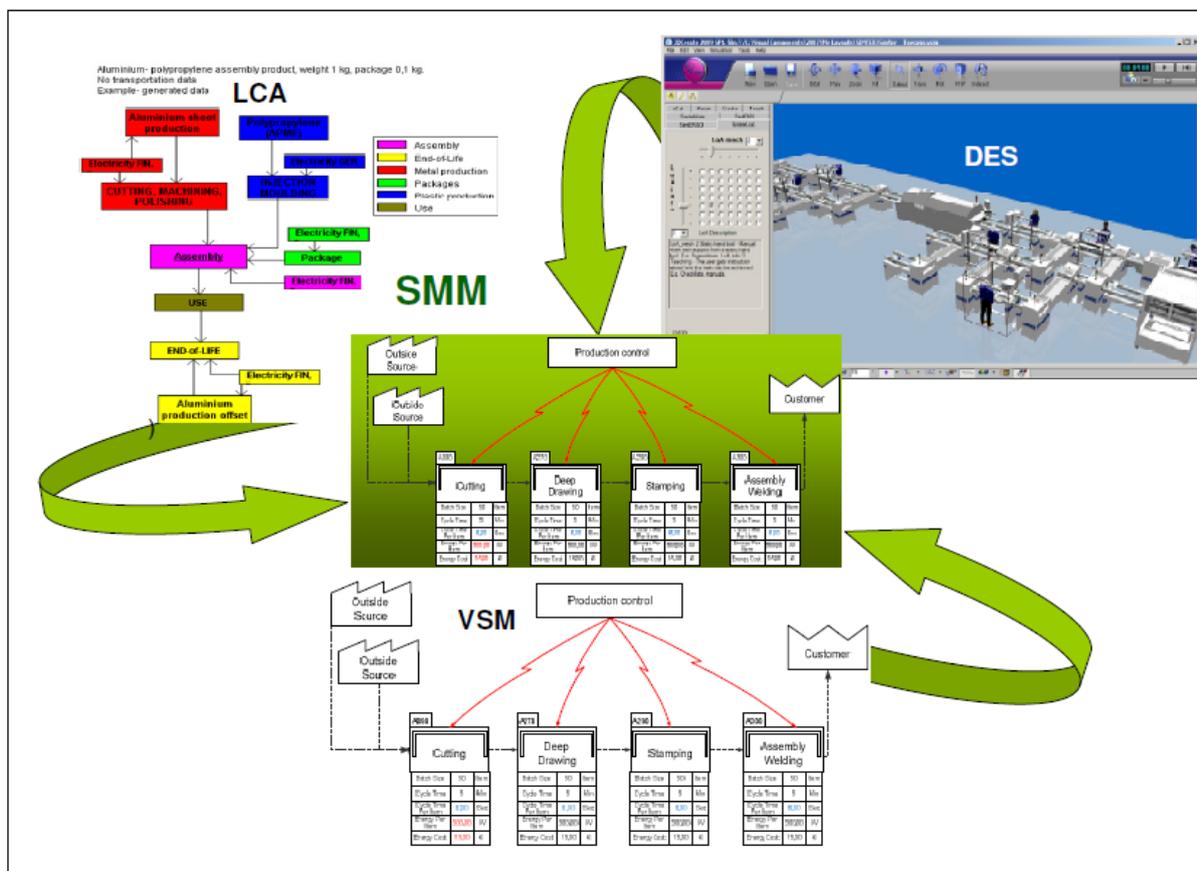


Figura 18: interfaccia grafica SMM [Paju et al, 2010].

Contemporaneamente al modello della

SMM, Glenn Kuriger e Frank Chen seguendo maggiormente lo sviluppo nato con gli studi dell'EPA, proposero la loro *Energy and Environment Value Stream Mapping* (EE-VSM).

L'idea alla base di questo strumento è molto semplice: visto che la VSM si prefigge l'obiettivo di ridurre le famose 7 tipologie di sprechi individuati da Taiichi Ohno, allora deve essere possibile ottenere efficientamenti, in termini di risparmio energetico e d'impatto ambientale delle sostanze utilizzate, introducendo questi parametri all'interno della *Value Stream Mapping* [Kuriger e Frank Chen, 2010].

Infatti, oltre alla classica simbologia, ormai nota, vengono introdotte icone specifiche per graficare il consumo energetico e la pericolosità dei materiali nel processo produttivo, in modo da consentire facilmente la valutazione dell'influenza che il flusso del valore ha sulle prestazioni di funzionamento, sull'efficienza energetica e sulla sostenibilità ambientale.

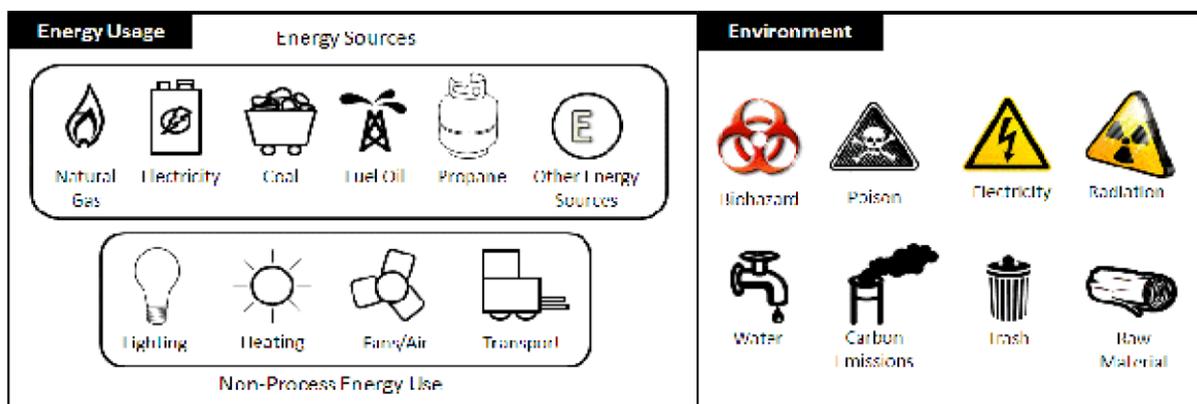


Figura 19: icone aggiuntive della EE-VSM [Kuriger e Frank Chen, 2010].

Le icone rappresentanti il consumo energetico identificano il tipo di energia utilizzata nelle varie fasi del processo a valore.

Le figure dell'*energy usage*, come si può vedere anche in figura sono divise in due categorie: fonti di energia e usi di energia non di processo.

La prima categoria si riferisce al tipo di energia che viene utilizzata per alimentare ogni processo (come elettricità o gas naturale), mentre la seconda si riferisce a energia che viene utilizzata in attività non di processo (come riscaldamento e illuminazione).

Invece, le icone ambientali dovrebbero identificare il materiale usato e le potenziali minacce per l'ambiente [US EPA, 2007b].

Il funzionamento dello strumento riprende fedelmente il primo modello proposto dall'EPA, nel quale vengono registrati sotto ogni processo, il materiale e il tempo per le attività a valore e non a valore.

Nella EE-VSM, ai dati appena visti, si aggiunge il consumo di energia e l'impatto ambientale, dando vita ad una VSM dove è possibile individuare eventuali ottimizzazioni energetiche e ambientali a partire da quelle attività o fasi non a valore, che quindi non portano nessun vantaggio all'azienda, ma anzi rappresentano soltanto voci di costo inutili.

La figura rappresenta il modello descritto, dove è possibile osservare una linea rossa mostra il flusso non a valore, dal quale partire per effettuare dei tagli, la linea verde raffigura invece il flusso a valore, che è chiaramente migliorabile ma con maggiore attenzione.

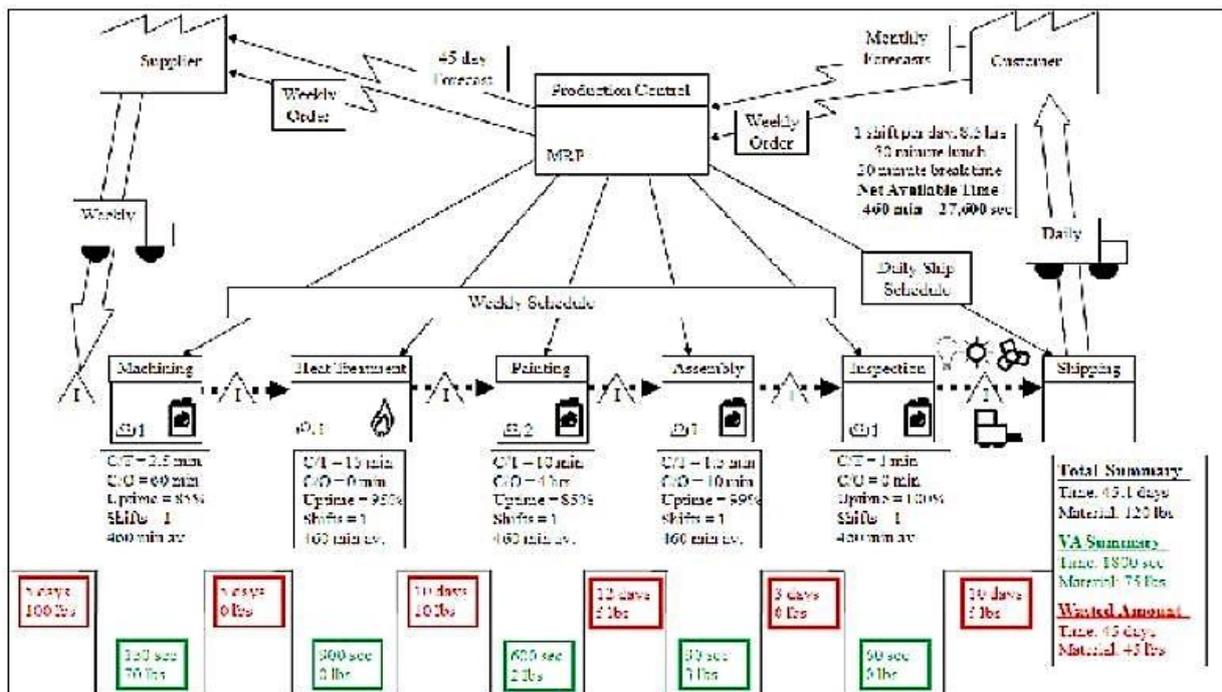


Figura 20: schema grafico EE-VSM [Kuriger e Frank Chen, 2010].

**Analisi critica:** il modello descritto rappresenta una soluzione molto semplice, ma ipoteticamente efficace per una riduzione “superficiale” dell'impatto ambientale del processo. Il problema legato al consumo energetico spesso, è la stima dei dati interessanti da segnare all'interno della VSM, dal momento che sono dati che non sono accessibili direttamente come può essere la stima di un tempo o il peso di un rifiuto.

Un'altra problematica, già evidenziata anche nei precedenti modelli, è che si considera soltanto una sostenibilità di tipo ambientale.

È molto interessante invece l'idea di introdurre icone specifiche aggiuntive rappresentative del consumo energetico e dell'impatto ambientale. Questa idea, introdotta per la prima volta, risulta vincente, poiché la prima caratteristica della VSM e quindi della EE-VSM è che è uno strumento visivo.

Nel 2012, Mohammad Dadashzadeh e T.J. Wharton, Ph.D. applicarono la Green Value Stream di Brett Wills riportata nel libro *Green Intentions*, ad un dipartimento IT in un'azienda americana.

La *Green Value Stream Mapping* (GVSM) valuta se, sistematicamente ogni attività, processo, operazione del flusso di valore o strategicamente importanti per il business, dal punto di vista ambientale, sono positive [Dadashzadeh MD, Wharton TJ, 2012].

In caso contrario, sono considerate uno spreco e perciò devono essere trasformate o eliminate. L'obiettivo è quello di far convergere un'organizzazione verso la sostenibilità concentrandosi sulla riduzione dei "green waste" [wikipedia] che hanno un impatto rilevante sull'ambiente. I green waste, alla pari dei muda del TPS, sono esattamente 7 e sono:

Symbol	Waste	Definition of Waste
	Energy	Costs associated with consuming more energy than required from a source that negatively impacts the environment
	Water	Costs related to using more water than needed and costs to have it taken away and cleaned
	Materials	Using materials that are designed into products that end up in the landfill rather than reused
	Garbage	Paying for something that has a negative impact on the environment if you throw it away, than paying again to dispose of it
	Transportation	Costs due to excess and unnecessary travel that results in negative impacts on the environment from the burning of fossil fuels
	Emissions	Costs associated with the discharge of onsite pollutants and related fines and clean up fees
	Biodiversity	Costs associated with direct destruction of flora, fauna, and organisms resulting from the building of infrastructure, or from the over harvesting of natural resources

Tabella 5: Icone grafiche dei green wastes considerati [Dadashzadeh MD, Wharton TJ, 2012].

Il parallelismo, come appena evidenziato con la VSM, fu fatto a voler sottolineare una ricercata continuità tra i due strumenti, data la grande somiglianza di applicazione, ma con differenti obiettivi, uno prettamente legato all'efficientamento di processo la seconda a un miglioramento ambientale.

La linearità tra i due è rafforzata dalla descrizione delle 7 fasi di applicazione proposte da Wills [Wills, B. (2009)]:

1. Acquisire supporto gestionale, sviluppare una visione e nominare campioni verdi all'interno dell'organizzazione,
2. Cambiare il proprio modo di pensare; accogliendo il concetto di guardare le cose dal punto di vista dell'ambiente.

3. Essere in grado di elencare ciascuno dei sette *green waste* e la procedura passo-passo per eliminarli.
4. Creare una *current-state green stream map* identificando e misurando i *green waste* nel proprio lavoro.
5. Creare *future-state green stream map* con l'obiettivo il passaggio di minimizzazione per ciascuno dei *green waste*. Quindi, implementare continuamente le soluzioni sulla *future-state stream map* finché non si sono ridotti al minimo tutti i rifiuti per quanto possibile.
6. Perseguire la perfezione dell'eliminazione totale di tutti e sette i rifiuti seguendo le fasi finali dell'eliminazione di ciascuno dei *green waste*, consentendo così di raggiungere il tuo stato verde, e
7. Porta GVSM alla tua catena di approvvigionamento.

Come facilmente osservabile, i passaggi appena descritti sono simili al processo generale per la costruzione della VSM.

Infatti, iniziando con il *current-state green value stream map*, l'obiettivo è identificare e misurare i rifiuti ambientali, in modo che si possano implementare azioni e programmi specifici ridurli, portando a costi ridotti e maggiori benefici per la società.

**Analisi critica:** quello appena descritto è un altro modello presente in letteratura che mira alla riduzione dei rifiuti ambientali, per migliorare la sostenibilità dell'azienda. Anche questo, come tutti i casi precedenti, considera soltanto *Environmental aspects*.

Interessante è sicuramente osservare come l'autore della GVSM, voglia mantenere fedelmente una corrispondenza applicativa e di similarità con la VSM di Rother e Shook, quasi a voler mostrare una continuità d'intenti presente tra un approccio *Lean* e quello *Green*.

Dopo un veloce excursus cronologico su un'ampia serie di estensioni della *Value Stream Mapping*, sviluppate per intercettare e migliorare gli aspetti ambientali di un processo produttivo, di seguito presenterò i modelli che rappresentano, per importanza, innovazione e completezza di analisi, il cuore degli studi sull'argomento, partendo dal più importante, la *Sustainable Value Stream Mapping* (Sus-VSM)

L'approccio descrittivo sarà quello utilizzato anche nei precedenti studi, ma entrando maggiormente nel dettaglio, soprattutto perché, a differenza dei casi visti, vengono introdotti parametri fino ad esso non considerati.

### **5.3. Sustainable Value Stream Mapping – (Sus-VSM)**

Il lavoro presentato da William Faulkner e Fazleena Badurdeen, due docenti dell'università del Kentucky nel 2014, ha sicuramente assunto un ruolo di riferimento per gli studiosi della *Value Stream Mapping* sostenibile.

Il loro studio fu presentato, dopo un'attenta analisi dello stato dell'arte, tenendo in considerazione ognuno degli studi precedentemente descritti.

Infatti, capirono che per un'analisi di sostenibilità completa, non poteva bastare la semplice inclusione, all'interno della VSM, di indicatori legati all'ambiente, ma si dovevano integrare con aspetti legati anche a chi abita l'azienda, ovvero i lavoratori.

#### **5.3.1. Metriche per valutare la sostenibilità produttiva**

Le metriche introdotte sono necessarie per valutare le performance sociali ed ambientali dell'intero ciclo di vita del prodotto e allo stesso tempo di ogni singolo processo necessario per la sua realizzazione.

Tuttavia, la costruzione di queste metriche richiese un'attenta valutazione per fare in modo che potessero misurare correttamente ed efficacemente ciò per cui erano state introdotte.

Per i due autori fu piuttosto difficoltosa la scelta degli indicatori più appropriati per costituire queste metriche, poiché questi dovevano intercettare al meglio la realtà, in modo da poter valutare efficacemente la sostenibilità di un processo o di un sistema.

In letteratura esistevano già un certo numero di studi e schemi di misurazione per la valutazione della sostenibilità produttiva che variavano a seconda del campo di applicazione.

Come riferimento per la costruzione delle metriche ricercate, utilizzarono uno studio sviluppato dal *National Institute of Standards and Technology* (NIST) e successivamente ripreso da [Lu et al. (2011)], il quale costituiva una struttura per la valutazione del processo di produzione sostenibile dal punto di vista economico, ambientale e sociale. In questo lavoro sono presentati 6 gruppi che rappresentano 6 macro-metriche, all'interno di ognuno delle quali vi sono altre metriche per la valutazione delle performance, come visibile nella tabella 6, che saranno utilizzate come base per identificare le metriche ambientali e sociali all'interno della Sus-VSM.

Environmental impact	Energy consumption	Cost
GHG emission from energy consumption of the line (ton CO <sub>2</sub> eq./unit)	In-line energy consumption (kWh/unit)	Labor cost (\$/unit)
Ratio of renewable energy used (%)	Energy consumption on maintaining facility environment (kWh/unit)	Cost for use of energy (\$/unit)
Total water consumption (ton/unit)	Energy consumption for transportation into/out of the line (kWh/unit)	Cost of consumables (\$/unit)
Mass of restricted disposals (kg/unit)	Ratio of use of renewable energy (%)	Maintenance cost (\$/unit)
Noise level outside the factory (dB)		Cost of by-product treatment (\$/unit)
		Indirect labor cost (\$/unit)
Operator Safety	Personal Health	Waste Management
Exposure to Corrosive/toxic chemicals (incidents/person)	Chemical contamination of working environment (mg/m <sup>3</sup> )	Mass of disposed consumables (kg/unit)
Exposure to high energy components (incidents/person)	Mist/dust level (mg/m <sup>3</sup> )	Consumables reuse ratio (%)
Injury rate (injuries/unit)	Noise level inside factory (dB)	Mass of mist generation (kg/unit)
	Physical load index (dimensionless)	Mass of disposed chips and scraps (kg/unit)
	Health-related absenteeism rate (%)	Ratio of recycled chips and scraps (%)

Tabella 6: Sustainable Manufacturing Process Clusters and Metrics [Lu et al., 2011].

Gli ideatori della Sus-VSM, data l'importanza e la criticità per l'ottenimento di buoni risultati, analizzano la selezione delle metriche in modo critico non riducendola alla mera applicazione di un set di metriche prese da un insieme più grande, come succedeva spesso negli studi precedenti.

Infatti, la selezione delle metriche per l'implementazione della Sus-VSM, deve avvenire tenendo in considerazione due aspetti fondamentali.

In primo luogo, affinché la Sus-VSM possa essere uno strumento efficace per valutare la sostenibilità manifatturiera, bisognerebbe selezionare il minimo numero di metriche, tra quelle della tabella 6, in grado di garantire il massimo beneficio possibile, per evitare ridondanze e duplicazioni inutili.

Inoltre, bisogna considerare che una metrica può essere più o meno rappresentativa a seconda del contesto/settore aziendale in cui si vuole applicare.

Il secondo aspetto è che la Sus-VSM, mantiene in quanto tale la caratteristica principale della *Value Stream Mapping*, ovvero quella di essere uno strumento visivo.

Se venissero considerate sempre tutte le metriche o un gran numero di queste si rischierebbe di riempire il foglio su cui graficare la Sus-VSM, di un gran numero di informazioni inutili o quanto meno non significative, perdendo così l'attenzione su quelle che invece ne richiederebbero maggiormente [Faulkner, Badurdeen, 2014].

Per cui i due campi di indagine della Sus-VSM sono gli aspetti ambientali (*Environmental Metrics*) come tutti i precedenti studi e, soprattutto, aspetti sociali, legati alla sicurezza degli operatori (*Societal Metrics*)

### 5.3.1.1. Environmental metrics

Per la valutazione dell'impatto ambientale di un sistema produttivo possono essere usati un gran numero di parametri differenti.

Alcuni studiosi definiscono una produzione sostenibile quando vi è una particolare attenzione sulle risorse naturali e non rinnovabili e allo stesso tempo c'è un controllo sull'utilizzo dei metalli, sui fluidi dei macchinari, sull'acqua e sull'energia impiegata.

Partendo da queste considerazioni e generalizzandole a qualsiasi processo di produzione, le metriche più significative da includere in Sus-VSM sono:

1. Il consumo dell'acqua (*Water Consumption*)
2. L'uso delle materie prime (*Raw material usage*)
3. Il consumo di energia (*Energy consumption*)

Vengono considerate nello stesso momento 3 tipologie differenti di consumi. Infatti, in tutti i casi precedenti, nelle VSM venivano introdotti magari le stesse metriche, ma non venivano mai valutate nello stesso momento, le applicazioni erano sempre ad hoc per ogni caso specifico.

In aggiunta, ognuno di questi parametri, ha una corrispondente simbologia grafica in modo da essere visivamente sempre sotto l'attenzione di chi l'utilizza.

Il primo parametro considerato è quello legato al consumo dell'acqua, *Water Consumption*. Questo parametro vuole andare a misurare il consumo d'acqua effettivo che avviene durante il processo produttivo, mentre non considera l'eventuale quantità d'acqua contenuta all'interno del prodotto finale, poiché considerata all'interno della materia prima.

Per determinare il valore del consumo d'acqua, per ogni processo sono osservati 3 fattori: **l'acqua richiesta**, **l'acqua utilizzata** e **l'acqua dispersa**. Quest'ultima voce indica quella parte di acqua che viene incanalata verso il sistema idrico e quindi non è riutilizzabile.

La stessa suddivisione viene usata anche per quei processi dove si ha un ampio utilizzo di olii e liquidi refrigeranti, agenti altamente dannosi per l'ambiente.

La simbologia utilizzata è molto semplice ed è costituita da 3 riquadri posti sotto ogni processo riportanti le 3 voci sopra citate.

Process I			Process II			Process III			Total		
Required	Used	Net	Required	Used	Net	Required	Used	Net	Required	Used	Net
1 gal	1 gal	1 gal	3 gal	3 gal	0 gal	10 gal	12 gal	5 gal	14 gal	16 gal	6 gal

Figura 21: simbologia del consumo di acqua processo per processo [Faulkner, Badurdeen, 2014].

La seconda metrica è quella inerente al consumo/utilizzo della materia prima *Raw material usage*. Questo parametro è uno dei più “classici”, ovvero uno di quelli che furono introdotti anche negli studi precedenti, concentrandosi in particolare su quella parte che veniva scartata durante il processo. L’approccio utilizzato per la Sus-VSM, invece è più completo, poiché oltre a considerare la **parte sottratta**, viene contata anche un eventuale **aggiunta di materiale**, come una saldatura o un assemblaggio.

Questo perché il materiale, insieme all’energia elettrica rappresentano la maggior parte del valore e costo di un prodotto.

Anche per questa metrica è presente una raffigurazione grafica, costituita da una linea tratteggiata, posta sotto ogni processo, nella quale vengono segnate in lbs, eventuali aggiunte di materiale sopra la linea ed eventuali sottrazioni di materiale sotto la linea.

Inoltre, nel caso ci fossero più di un materiale, verrebbe tenuto nota soltanto quello più rilevante.

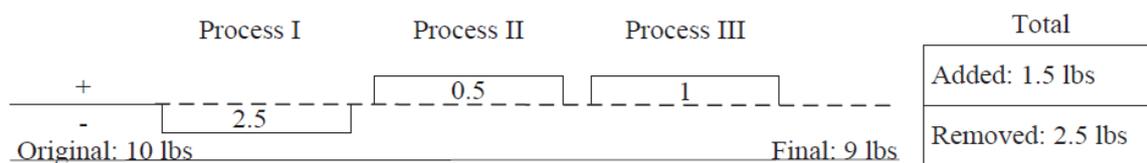


Figura 22: simbologia per la quantificazione della materia prima [Faulkner, Badurdeen, 2014].

La terza ed ultima metrica esaminata e introdotta all’interno delle metriche ambientali, è quella legata al consumo di energia, *Energy consumption*.

Questo fattore è molto importante, sia dal punto di vista ambientale che economico, essendo l’energia molto rilevante in termine di emissioni di CO<sub>2</sub> o di GHG, ma anche in termini di costo, specialmente in particolari produzioni.

All’interno di questo coefficiente, sono registrati tutti i consumi dei vari processi e delle varie movimentazioni, intra-plant ed extra-plant, necessarie alla produzione del prodotto. Non sono invece calcolate le varie perdite dei macchinari e i consumi indiretti, come riscaldamento e luce, per non complicare troppo la stesura.

Un aspetto molto importante, già emerso nella *Sustainable Manufacturing Mapping* (SMM), è quello di unificare le varie voci di consumo energetico sotto una stessa unità di misura, per permettere confronti e somme totali [Paju et al, 2010]. Infatti, mentre l'utilizzo energetico per un macchinario può essere calcolato in KWh, quello di un trasporto sarà in consumo di carburante ad esempio e perciò dovrà essere convertito.

Come nei casi precedenti, fu ideata una rappresentazione grafica capace di tenere traccia di quanto descritto. All'interno degli ovali è possibile trovare il consumo di ogni processo, mentre tra un ovale e l'altro vediamo il consumo dovuto al trasporto.

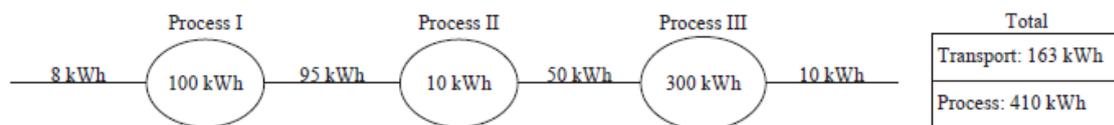


Figura 23: simbologia per la quantificazione del consumo di energia [Faulkner, Badurdeen, 2014].

### 5.3.1.2. Societal metrics

La grande novità del modello di William Faulkner e Fazleena Badurdeen, che lo contraddistingue dagli altri, rendendolo il riferimento di molti, è l'introduzione della categoria delle metriche sociali.

Infatti, come sottolineato anche in precedenza, quando si parla di sostenibilità, lo si riferisce anche all'ambiente e al contesto in cui operano i principali attori del processo produttivo, gli operai.

Questa categoria di metriche vuole proprio intercettare le condizioni di lavoro in cui quotidianamente le persone si trovano ad operare, tramite due metriche:

- 1) La metrica del lavoro fisico (*Physical work*)
- 2) La metrica dell'ambiente di lavoro (*Work environment*)

La prima metrica, *Physical work*, è inserita non per eseguire una valutazione ergonomica completa ma per identificare potenziali operazioni a rischio, che richiedono ulteriori analisi.

Viene utilizzato come riferimento il *Physical Load Index* (PLI), introdotto da [Hollman et al.1999] che rappresenta una misura grezza dell'ergonomia dell'operazione, determinata tramite la compilazione di un questionario, nel quale ogni operatore segna con che frequenza (mai-troppo-spesso) mantiene particolari posizioni del corpo del tronco, delle braccia, e gambe con eventuali carichi sollevati.

Con il PLI, dopo la compilazione del questionario si crea un punteggio che va da 0 a 56, che è facilmente riportabile sulla Sus-VSM, e quei processi con punteggi alti dovranno essere oggetto di analisi approfondite. Inoltre, nel caso ci fossero più operatori per uno stesso processo è necessario tenere in considerazione il risultato peggiore.

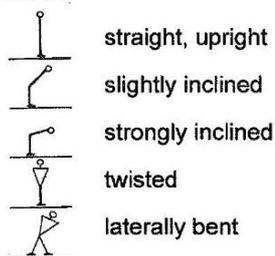
### Appendix I

#### Musculoskeletal load due to body posture and strenuous effort during work

Please estimate, how often you have to work with the body postures displayed below, and how often you have to lift or to carry the weights mentioned below.

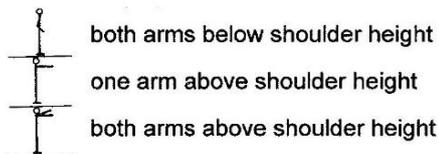
Please fill up **all** lines!

#### Trunk



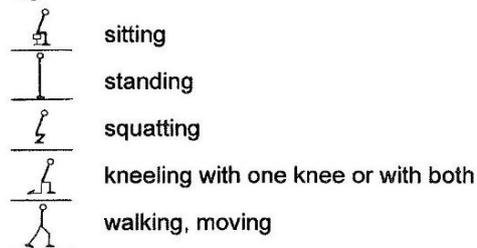
never	seldom	sometimes	often	very often

#### Arms



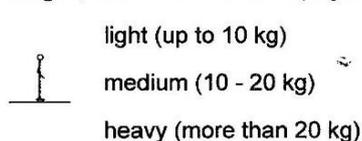
never	seldom	sometimes	often	very often

#### Legs



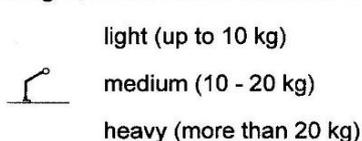
never	seldom	sometimes	often	very often

#### Weight, lifted / carried with upright trunk



never	seldom	sometimes	often	very often

#### Weight, lifted / carried with inclined trunk



never	seldom	sometimes	often	very often

Figura 24: la scheda da compilare per il calcolo del PLI [Hollman et al.1999].

Il secondo parametro che viene tenuto in considerazione è una valutazione sulla sicurezza dell'ambiente in cui gli operatori si trovano a lavorare, *Work environment metric*.

Potential operator risk	Description
–	Potential risk does not exist (DNE).
1	Risk is present but has low impact and probability of occurring.
2	Risk is present but has low impact and high probability or high impact and low probability of occurring.
3	Risk is present but has medium impact and medium probability of occurring.
4	Risk is present but has either medium impact and high probability of occurring or high impact and medium probability of occurring.
5	Risk is present but has high impact and high probability of occurring.

Tabella 7: ranking potenziali rischi ambientali [Faulkner, Badurdeen, 2014].

All'interno di questa categoria rientra la stima di 4 tipologie di rischi: *Electrical Systems (E)*, *Hazardous Chemicals/Materials Used (H)*, *Pressurized Systems (P)*, e *High-Speed Components (S)*, ai quali si aggiunge una valutazione

sulla quantità di rumore assorbita. Le prime 4 voci sono stimate assegnando un punteggio da 1 a 5, che valuta il rischio e la probabilità di accadimento dello stesso. Una volta valutato il ognuno dei rischi sopra riportati è possibile segnare questi risultati anche direttamente sulla mappa tramite il simbolo in

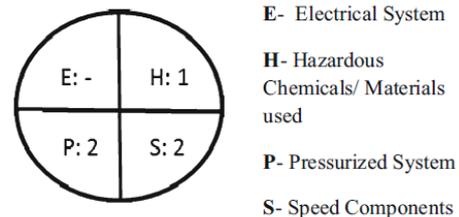


Figura 25: simbolo Work environment metric

figura 25. Dove è possibile osservare il simbolo delle 4 voci sopra riportate. Infine, come anticipato vi è anche la valutazione della rumorosità che non viene inserita nel grafico e che richiede l'applicazione di due formule differenti. La prima formula viene utilizzata per calcolare la quantità di rumore giornaliera che un operatore può assorbire (D):

$$D = \frac{\text{Tempo di esposizione ad un certo livello di suono}}{\text{Massimo livello di suono}} \times 100\%$$

Una volta calcolato questo valore si calcola il tempo massimo per il quale l'operatore può essere esposto a quella quantità D di rumore.

$$TWA = 16.61 \log \frac{D}{100} + 90$$

Il risultato di questa operazione viene riportata nei box di ogni processo con gli altri valori e viene modificato qualora l'operatore utilizzi protezioni.

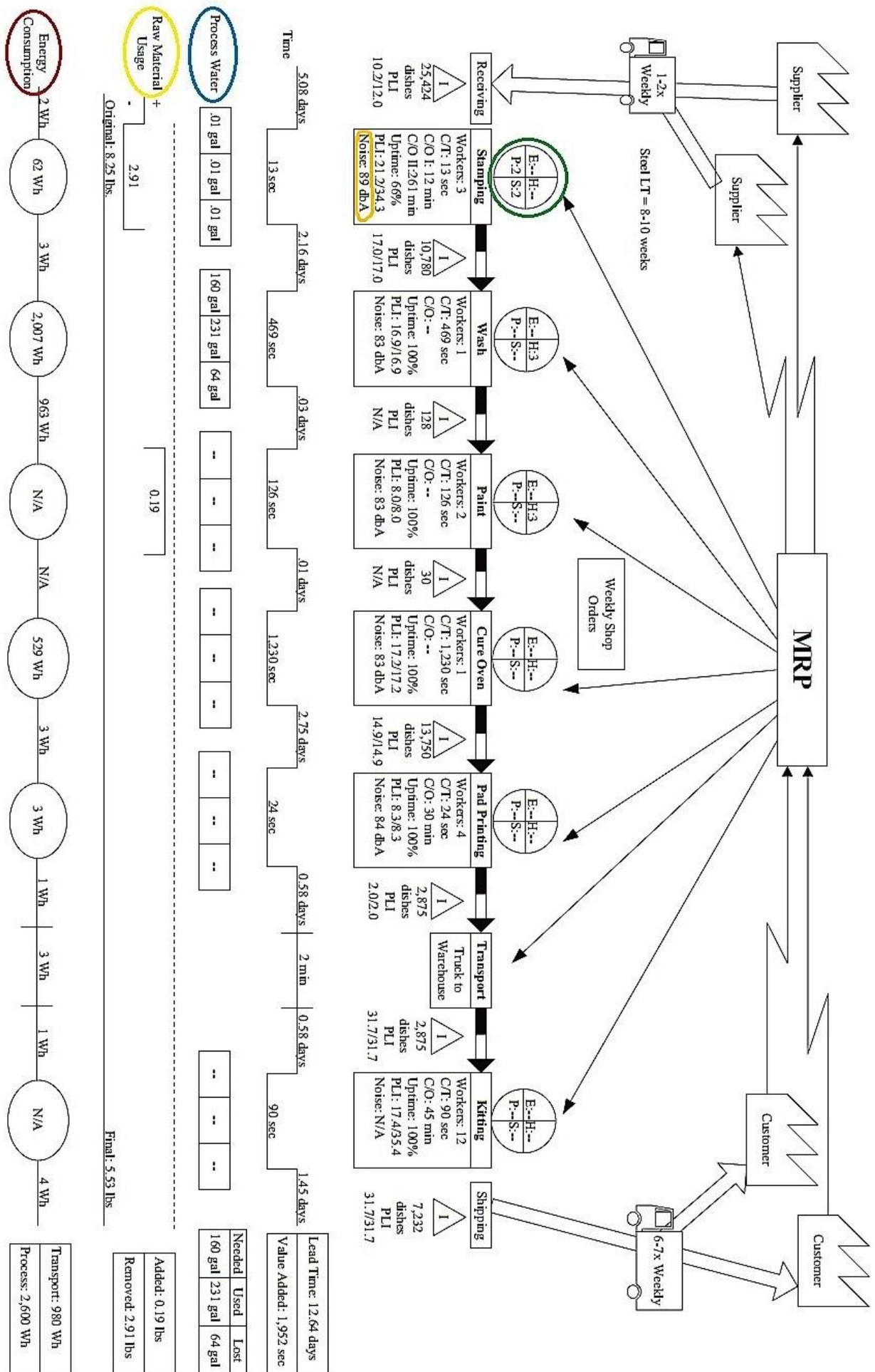


Figura 26: rappresentazione current-state della Sus-VSM [Faulkner, Badurdeen, 2014].

**Analisi critica:** la figura finale rappresenta la costruzione della Sus-VSM con tutte le varie metriche descritte in precedenza. È interessante vedere come la struttura della VSM sia rimasta esattamente la stessa con l'aggiunta di qualche simbologia. I punti che rendono questo modello il più completo e utilizzato sono molteplici: anzitutto introduce un'analisi dei consumi di tutte quelle voci, energia, acqua e materiale, che fino a questo momento erano state trattate singolarmente, per una valutazione dell'impatto ambientale a 360°. Viene aggiunta, per la prima volta, una stima vera e propria della sostenibilità delle condizioni di lavoro degli operatori, dalla loro ergonomia allo studio dell'ambiente in cui operano. A contorno di tutto questo, i due autori sono riusciti a proporre un'analisi così approfondita senza snaturare le caratteristiche della VSM, in primis di essere un elemento grafico, proponendo raffigurazioni che non appesantiscono troppo la struttura del disegno ma che sono di immediata comprensione e secondo quella di poter essere realizzata semplicemente con carta e matita camminando lungo processo.

Type of waste/issue	Traditional VSM	Sus-VSM	Metric type
Time waste	+	+	Economic
Raw material waste	-	+	Environmental
Process water waste	-	+	Environmental
Energy waste	-	+	Environmental
Job hazards	-	+	Societal
Ergonomics	-	+	Societal

Tabella 8: confronto tra VSM e Sus-VSM [Faulkner, Badurdeen, 2014].

## 5.4. Studi post-Sus-VSM

Come già evidenziato in precedenza, la Sus-VSM ha segnato una svolta nella letteratura dello sviluppo sostenibile.

Infatti, proprio a partire da questo modello molti studiosi si ispirarono per proporre delle estensioni e integrazioni.

### 5.4.1. Studio n°1 tratto da: *“Life cycle assessment integrated value stream mapping framework to ensure sustainable manufacturing: a case study” 2015.*

Uno dei primi studi proposti fu quello presentato da Vinodh, Ben Ruben e Asokan, che crearono un modello integrativo ed estensivo della Sus-VSM.

Il loro modello, validato e applicato in uno stabilimento di componenti automotive in India, riprendeva fedelmente la struttura e le metriche utilizzate della Sus-VSM, come i parametri ambientali, quindi il consumo d'acqua, d'energia e l'utilizzo di materia prima, e i parametri fisici, tra cui la valutazione ergonomica e la valutazione del rischio nell'ambiente di lavoro.

Le grandi novità introdotte furono due: l'inserimento, per la prima volta, di parametri che misurassero direttamente la sfera economica e l'integrazione della Sus-VSM con l'LCIA (*Life Cycle impact Assessment*), che dà seguito al tentativo di interazione, di Marja Paju nella *Sustainable Manufacturing Mapping* (SMM), tra la VSM e LCA [Paju et al, 2010].

L'obiettivo delle metriche economiche è quello di garantire una crescita economica della produzione, in un eco-sistema bilanciato, tramite lo studio dei costi associati.

La minimizzazione dei costi può essere raggiunta soltanto tramite un coordinamento più attento delle competenze e delle risorse, grazie alla quale ottenere miglioramenti dei consumi strategici.

Parimenti allo studio di Glenn Kuriger e Frank Chen, *Energy and Environment Value Stream Mapping* (EE-VSM), viene introdotta una nuova linea, oltre a quelle già viste legate ai consumi di materie prime, acqua ed energia, nella quale vengono segnati i costi VA (*Value-Added*) e i costi NVA (*Non Value-Added*).



Figura 27: rappresentazione della metrica economica [Vinodh et al,2015].

Nei costi VA rientrano il costo della materia prima, costi di lavorazione e costi di manodopera, mentre nei costi NVA troviamo i costi di giacenza e i costi di *holding*.

Per il calcolo effettivo dei costi VA di ogni processo, vengono sommati i costi diretti, quelli sopra citati e una componente di costi indiretti formata dai costi di *holding* e di *WIP* (*Work-in-progress*) del processo in analisi.

$$Customer\ willingness\ to\ pay = \sum_{i=1}^n \frac{mi}{D} + \frac{CTi(Mi + Li)}{3600}$$

Dove  $m_i$  indica il costo del materiale per il processo,  $CT_i$  indica tempo ciclo del processo mentre  $M_i$  e  $L_i$  indicano il costo della lavorazione e costo della mano d'opera del processo.

I costi NVA vengono invece determinati secondo questa equazione:

$$\text{Customer non willingness to pay} = \sum_{i=1}^{n+1} h_i * WIP_i$$

Dove  $h_i$  indica il costo di mantenimento e  $WIP_i$  indica il costo delle lavorazioni in corso.

La seconda grande novità del modello è l'affiancamento della Sus-VSM con il *Life Cycle impact Assessment* (LCIA), una valutazione dell'impatto ambientale del sistema prodotto inteso in tutte le sue fasi.

Questa previsione viene effettuata con l'ausilio di un software, SimaPro 8.1 LCA package, che permette di stimare l'impatto in termini di salute umana, qualità dell'ecosistema e di risorse.

Il pacchetto software lavora in 4 fasi: definizione degli obiettivi, *Life Cycle Inventory* (LCI), *Life Cycle impact Assessment* (LCIA) e interpretazione dei risultati [Vinodh et al,2015].

La valutazione va dall'estrazione delle materie prime alla dismissione del prodotto finale e inizialmente i dati in input sono: i processi necessari, le operazioni, i materiali usati, l'acqua, gli olii e i liquidi refrigeranti consumati.

SimaPro elabora i dati che ha ricevuto e restituisce come risultato, per ogni processo, una valutazione delle 3 categorie soprariportati, salute umana, qualità dell'ecosistema e di risorse sotto differenti aspetti: *damage assessment*, *normalization*, *weighting* e *single score*.

Questa stima permette di capire quale delle 3 categorie è maggiormente toccata dalle emissioni di ogni singolo processo e dal prodotto stesso e se i limiti imposti dalle regolamentazioni vigenti sono rispettati.

Inoltre, il programma permette anche, in base ai dati in input, di selezionare qual è la miglior tipologia di smaltimento possibile per un determinato prodotto, tra la discarica, il riciclo e l'inceneritore.

Una volta tracciato il *current-state* della Sus-VSM è possibile affiancargli l'analisi LCIA che permette di individuare possibili migliorie, sia a livello di processo che a livello di prodotto. In figura 28 è riportato il *future-state* della fabbrica di componenti automotive, dove è possibile osservare la linea dei costi per la valutazione delle metriche economiche e alcuni accorgimenti colorati, derivanti dall'analisi LCIA.

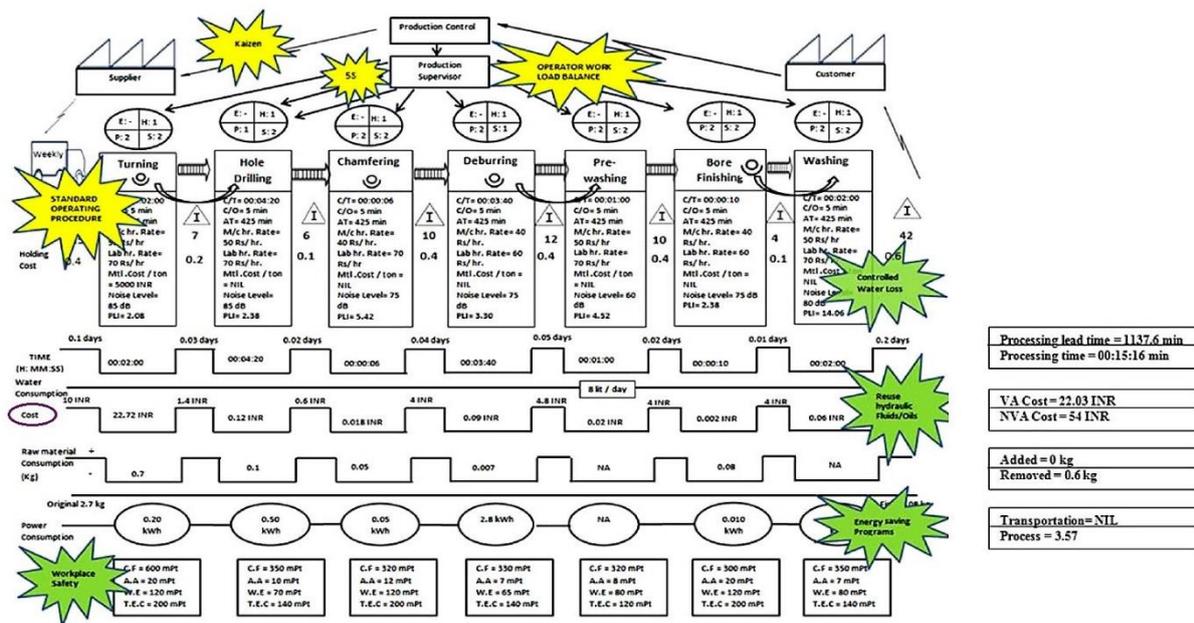


Figura 28: future state in cui sono riportate, negli spazi colorati, le miglieorie da apporre derivanti dall'analisi LCA [Vinodh et al,2015].

**Analisi critica:** il modello descritto rappresenta un'estensione della Sus-VSM molto interessante. Infatti, l'introduzione della linea per la valutazione economica chiude il cerchio della ricerca di parametri di sostenibilità, fino a questo momento limitati per la gran parte ad analisi ambientali ed integrati con i parametri sociali soltanto con la Sus-VSM. Inoltre, l'analisi LCIA, molto utile e centrata, riallarga l'orizzonte verso l'utilizzo di pacchetti software, come per altro visto anche già in precedenza. Questa integrazione con programmi simulativi, saranno sempre più utilizzati dal momento che il mercato richiede oggi giorno una previsione su possibili scenari futuri sempre più precisa per una molteplicità di motivi, sia competitivi ma anche di rispetto di ciò che ci circonda.

#### 5.4.2. Studio n°2 tratto da: *“An approach to integrate Parameters and Indicators of Sustainability Management into Value Stream Mapping” 2016*

Nel 2016, tre autori Austriaci, Thomas Edtmayr, Alexander Sunk e Wilfried Sihn, decisero di affrontare il tema della sostenibilità produttiva, discostandosi dagli studi descritti fino a questo momento.

Il loro studio parte dalla consapevolezza che in letteratura esistano molti approcci che trattano di sostenibilità ma solo in modo molto superficiale senza, né una considerazione dettagliata dell'uso delle risorse, né senza un sottostante modello universale per il calcolo degli indicatori di sostenibilità. Proprio la mancanza di uno standard da seguire è l'assenza più grave che

avvertono, poiché sarebbe necessario per sviluppare strategie e miglioramenti sostenibili a prescindere dalla tipologia di prodotto o processo, evitando di creare modelli ad hoc per ogni caso.

Viene quindi presentato un metodo, che, partendo da questa consapevolezza, cerca di combinare parametri e indicatori di sostenibilità, riconosciuti dalle linee guida internazionali, che mirano alla minimizzazione della dismissione di rifiuti per aumentare le quote di materiale riusato, riciclato e recuperato, sfruttando sempre le caratteristiche grafiche della *Value Stream Mapping*.

L'approccio utilizzato, che prende il nome di *ideal-typical re-utilization cycle*, è alla base della valutazione degli indicatori di sostenibilità che verranno impiegati [Edtmayr T et al, 2016]. L' *ideal-typical re-utilization cycle* nasce direttamente secondo i principi della innovativa *circular economy*, dove il rifiuto, non è più visto come qualcosa "da buttare" ma può e, anzi, deve essere riutilizzato. Viene definita "materia prima seconda" quelle risorse utilizzate per realizzare un nuovo prodotto, non vergini, ma derivanti da un processo di riciclo o riutilizzo.

L'idea degli autori è proprio quello di sfruttare la VSM e alcuni indicatori, ricavati anche tramite formulazioni matematiche che di seguito presenterò, per mostrare, processo per processo, quanta parte di scarto viene riciclata, riutilizzata o recuperata e quanta invece viene destinata allo smaltimento.

#### **5.4.2.1. Formulazioni matematiche**

Vengono introdotti alcune formule matematiche per definire le 3 tipologie di rifiuti citate in precedenza.

La prima riflessione che viene offerta riguarda l'accumulo di scarti lungo il processo produttivo. Infatti, si evidenzia come i processi a monte di una catena produttiva, dovranno produrre e lavorare più materiale rispetto a quelli a valle per soddisfare le richieste del cliente, dal momento che bisogna tenere in considerazione una certa quantità fisiologica di scarti. Mentre il flusso del materiale va da monte verso valle, l'accumulo di scarti segue il percorso contrario. Viene quindi introdotto:

$$Scum(i) = 1 - \prod_{i=n}^1 (1 - Si)$$

- **Scum** rappresenta la quantità di scarto accumulato lungo il flusso del valore [%]
- **Si** rappresenta la quantità di scarto del processo i-esimo [%]

Direttamente collegata con formula precedente, si calcola:

$$Dnet.p(i) = \frac{Dnet}{1 - Scum(i)}$$

- **Dnet.p(i)** rappresenta l'aumento della domanda per ogni singolo processo a causa dello scarto cumulato nel processo i-esimo [parti per unità di tempo]
- **Dnet** rappresenta la richiesta reale del cliente [parti per unità di tempo]
- **Scum** rappresenta la quantità di scarto accumulato lungo il flusso del valore [%]

La formula appena presentata è molto importante ai fini della determinazione della quantità di rifiuti. Inoltre, bisogna considerare un aspetto rilevante in termini pratici: come evidenziato in precedenza queste formule sono usate in concomitanza con la VSM, per questo, nel momento di graficare il processo, sarà necessario considerare il tac-time di ogni processo diverso a causa anche della quantità di materiale lavorato, derivante dalle considerazioni introdotte dall'ultima formula descritta [Edtmayr T et al, 2016].

Lo spreco di risorse materiali per ogni processo all'interno del *Value Stream* è, come descritto sopra, associato al *ideal-typical re-utilization cycle*. Questi rifiuti possono generalmente verificarsi in tre modi:

$$Wnok = (Dnet.p - Dnet) * dn \quad (1)$$

- **Wnok** rappresenta i rifiuti causati dall'accumulo di scarti [Kg per unità di tempo].
- **Dnet.p** rappresenta l'aumento della domanda a causa dello scarto cumulato [Parti per unità di tempo].
- **Dnet** rappresenta la richiesta reale del cliente [parti per unità di tempo].
- **dn** peso netto delle risorse in input [Kg per parte].

La formula sono quei rifiuti generati perché non sono soddisfatti i requisiti di qualità a causa di danneggiamenti o perché fabbricati in modo improprio.

$$Wok = Dnet.p * (dg - dn) \quad (2)$$

- **Wok** rappresenta i rifiuti generati a causa della differenza tra la quantità di materiale in input e quella utilizzata effettivamente nel prodotto finale. [Kg per unità di tempo].
- **dn** peso netto della risorsa in input [Kg per parte].
- **dg** peso lordo della risorsa in input [Kg per parte].
- **Dnet.p** rappresenta l'aumento della domanda a causa dello scarto cumulato [Parti per unità di tempo].

Questo indicatore vuole tenere conto di quei rifiuti che nascono ad esempio da lavorazioni come lo stampaggio, l'iniezione o nella colorazione, dove inevitabilmente avviene la creazione di uno scarto, per questo viene introdotta la differenza tra il peso lordo e quello netto [Edtmayr T et al, 2016].

$$\frac{Wset-up(i)}{Dnet} * \frac{Wb(i)}{b(i)} \quad (3)$$

- **Wset-up** rappresenta i rifiuti generati durante le operazioni di set-up [Kg per unità di tempo].
- **Dnet.p** rappresenta l'aumento della domanda a causa dello scarto cumulato [Parti per unità di tempo].
- **Wb** rifiuti generati per lotto [Kg per lotto].
- **b** grandezza del lotto [Pezzi per lotto].

L'ultima grandezza di rifiuti considerata è quella legata al set-up. Durante il carico del materiale in macchina è noto che possano esserci delle perdite, dovute ad errori umani o altre problematiche. Il calcolo di **Wset-up** viene pesato con la domanda del cliente, dal momento che con un solo set-up si possano produrre componenti per più clienti. Inoltre, il termine **Wb** rappresenta una media indicativa di rifiuti per lotto.

Una volta determinanti i vari componenti di rifiuti è possibile determinare l'ammontare totale di rifiuti del processo produttivo:

$$W = Wnok + Wok + Wset-up$$

- **W** quantità totale di rifiuti [Kg per unità di tempo].
- **Wnok** rappresenta i rifiuti causati dall'accumulo di scarti [Kg per unità di tempo].
- **Wok** rappresenta i rifiuti generati a causa della differenza tra peso netto e lordo [Kg per unità di tempo].
- **Wset-up** rappresenta i rifiuti generati durante le operazioni di set-up [Kg per unità di tempo].

Una volta determinato **W** è possibile dividerlo per il numero di periodi nel quale sono stati registrati i valori e otteniamo il valore di rifiuti per unità di tempo.

In più possiamo definire ogni prodotto finito quanto rifiuto genera in ogni processo, con la formula:

$$w(i) = \frac{dg(i)}{1 - Scum(i)} - dn(i) + \frac{Wb(i)}{b(i)}$$

- **w(i)** rifiuti totali per ogni parte ok [Kg per parte ok].
- **dg** peso lordo della risorsa in input [Kg per parte].
- **Scum** rappresenta la quantità di scarto accumulato lungo il flusso del valore [%].
- **dn** peso netto della risorsa in input [Kg per parte].
- **Wb** rifiuti generati per lotto [Kg per lotto].
- **b** grandezza del lotto [Pezzi per lotto].

Il calcolo di tutti questi fattori, servono per l'applicazione dell'approccio *ideal-typical re-utilization cycle*. Inoltre, bisogna specificare che per semplicità di utilizzo sono considerati soltanto i materiali primari, ovvero che concorrono direttamente alla realizzazione del prodotto finale, per cui non vengono considerati materiali come l'acqua di processo, solventi e imballaggi.

### 5.4.2.2. L'ideal-typical re-utilization cycle e la VSM

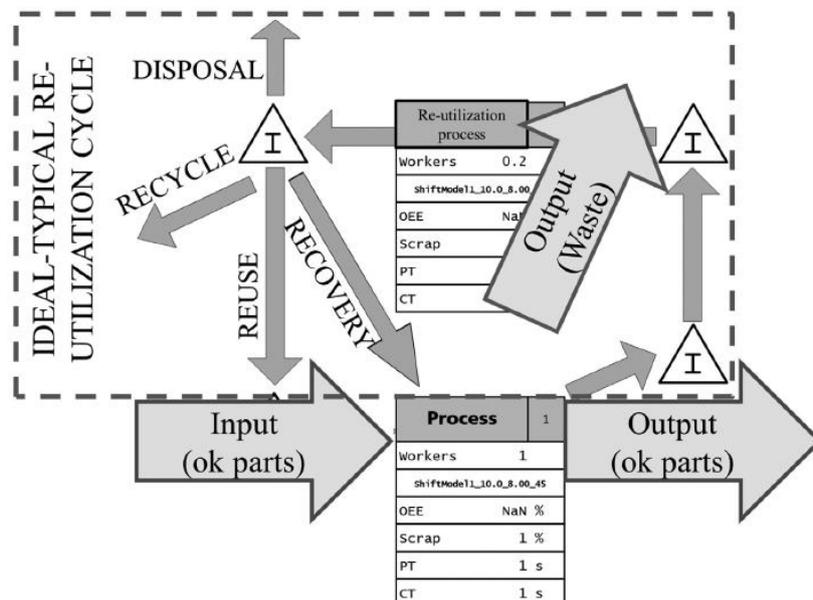


Figura 29: schema dell'ideal-typical re-utilization cycle [Edtmayr T et al, 2016].

Una volta definito l'ammontare totale di rifiuti e determinato il rapporto  $w(i)$ , Kg di rifiuti sulla totalità del prodotto per ogni processo, entra in gioco l'integrazione con la VSM, con una doppia finalità. Il primo scopo è strettamente legato al processo di smaltimento/riciclo, poiché una volta generati, vengono inseriti all'interno *ideal-typical re-utilization cycle* grazie al quale si mira alla massimizzazione della componente riutilizzata, riciclata e recuperata minimizzando la fetta destinata alla discarica o all'inceneritore per l'eliminazione. Questa catena si articola di 5 movimentazioni differenti, 3 buffer e di un *ideal-typical re-utilization process*. Tutto questo sviluppo, che porta fino al riutilizzo dell'80% dei rifiuti, è un processo articolato in diverse fasi, che richiede spazi, tempi, persone, risorse e in quanto tale tracciabile e migliorabile tramite l'ausilio della VSM.

Il secondo obiettivo è collegato con quegli indicatori di sostenibilità tanto ricercati dagli autori. Infatti, all'interno della VSM del processo produttivo in analisi, gli autori inseriscono una linea posta sotto a quella dei tempi in cui, processo per processo, vengono registrati i valori calcolati di  $w(i)$  del rapporto kg di rifiuto/ kg di parti ok, ottenendo così un valore finale.

Nella figura 30, nella pagina successiva, è osservabile in giallo la line che rappresenta il rapporto tra i Kg di rifiuti e il prodotto finale, posta esattamente come uno degli indicatori della VSM.

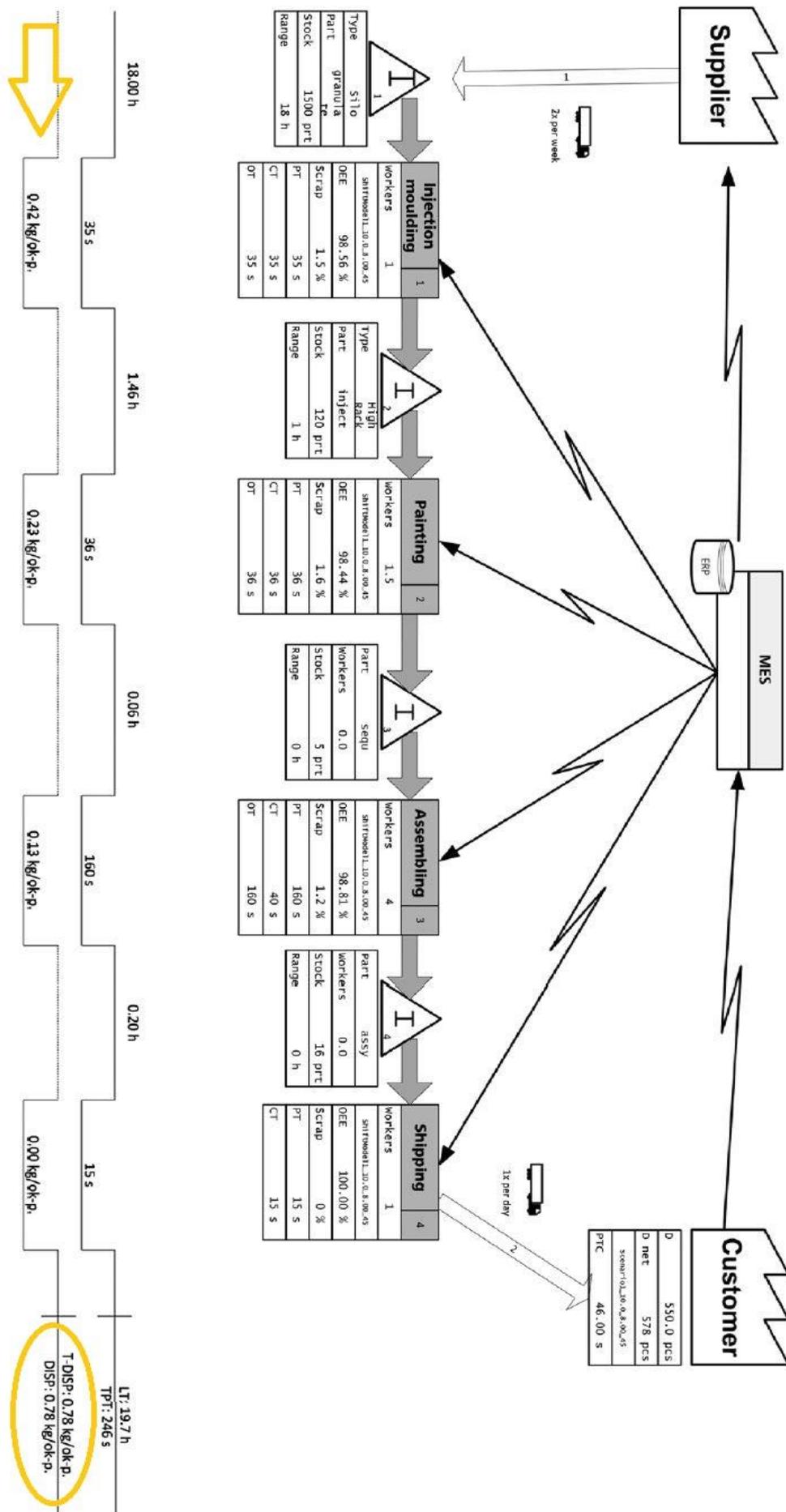


Figura 30: schema finale della VSM [Edtmayr T et al, 2016].

**Analisi critica:** la sfida di definire uno standard universale di parametri sostenibili fu sicuramente molto ardua per gli autori di questo modello. Infatti, fino a questo momento nessuno aveva mai sollevato la questione, limitandosi soltanto ad un'applicazioni ad hoc. La novità risiede nel partire da diverse formulazioni matematiche, utili ad oggettivare l'analisi, senza dipendere dalla tipologia di fabbricazione.

Inoltre, il grande vantaggio è la capacità di unire la duttilità di applicazione ad una qualsiasi produzione, ai più evoluti concetti di riciclo/riuso, unificando tutto con lo strumento di diagnostica per eccellenza quale la VSM. L'idea d'introdurre la VSM, nasce dopo essersi resi conto dell'efficacia della Sus-VSM di intercettare anche metriche di tipo ambientale.

Questo rappresenta solo il primo step di studi futuri, che mirano a integrare all'interno del *Value Stream* anche la monetizzazione e l'ammontare dei costi derivanti dal riciclo di materiali.

#### **5.4.3. Studio n°3 tratto da: “*Lean and green in the transport and logistics sector A case study of simultaneous deployment*” 2016**

Nel 2016 un gruppo di professori, Garza-Reyes, J.A Villareal e Kumar, partendo dalla sinergia esistente tra la *Lean Manufacturing* e la *Green Manufacturing*, idearono una versione della VSM fino a quel momento mai esistita.

La *Sustainable Transportation Value Stream Mapping* (STVSM) nasce con il duplice obiettivo di massimizzare l'efficienza di trasporto e di migliorare la sostenibilità ambientale del sistema logistico di distribuzione di un famoso distributore messicano. L'idea nasce dalla consapevolezza che la sostenibilità ambientale è oggi uno dei driver competitivi fondamentali alla pari della qualità, della soddisfazione del cliente, del profitto, delle reattività, applicando in modo sistematico pratiche derivanti sia da un approccio *Lean* che *Green*.

La logistica, ma in particolar modo quello che riguarda la distribuzione di merci, ha un impatto in termini di costi, ma anche ambientale, molto importanti.

Infatti, basti pensare che il *US Department of Transportation's (2011) report* indica che il 68% delle tonnellate di merci movimentate negli Stati Uniti nel 2010 fu su gomma. Uguale anche per le movimentazioni tra USA e Messico e tra USA e Canada, dove il 29% delle tonnellate-km fu sempre su gomma. Stesso discorso dall'altra parte del globo dove la

Commissione Europea riporta che nel 2008 riporta che il 27% delle tonnellate-km furono trasportate su strada.

Tuttavia, è facilmente intuibile come, nonostante la sua importanza, il settore dei trasporti sia sempre più legato a problemi ambientali [Demir et al., 2014; Dekker et al., 2012].

La tecnologia odierna, che si basa ancora pesantemente sulla combustione di idrocarburi, per colpa dell'alta diffusione ancora del motore a combustione, genera un aumento degli effetti negativi sui sistemi ambientali [Demir et al., 2014]. Le attività di trasporto su gomma sono risultate come un fattore altamente pericoloso per l'ambiente, a causa dell'emissione di sostanze nocive inquinanti come gli ossidi di azoto (N<sub>2</sub>O), il particolato (PM) e il biossido di carbonio (CO<sub>2</sub>), tra i quali i gas che causano l'effetto serra (GHG) che generano interruzioni climatiche, cambiamenti atmosferici e pongono in serio pericolo la salute dell'uomo.

### 5.4.3.1. Il metodo

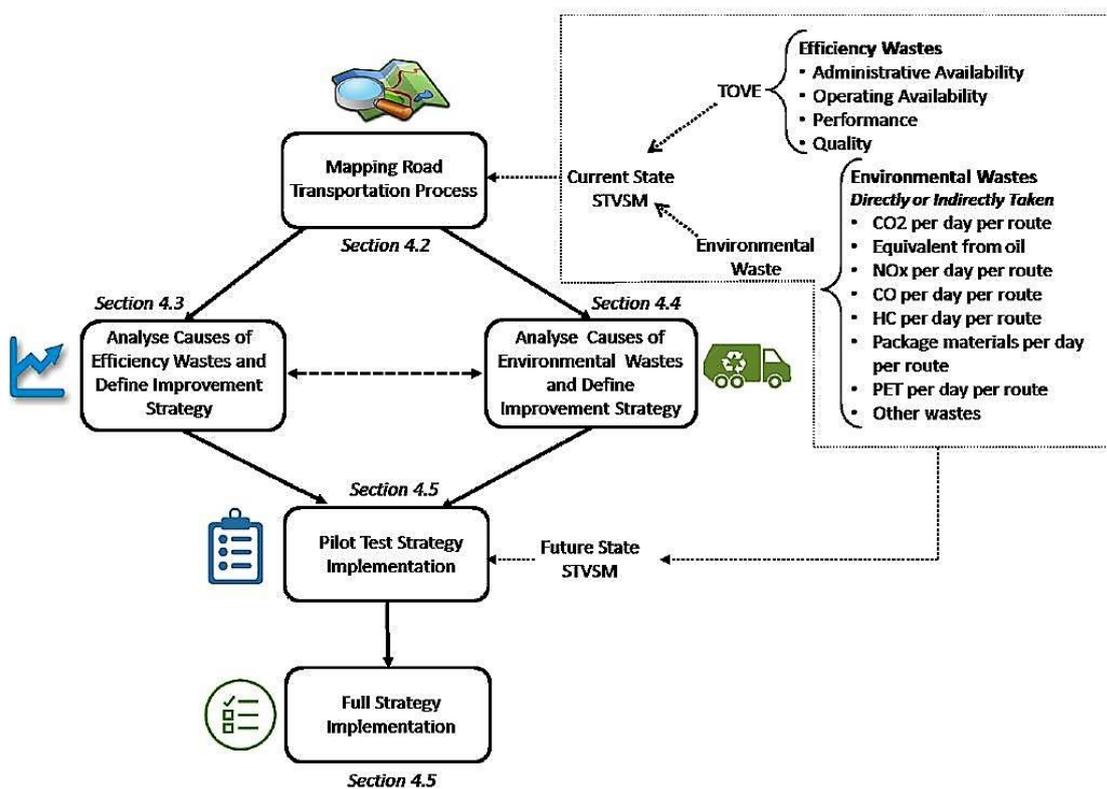


Figura 31: descrizione dell'approccio per la costruzione della STVSM [G.Reyes et al, 2016].

La figura 31 rappresenta l'approccio utilizzato per sviluppare la STVSM. Questa metodologia si articola in più passi: il primo, fondamentale, è l'identificazione di tutti i rifiuti intrinseci ad un sistema logistico, dopo di che bisognerà valutare le cause che li generano, quindi si

svilupperanno strategie efficaci per la loro eliminazione che in seguito saranno implementate. [Molina, P et al, 2014].

La nascita della STVSM la si deve ricondurre ad una estensione della TVSM (*Transportation Value Stream Mapping*) sviluppata a sua volta dalla classica VSM qualche anno prima, che mirava all'efficientamento di un sistema di trasporti senza però considerare la componente ambientale.

All'interno dello sviluppo della TVSM, vi è un indicatore TOVE (*Transportation Overall Vehicle Effectiveness*) mantenuto in background anche nella STVSM, che mira alla misurazione dell'efficienza dei mezzi utilizzati per il trasporto, tramite alcuni parametri, tra cui:

1. Disponibilità amministrativa o strategica.
2. Disponibilità operativa.
3. Performance.
4. Qualità.

La STVSM sviluppata viene pensata con il duplice obiettivo di massimizzare l'efficienza del trasporto e di migliorare l'impatto ambientale dello stesso. Questo doppio focus è molto importante, visibile anche in figura 31, poiché l'implementazione singola di uno dei due obiettivi potrebbe portare a grandi miglioramenti in termini di efficienza di trasporto ma a discapito dell'inquinamento, come già peraltro evidenziato da Norton nel 2007, il quale sottolineava con un esempio come la *Lean manufacturing* spinga per l'invio di lotti di prodotti piccoli per migliorare l'efficienza, ma questo si traduce in un peggiore impatto ambientale dal momento che sarebbe necessari più viaggi.

Quindi, all'interno della STVSM, sono considerati due set differenti di rifiuti inquinanti: il primo è legato agli aspetti presentati con il TOVE, disponibilità amministrativa o strategica, disponibilità operativa, performance e qualità, mentre il secondo, *Environmental Wastes*, guardano ad aspetti legati alla qualità dell'aria, al cambiamento del clima, all'impatto dei materiali usati per il *packaging*. La misurazione di quest'ultimi può avvenire in modo diretto o indiretto. La misurazione diretta, avviene tramite l'utilizzo di software, che possono determinare sotto diverse condizioni, i grammi per milione delle emissioni di monossido di carbonio (CO), di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>), idrocarburi (HC), ossido di nitrogeno (NO<sub>x</sub>), derivanti dai veicoli di trasporto.

La modalità indiretta invece basa la quantificazione dei dati su una media nazionale, regionale o cittadina dei valori sensibili.

### 5.4.3.2. Applicazione del metodo

Gli autori applicarono e validarono questo approccio ottimizzando il sistema di trasporto di uno dei leader logistici mondiali nello stabilimento di Monterray in Messico. La compagnia movimentava circa 4500 pacchi al giorno servendo quasi 4000 clienti, tramite un numero di rotte differenti comprese tra 28 e 32. Dal 2011 la situazione ha iniziato a deteriorarsi portando la sede di Monterray a generare il 74% dei ritardi nelle consegne della compagnia a livello nazionale in Messico, generando un aumento dei costi del servizio del 23% a cause di penali e per rimediare all'insoddisfazione dei clienti. Parallelamente il *Mexico's national division of the logistic organization* implementò un programma, *Transporte Limpio*, per ridurre l'impatto ambientale dei sistemi logistici. Le due dinamiche risultarono perfette per l'applicazione delle STVSM mirata all'efficientamento del sistema con la riduzione dell'impatto ambientale del sistema di trasporto.

#### 1) Mapping the Road Transportation Process

Come mostrato nella figura 32, il primo step per l'applicazione della STVSM consiste nel mappare i processi di routine dei veicoli del centro operativo di Monterrey.

Viene così creato il *current-state* della STVSM seguendo i camion da quando sono all'interno del magazzino fino all'avvio del ciclo viaggio successivo. Durante questa fase e all'interno del *current-state* vengono registrati e riportati i dati che riguardano le varie attività come, il flusso e la sequenza, le prestazioni in termini sia di efficienza operativa attraverso l'indice TOVE e i suoi componenti, oltre che le prestazioni ambientali

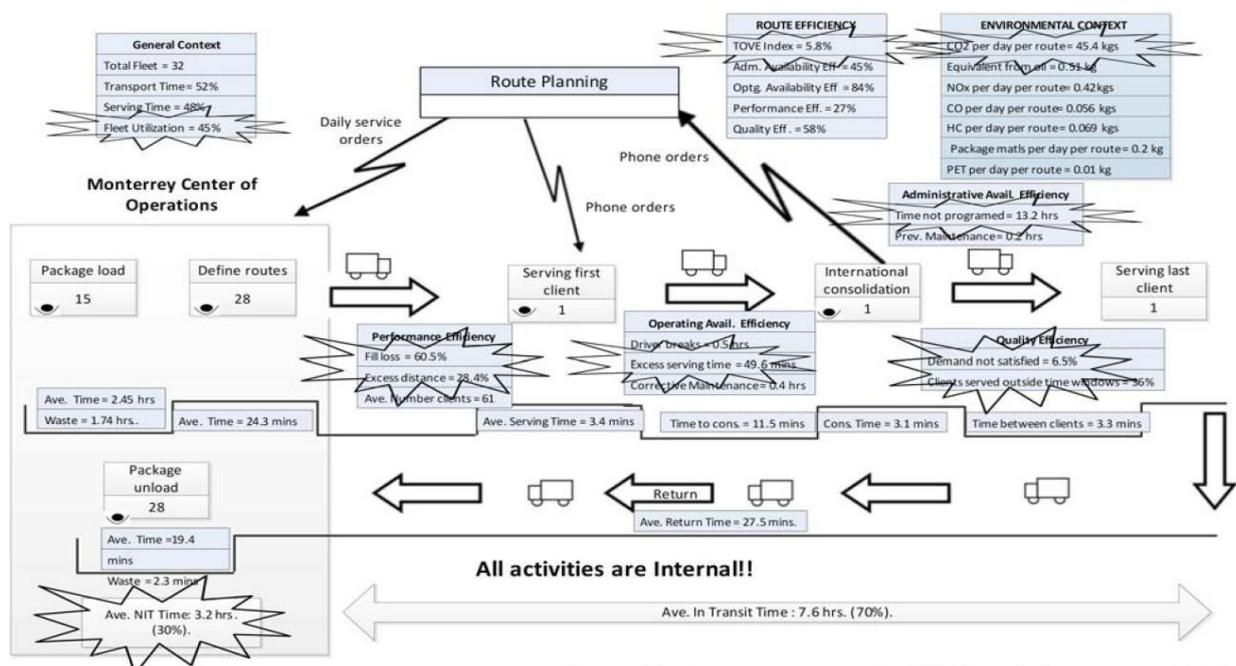


Figura 32: il *current-state* della STVSM [G.Reyes et al, 2016].

## 2) *Analyse Causes of Efficiency Waste and Define Improvement Strategy*

Una volta disegnato il *current-state* e una volta individuate le aree di possibili miglioramenti, bisognava trovare le cause.

La fotografia della situazione iniziale diceva che il tempo medio necessario a effettuare un viaggio era di circa 10,8 ore, che occupava dal carico della merce al rientro del camion in magazzino, il numero medio di clienti serviti era 61 e il TOVE index, calcolato moltiplicando in percentuale di efficienza ogni voce descritta in precedenza, ammontava al 5,8% con i risultati peggiori in *administrative availability* (45%) e in *performance efficiency* (27%).

Furono individuate due grosse cause generatrici di tutti i problemi: il primo, strettamente legato ad un valore di *performance efficiency* così basso, era il così definito *fill loss waste*, ovvero il mancato riempimento dei camion fino al 60,5%, generato dal numero piccolo di pacchi caricati, necessari a servire i clienti di un viaggio, che a loro volta erano molto pochi. Tutto questo era prodotto, e allo stesso tempo collegato, con la seconda problematica individuata, quella di un sovradimensionamento delle rotte del 28,4% della distanza, che inevitabilmente facevano perdere tempo e la possibilità di caricare più pacchi per servire più clienti.

Questo seconda difficoltà era il prodotto di più fattori che concorrevano nello stesso momento: in primis ad ogni guidatore venivano assegnate le consegne da fare secondo i codici postali, con una conseguente sovrapposizione di rotte tra i vari camion, gli autisti consegnavano secondo la propria esperienza non seguendo un criterio preciso comune, i camion venivano caricati senza una logica di sequenza di consegne per cui accadeva che un camion portasse merce ad uno stesso cliente più di una volta in un giorno in momenti diversi e infine c'erano dei clienti abituali che ricevevano un deposito giornaliero senza nessun tipo di schedulazione settimanale a causa del guasto del database di gestione di quel tipo di ordini.

Le iniziative proposte dagli autori furono:

- Migliorare l'assegnazione dei clienti alle rotte.
- Riducendo la distanza in eccesso percorsa con un migliore sequenziamento del cliente in ciascuna rotta.
- Aggiornare lo stato dei clienti abituali.
- Caricare i pacchi in base alla sequenza dei clienti da servire.
- Riassegnare le attività NIT (*Not-in-Transit*) agli operatori di magazzino;

### **3) Analyse Causes of Environmental Waste and Define Improvement Strategy**

L'analisi dei rifiuti ambientali effettuata teneva conto della qualità dell'aria, dell'emissione dei GHG, del packaging e del PET utilizzato.

Il calcolo della qualità dell'aria e dell'emissione di GHG fu ottenuto in modo indiretto da uno studio condotto dal governo sulla qualità dell'aria della zona metropolitana di Monterray, mentre i livelli di packaging e di PET generati dalle operazioni di giornaliera sono stati monitorati e stimati direttamente per un mese.

I valori stabiliti furono presi come riferimento per determinare il limite superiore, dal quale definire obiettivi di miglioramento. La strategia utilizzata per migliorare l'impatto ambientale delle operazioni fu definita sulla base di uno studio comparativo svolto per operazioni simili da altre compagnie.

Furono implementate strategie con l'obiettivo nel breve termine di migliorare l'efficienza giornaliera dei rifiuti e dell'emissioni e strategie con ottica sul lungo periodo con un respiro maggiore che coinvolgeva tutte le divisioni della compagnia in giro per il mondo.

### **4) Pilot Test and Full Strategy Implementation**

Le contromisure adottate furono molte e portarono a gradi benefici, tra queste ricordiamo: l'introduzione di operatori dedicati alle NIT (*Not-in-Transit*) in modo da permettere agli autisti di dedicarsi solo alla guida, fu riorganizzato e aggiornato il database contenente informazioni sui clienti abituali, furono ripensate e migliorate le rotte percorse dai camion e inoltre il più importante miglioramento, fu l'introduzione di rotte notturne che nello stesso tempo innalzò l'efficienza, grazie alla minor presenza di congestioni dovute al traffico e allo stesso tempo migliorò anche i parametri ambientali poiché le congestioni generano la maggior parte dei gas inquinanti. I risultati ottenuti sono riportati nelle tabelle qui sotto:

<b>Concept</b>	<b>Current Performance</b>	<b>After Efficiency Improvement</b>	<b>Percentage of Improvement</b>
TOVE Index (%)	5.8	10.2	75.9
Fill Loss (%)	60.5	52.5	13.0
Excess Distance (%)	28.4	12.2	57.0
Excess Serving Time (Minutes)	49.6	30.3	38.9
Ave. Number of Clients per Route	61	64	5.0
Demand not Satisfied (%)	6.5	3.2	50.7
Journey Time (hours)	10.8	8.0	25.9

Tabella 9: risultati ottenuti dopo l'applicazione della STVSM.

Concept	Current Performance (Kgs.)	After Environmental Improvement Strategies (Kgs.)	Reduction (Kgs.)
CO <sub>2</sub>	51.940	45.890	6.050
NO <sub>x</sub>	0.470	0.416	0.054
CO	0.063	0.056	0.007
HC	0.079	0.069	0.010

Tabella 10: miglioramenti delle emissioni dopo l'uso della STVSM.

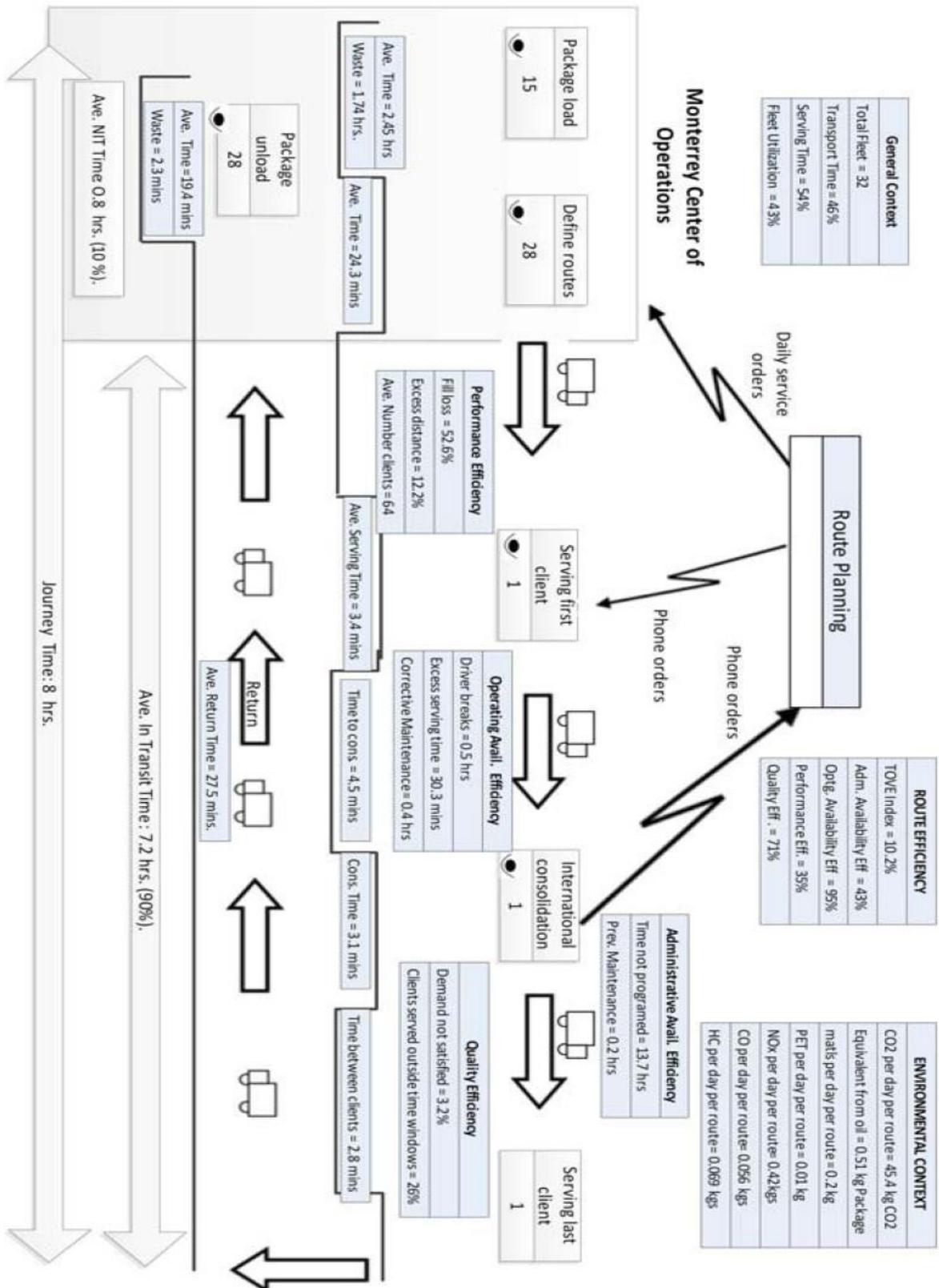


Figura 32: il *future-state* della STVSM [G.Reyes et al, 2016].

**Analisi critica:** Lo studio descritto è unico nel suo genere. Infatti, si discosta da tutti quelli analizzati fino ad ora, ma risulta molto interessante per il taglio analitico e per il focus che presenta. La logistica, in particolar modo la spedizione di materiali, sta assumendo sempre più un ruolo fondamentale per le aziende, basti pensare alle complesse catene di approvvigionamento presenti sul mercato, con fornitori sparsi in tutto il globo. O ancora, la rivoluzione che sta apportando Amazon che garantisce consegne in un giorno su qualsiasi tipo di prodotto, che a sua volta ha portato molti supermercati a sviluppare servizi di consegna della spesa a domicilio.

Tutto questo è strettamente legato al tema ambientale, dal momento che i mezzi di trasporto sono ancora per la maggior parte a combustibile fossili. Da questo mix di fattori, è facile evincere come l'approccio utilizzato nella STVSM in futuro possa garantire migliori risultati anche per le molte compagnie di distribuzione che operano in tutto il mondo oggi. In più è interessante il doppio focus, performance e ambientale, messo in campo, con la particolare attenzione che le strategie di una non incidano negativamente sull'altra.

**5.4.4. Studio n°4 tratto da: “A PDCA-based approach to Environmental Value Stream Mapping (E-VSM)” 2018 J.A. Garza-Reyes, J.T. Romero, K. Govindan, A. Cherrafi, U. Ramanathan.**

Nel 2017 Garza-Reyes, autore anche del precedente studio, insieme ad un team di ricerca sviluppò la *Environmental Value Stream Mapping (E-VSM)*.

Questo modello, che rappresenta la versione più recente dell'utilizzo della VSM per determinare parametri di sostenibilità, nacque in risposta a due domande che si ponevano gli autori: *È possibile utilizzare la VSM per identificare e ridurre l'impatto negativo sull'ambiente delle operazioni industriali? Come può essere adattata la tradizionale VSM e il suo approccio per comprendere anche la dimensione ambientale?*

In risposta a queste domande, decisero di approcciare la questione utilizzando il metodo Deming, PDCA (*Plan-Do-Check-Act*) [Deming, 2000], che rappresenta un modo efficace per consentire l'implementazione della E-VSM con un sistematico, ripetibile e continuo ciclo di miglioramenti.

#### 5.4.4.1. Il PDCA per lo sviluppo della E-VSM

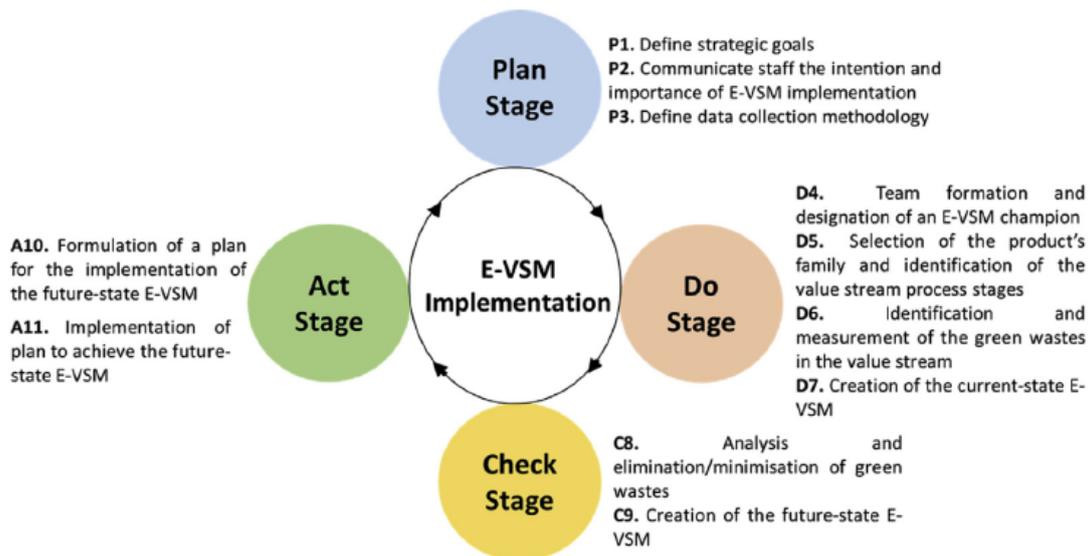


Figura 33: L'approccio di Deming utilizzato per la costruzione della E-VSM

Come osservabile in figura 33 l'approccio PDCA si articola in 4 fasi, che a loro si compongono di differenti sotto-step che di seguito vedremo nel dettaglio. Gli autori presentano questa metodologia applicandola ad il processo produttivo di helical rolling.

##### **Fase 1: Plan Stage**

- 1) **Define strategic goals.** In una primissima fase è necessario definire gli obiettivi che si vogliono raggiungere per determinare il focus della E-VSM che si vuole sviluppare. L'obiettivo nel caso applicato, ma che vale anche per una sua generalizzazione, era quello di individuare e misurare la quantità di rifiuti ambientali, per sviluppare strategie ed azioni per la loro rimozione.
- 2) **Communicate to staff the intention and importance of EVSM implementation.** Una volta che sono stati definiti gli obiettivi per creare la E-VSM, diventa di vitale importanza comunicarli alle persone che saranno coinvolte nel progetto, per creare in loro conoscenza sui problemi ambientali esistenti nel processo. Sono molto importanti inoltre i *feedback* delle persone perché possono essere la base per miglioramenti non considerati fino a quel momento.

3) ***Define data collection methodology.*** Per ottenere una E-VSM rigorosa e sistematica bisogna applicare una raccolta di dati altrettanto rigorosa e sistematica. Sono state definite le linee guida per la selezione di dati ambientali, in particolare per monitorare:

1. **Consumo di energia e acqua.**
2. **Tasso di utilizzo dei dispositivi/apparecchiature** che operano nel flusso a valore, in modo da verificare quali hanno i consumi massimi in modo da ridurli.
3. **Livello di tossicità dell'acqua e suo grado di impurità** al fine di comprendere il tipo di tossine utilizzato per adottare la tipologia di pulizia più idonea.
4. **Il grado di riciclabilità e biodegradabilità dei materiali e sostanze impiegati** per capire, il grado di riutilizzo del materiale utilizzato, e quanto dannoso potenzialmente potrebbe essere.
5. **La quantità totale e le fonti dell'emissioni generate dal processo.**

I dati riguardanti le voci soprariportate sono stati raccolti attraverso osservazioni dirette e misure del flusso del valore usando alcune forme di raccolta dati create ad hoc, per il periodo di 1 mese.

## **Fase 2: Do stage**

1) ***Team formation and designation of an E-VSM champion.*** Una volta definite tutte le nozioni base viste in precedenza, dagli obiettivi agli indicatori, si passa alla fase più operativa, iniziando con la definizione del team per l'implementazione del progetto. I membri del gruppo devono essere selezionati tra le persone che hanno una maggiore conoscenza e un contatto diretto con differenti livelli del processo che si vuole indagare, i quali dovranno essere diretti e coordinati dal *Production Manager*. Inoltre, viene designato il *Plant Manager* come colui che deve garantire la massima disponibilità e supporto al team per lo sviluppo della E-VSM.

2) ***Selection of the product's family and identification of the value stream process stages.*** Come sottolineato anche da [Rother and Shook 2003] è necessario selezionare una famiglia di prodotto, tra quelle offerte dall'azienda a cui si vuole applicare la E-VSM, poiché un'applicazione totale non sarebbe efficiente. [Saboo, 2014] detta alcune linee guida seguibili per la selezione della famiglia migliore:

1. Guardare la famiglia di prodotto, in termini di fatturato, più proficua, poiché significa andare a tracciare la principale fonte di consumo di materiali, consumo di energia e risorse, considerare una grande quantità di rifiuti e di generatori di inquinamento.
2. Osservare se i clienti hanno aumentato la richiesta, in volumi, di un determinato prodotto.
3. Analizzare se il processo di produzione di questo specifico prodotto ha coinvolto l'uso di tutte le principali attrezzature.

3) **Identification and measurement of the green wastes in the value stream.**

Per la costruzione del current-state della E-VSM si inizia con l'identificazione di 7 tipologie differenti di rifiuti, già utilizzati anche in altri studi visti in precedenza come quelli di Torres and Gati (2009), Brown et al. (2014) and Faulkner and Badurdeen (2014), come:

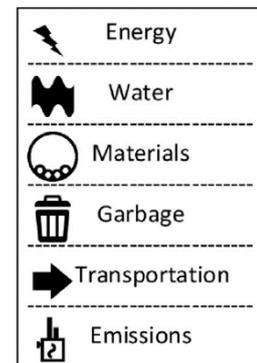


Figura 34: figure dei rifiuti considerati.

**Energy waste:** emergono quando si consuma più energia del necessario. Questo a sua volta, genera un impatto ambientale più negativo quando la fonte di energia sono combustibili fossili.

**Water waste:** quando si usa più acqua del necessario e in seguito è necessario pagare per la sua purificazione.

**Materials waste:** in questa categoria rientrano quei materiali che vengono usati direttamente per la realizzazione del prodotto, che una volta terminato il ciclo di vita non possono essere riutilizzati ma vengono destinati alla discarica.

**Garbage waste:** misura quanti rifiuti vengono prodotti dall'azienda che non possono essere riutilizzati ed è necessario pagare per il loro smaltimento.

**Transportation waste:** cerca di misurare i viaggi inutili che avvengono nel flusso a valore che a loro volta generano impatti ambientali negativi se realizzati con mezzi a combustibile fossili.

**Emissions waste:** si riferiscono alla creazione e allo scarico di contaminanti nell'atmosfera.

**Biodiversity:** l'ultimo rifiuto è correlato alla distruzione di flora, fauna e organismi e anche al consumo eccessivo di risorse naturali.

I dati raccolti vengono riportati in apposite tabelle, molto articolate. Dopo di che è possibile rappresentare il flusso a valore del prodotto selezionato indicando i dati annotati.

4) **Creation of current-state E-VSM.** Una volta che tutti i dati interessanti alla ricerca sono stati raccolti è possibile procedere con la stesura del current-state della E-VSM. Il principio con cui viene realizzata è il medesimo proposto dagli autori della VSM, con la differenza che all'interno dei data box di ogni processo verranno annotati l'ammontare delle 7 tipologie di rifiuto presentati in precedenza.

Inoltre, è possibile osservare in azzurro il flusso a valore che attraversa le varie fasi del processo e all'inizio e alla fine, tramite la raffigurazione di un camion, viene mostrato la modalità con cui le materie prime e il prodotto finito, rispettivamente, arrivano e lasciano lo stabilimento.

Sono riportate anche due tipologie di frecce differenti: un primo tipo, rappresentata da una freccia spezzata, mostra il flusso di informazioni elettroniche mentre, il secondo tipo, una freccia normale, mostra il flusso fisico.

In figura 35 è riportata la *current-state* realizzato nello stabilimento di *helical rolling* nel quale il modello della E-VSM è stato implementato e validato.

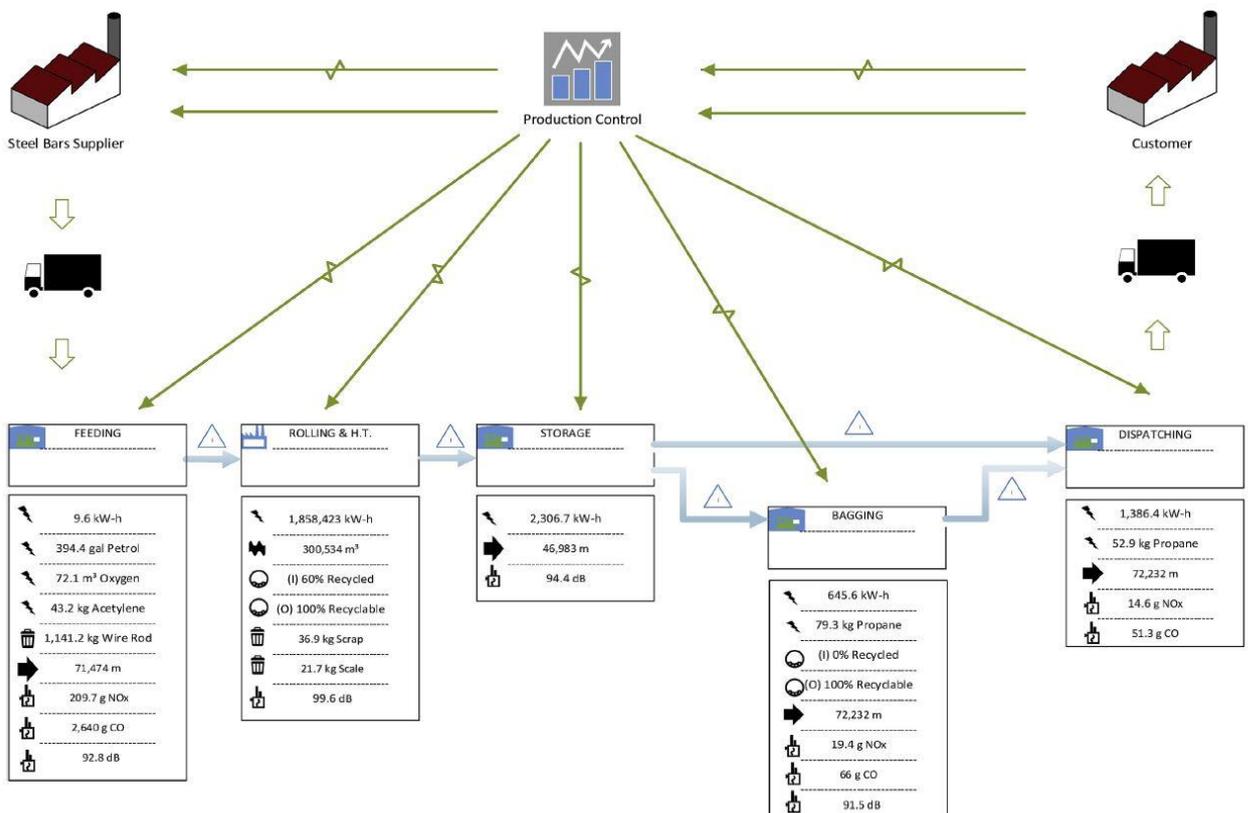


Figura 35: il *current-state* della E-VSM.

### Fase 3: Check Stage

1) *Analysis and elimination/minimisation of green wastes.* Parimenti con la VSM, il *current-state* della E-VSM serve al team di sviluppo per individuare all'interno dei processi, non i famosi muda, ma gli *environmental wastes*. Concluso il momento di individuazione il team potrà iniziare con una fase di analisi per sviluppare strategie e quindi azioni per la loro riduzione se non eliminazione, che saranno la base per la realizzazione del *future-state*.

Alcune strategie sono riportate nella tabella qui sotto:

Waste	Strategy	Actions/Alternatives
<b>Energy</b> 	Energy conservation	<ul style="list-style-type: none"> <li>Developing procedures to disconnect devices when not required to work</li> <li>Utilising timers, sensor, etc. To automatically shut off devices when not in use</li> <li>Regulating devices operations according to the intensity of specific tasks</li> <li>Acquire devices/equipment with minor energy consumption</li> </ul>
	Adoption of efficient technologies	
	Energy management	<ul style="list-style-type: none"> <li>Using energy for a period of the day when total charge of devices is low. Barriers may involve changing working schedules</li> <li>Moving energy usage to off-peak times</li> </ul>
<b>Water</b> 	Alternative sources	<ul style="list-style-type: none"> <li>Adopting energy generators such as geothermal, biomass, windmills, solar panels, and hydro turbines</li> </ul>
	Water conservation	<ul style="list-style-type: none"> <li>Implementing operational procedures, either automatic or manual, to shut-off machine/water valves when not required; putting in place maintenance programmes to fix leaking dispensers; investigating whether water is supplied in the quantity needed and when required</li> </ul>
	Toxicity minimisation	<ul style="list-style-type: none"> <li>Using water-efficient technologies</li> <li>Tackling first water system that discharges the highest content of toxins and the one with the highest impact in reducing fines</li> </ul>
	Reuse	<ul style="list-style-type: none"> <li>Concentrating on eliminating most harmful toxins from the source</li> <li>If eliminating the source of the toxins is unviable, cleaning the toxicity of the water is an option</li> <li>Classify discharged water according to its grade of impurity</li> <li>Clean Water – suitable for drinking</li> <li>Grey Water – not suitable for drinking but may be used again</li> <li>Black Water – must be treated</li> <li>Decide where to employ clean or grey water</li> </ul>
<b>Materials</b> 	Pursuing 100% reuse	<ul style="list-style-type: none"> <li>Design processes that allow a product to get back at the end of its life</li> </ul>
	Using recycled input and output materials	<ul style="list-style-type: none"> <li>Use input materials that have higher recycled content</li> </ul>
	Minimising usage	<ul style="list-style-type: none"> <li>Producing goods highly recyclables</li> </ul>
<b>Garbage</b> 	Elimination of negative impact materials	<ul style="list-style-type: none"> <li>Eliminate materials categorised with high impact and risk on environment/human health, i.e. those categorised as red in environmental impact assessments</li> </ul>
	Minimisation	<ul style="list-style-type: none"> <li>Identify origin of garbage by identifying the process/activity where garbage is generated</li> <li>Analyse whether amount of garbage can be reduced/eliminated by changes in the process/activity that generates it</li> <li>Analyse which materials can be recycled or biodegraded</li> <li>Indicate quantity of garbage that may be diverted from going to landfill.</li> </ul>
<b>Transportation</b> 	Reuse	<ul style="list-style-type: none"> <li>Changing size, shape, or characteristics of employed materials to make them recyclable, reusable, or biodegradable</li> </ul>
	Minimisation of distances	<ul style="list-style-type: none"> <li>Implementing cellular manufacturing practices</li> </ul>
<b>Emission</b> 	Alternative eco-friendly transportation	<ul style="list-style-type: none"> <li>Implementing, using or adapting eco-friendly fuels and transportation ways</li> </ul>
	Minimisation at the source	<ul style="list-style-type: none"> <li>Identify source of emission and note it in waste elimination worksheet</li> <li>Investigate whether process is working under design parameters</li> <li>Investigate whether process/activity can use less emissions since excess of material means excess in cost and emissions</li> <li>Investigate whether source of emission can be replaced by a more eco-friendly substitute</li> <li>Examine options for altering, changing, or eliminating the emission provoking activity</li> </ul>

Tabella 11: strategie migliorative possibili.

2) *Creating of the future-state E-VSM.* La creazione del future-state della E-VSM parte proprio dal calcolo dei miglioramenti che si otterrebbero applicando le strategie riportate nella tabella 11. È importante sottolineare come il *future-state* sia il *'as-it-should-be'* state [Barberato Henrique et al., 2016], ovvero quello stato esistente in potenza, grazie a calcoli e tecniche, ma non ancora realizzato. Comunque, nel future-

state vengono espressi i valori migliorati ottenuti, dei rifiuti ambientali, all'interno dei databox sotto ogni processo e inoltre per maggiore chiarezza, nella parte superiore sono trascritte le differenze dei valori tra lo stato as-is e il to be. Spesso i valori migliorati dei rifiuti sono calcolati con l'ausilio di fogli specifici e poi riportati nel grafico.

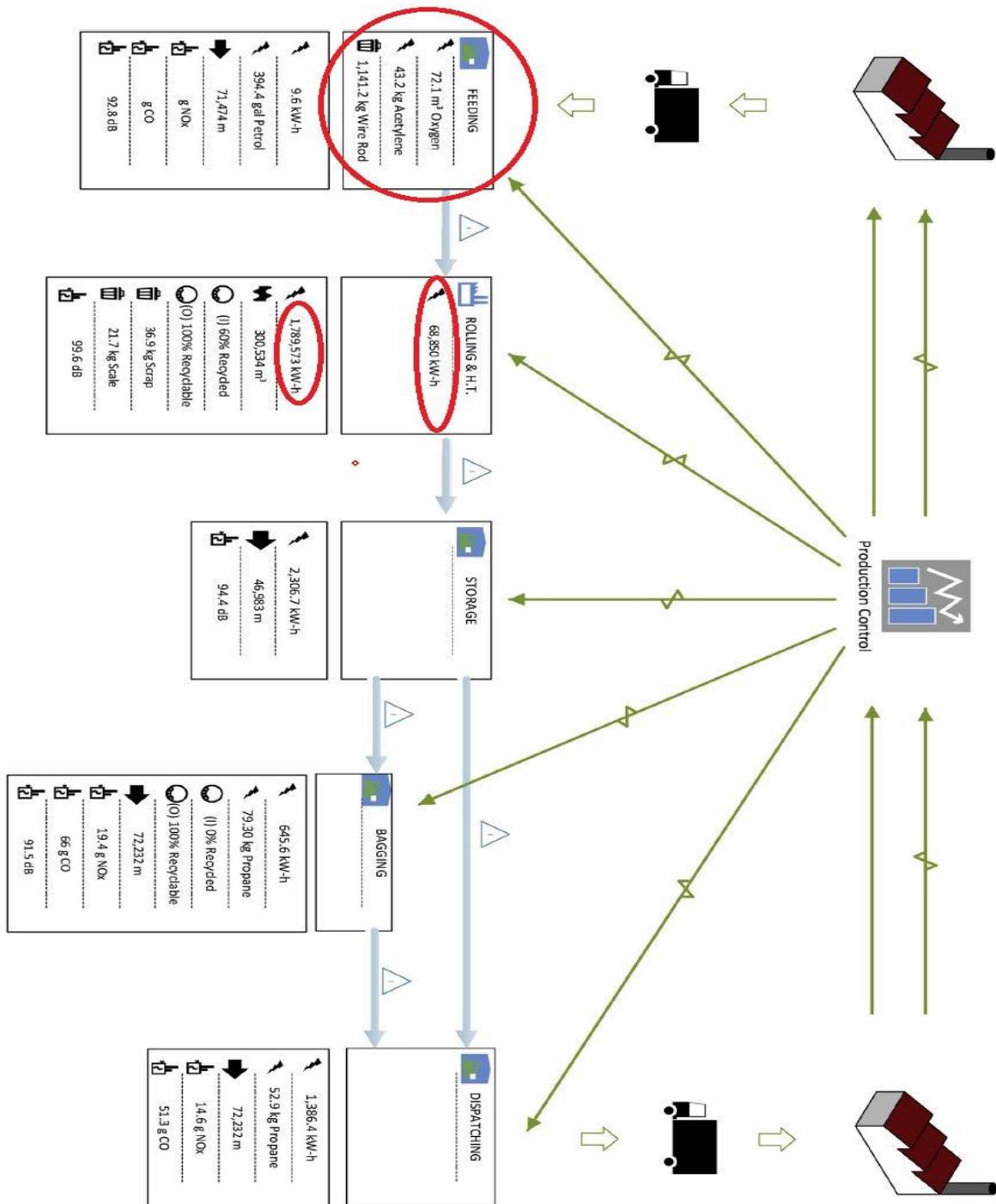


Figura 36: il *future-state* della E-VSM. [Reyes et al 2018].

La figura rappresenta il *future-state*, dove in rosso sono cerchiati gli spazi dove è possibile trovare i valori migliorati e la differenza del miglioramento. In alcuni casi se il rifiuto è stato completamente eliminato, tutto il valore è stato riportato nella parte superiore, come nel caso del processo *Feeding*.

#### **Fase 4: Act Stage**

1) ***Formulation of a plan for the implementation of the future-state E-VSM.*** Dopo la fase “teorica” di analisi, sviluppo e rappresentazione, si arriva al momento di passare all’azione, applicando realmente i miglioramenti proposti e studiati. Si passa quindi dallo “*studied value stream into its desired future-state*”. In questa fase diventa vitale riprende gli obiettivi che il team si era posto all’inizio dell’iter, poiché questi tracciano la via e la destinazione a cui le strategie migliorative individuate devono portare, senza si rischierebbe di perdere l’orientamento e le finalità.

Per cui avere ben chiaro sempre gli scopi diventa uno strumento molto efficace di monitoraggio delle attività intraprese. A tal fine, potrebbe diventare molto utile, individuare un set di KPI (*Key Performance Indicator*) grazie a quei controllare lo stato di avanzamento del sistema nei suoi punti strategici.

2) ***Implementation of plan to achieve the future-state EVSM.*** L’ultima considerazione che bisogna fare è che lo sviluppo della E-VSM non può limitarsi alla riduzione dei rifiuti ambientali, ma sarebbe necessario implementare anche azioni che portino benefici dal punto di vista economico. Infatti, spesso le aziende non possiedono abbastanza risorse, in termini di persone e monetario, per portare avanti parallelamente strategie differenti. Per questo motivo, prima della stesura della E-VSM, si ha una fase in cui all’interno delle strategie di minimizzazione degli *environmental wastes* si cerca di integrarle con azioni, anche semplici, come un’analisi di Pareto un *Analytical Hierarchy Process* (AHP), volte all’ottimizzazione delle performance dei processi, senza dimenticare che già di per sé, la riduzione di energia o dell’utilizzo di materiale porta grandi benefici.

**Analisi critica:** lo studio riportato rappresenta la conclusione, in termini cronologici, dell’analisi delle varie versioni sostenibili della VSM. Quest’ultimo modello parte sicuramente da un background importante lasciato dai precedenti approcci e infatti presenta delle particolarità uniche.

Anzitutto, nessun'altro approccio prima di adesso utilizzava una procedura applicativa così schematica come quella proposta da Deming. Per la prima volta vengono annoverati anche le persone incaricate della sua realizzazione, organizzate all'interno di un'team inter-funzionale, direttamente guidato dal responsabile di produzione e sostenuto dal direttore di stabilimento. Vengono definiti gli obiettivi finali, altro aspetto mai trovato in nessun altro studio, così come l'utilizzo di KPI per il monitoraggio dell'avanzamento delle azioni intraprese. La E-VSM nasce con l'obiettivo di proporre un approccio scientifico e oggettivo, capace di diventare applicabile in qualsiasi contesto produttivo lo si voglia utilizzare e, allo stesso tempo, rappresenta la base per possibili sviluppi migliorativi futuri che potranno portare ad ottenere uno strumento ancora più efficace.

L'unico limite della E-VSM che non considera parametri né di tipo sociale né di tipo economico mentre analizza l'aspetto prettamente ambientale a 360°. Per cui, è possibile affermare che dal punto di vista della sostenibilità globale è sicuramente migliorabile.

A seguire verranno inserite due tabelle che riassumono in modo diverso le caratteristiche salienti degli studi presentati fino a questo momento:

- 1) La tabella 12 riassume in modo schematico i tipi di parametri adottati per la misura della sostenibilità, andando a distinguerli tra parametri ambientali, parametri sociali e parametri economici. Sarà facilmente osservabile come tutti i modelli presentano parametri di tipo ambientale, mentre solo alcuni annoverano le altre due tipologie.
- 2) Proprio partendo da quest'ultima considerazione, nella tabella 13 verrà, più nello specifico, mostrato che tipo di misurazione viene effettuata all'interno di dei parametri di tipo ambientale, per cogliere in modo preciso e schematico le differenze tra i vari approcci.

N°	Autori	Anno	Nome del Tool	Sigla	Environmental metrics	Economical metrics	Societal metrics
1	Simons andMason	2002	Sustainable VSM	SVSM	X		
2	US EPA	2007	EPA lean and environmental toolkit	/	X		
3	US EPA	2007	EPA lean and energy toolkit	/	X		
4	Torres and Gati	2009	Environmental VSM	EVSM	X		
5	Fearne and Norton	2009	Sustainable value chain map	SVCM	X		
6	Paju et al.	2010	Sustainable manufacturing mapping	SMM	X		
7	Kuriger and Chen	2010	Energy andenvironment VSM	EE-VSM	X		
8	Kuriger et al.	2011	Lean sustainableproductionassessment tool	/	X		
9	Dadashzadeh and Wharton	2012	Green VSM	GVSM	X		
10	Faulkner and Badurdeen	2014	Sustainable valuesstream mapping	Sus-VSM	X		X
11	Brown, Amundson, Badurdeen	2014	Sustainable valuesstream mapping	Sus-VSM	X		X
12	S. Vinodh, Ben Ruben, Asokan	2015	LCA integrated sustainable manufacturing mapping	Sus-VSM + LCA	X	X	X
13	Reyes, Villarreal, Kumar	2016	Sustainable Trasportation Value Stream mapping	STVSM	X	X	
14	Edtmayr, Sunk, Sihh	2016	Parameters and Indicators of Sustainability into Value Stream Mapping	/	X		
15	Garza-Reyes, Torres Romero, Govindan, Cherrafi, Ramanathan	2018	PDCA approach to Environmental VSM	E-VSM	X		

Tabella 12: tipologia di parametri considerati dai vari studi analizzati.

N°	Autori	Anno	Nome del Tool	Tipo di Environmental metrics considerati
1	Simons and Mason	2002	Sustainable VSM	Emissioni di CO2 e di GHG (GreenHouse Gas)
2	US EPA	2007	EPA lean and environmental toolkit	Utilizzo di sostanze inquinanti e pericolose, consumo di materia prima e acqua
3	US EPA	2007	EPA lean and energy toolkit	Consumo di energia elettrica
4	Torres and Gati	2009	Environmental VSM	Consumo di acqua
5	Feehan and Norton	2009	Sustainable value chain map	Consumo rifiuti solidi e liquidi, emissioni CO2
6	Paju et al.	2010	Sustainable manufacturing mapping	Consumo energia, materia prima, rifiuti ed emissioni in aria e acqua
7	Kuriger and Chen	2010	Energy and environment VSM	Consumo energetico, pericolosità materiali utilizzati
8	Kuriger et al.	2011	Lean sustainable production assessment tool	Consumo energetico, pericolosità materiali utilizzati
9	Dadashzadeh and Wharton	2012	Green VSM	Consumo di energia, acqua, materiali, rifiuti. Emissioni di gas, trasporto e considerazione della biodiversità
10	Faulkner and Badurdeen	2014	Sustainable value stream mapping	Parallelamente consumo di materia prima, consumo energetico e consumo d'acqua
11	Brown, Annandson, Badurdeen	2014	Sustainable value stream mapping	Parallelamente consumo di materia prima, consumo energetico e consumo d'acqua
12	S. Vinodh, Ben Ruben, Asokan	2015	LCA integrated sustainable manufacturing mapping	Parallelamente consumo di materia prima, consumo energetico e consumo d'acqua
13	Reyes, Villarreal, Kumar	2016	Sustainable Transportation Value Stream mapping	Emissioni e consumi di un sistema di distribuzione
14	Edtmayr, Sunk, Sihm	2016	Parameters and Indicators of Sustainability into Value Stream Mapping	Analisi riciclo e riuso degli scarti di produzione.
15	Garza-Reyes, Torres Romero, Govindan, Cherrafi, Ramanaathan	2018	PDCA approach to Environmental VSM	Misurazione di: energia, acqua, materiale in eccesso, emissioni inquinanti e inquinamento dovuto al trasporto, produzione di rifiuti e biodiversità

Tabella 13: descrizione della tipologia di parametri ambientali all'interno dei vari modelli.

## 6. Sostenibilità in ottica Supply Chain

Oggigiorno con l'evoluzione dei mercati e la nascita di prodotti sempre più complessi e integrati di tecnologie differenti, la competizione si sta allargando sempre più velocemente, da un'ottica aziendale ad un'ottica di *supply chain*.

Infatti, l'integrazione e una buona collaborazione con i propri fornitori sono decisivi per competere, poiché la grande pluralità di prodotti e di varianti dello stesso che i clienti richiedono hanno sgretolato il paradigma di un'azienda che produca tutto internamente.

Alla luce di questo cambiamento e di quello scritto fino ad adesso, è facile quindi capire come una valutazione di sostenibilità sia interessante da estendere oltre i confini dell'impresa per analizzare l'intera catena di approvvigionamento.

Nasce proprio da questo un tentativo di estendere la Sus-VSM all'intera *supply chain* con l'ausilio delle tecniche di simulazione DES.

### 6.1. La *Supply Chain Sustainable Value Stream Mapping* – SC Sus-VSM

**Tratto da:** “*Combining Sustainable Value Stream Mapping and simulation to assess manufacturing supply chain network performance.*”

Nel 2014, anno di nascita della Sus-VSM uno studioso dell'università del Kentucky, tentò di estendere il modello introdotto da Faulkner e Badurdeen, in modo da poterlo applicare all'interno dell'intera *supply chain* in cui un'azienda si trova ad operare.

L'applicazione richiede l'analisi di un gran numero di fattori e variabili che con il mero utilizzo di carta e penna sarebbe impensabile. Per questo motivo e, inoltre, per avere una visione dinamica dei valori interessanti, la valutazione avviene tramite i sistemi simulativi, già incontrati in precedenti studi, i DES.

#### 6.1.1. Parametri della SC Sus-VSM

I parametri presi in considerazione, come anticipato in precedenza, sono gli stessi della classica Sus-VSM, parametri di carattere ambientale e parametri di carattere sociale. Le metriche ambientali sono annoverate con la differenza sostanziale di non avere un focus sul singolo processo ma sulle singole aziende che costituiscono la *supply chain*,

Anche le metriche sociali, adattate in ottica di singole aziende, non andranno a misurare le stesse situazioni della Sus-VSM ma altri fattori di tipo macro a livello delle varie aziende.

### 6.1.1.1. Parametri ambientali

All'interno di questa categoria troviamo:

- 1) Raw Material Usage
- 2) Water Usage
- 3) Energy consumption
- 4) GHG Emissions

I primi 3 fattori sono già noti dalla Sus-VSM mentre il quarto è stato introdotto in questo caso specifico. Ora li vedremo più nel dettaglio.

**Raw Material Usage:** il principio utilizzato è lo stesso visto nella Sus-VSM, ovvero quello di segnare passaggio dopo passaggio quanto materiale dal prodotto viene sottratto e aggiunto in peso. La differenza è nel livello in cui avvengono la sottrazione e l'addizione, poiché nella Sus-VSM avviene a livello di processo, nella SC Sus-VSM avviene a livello di singole aziende che compongono la *supply chain*.

Anche dal punto di vista grafico è possibile riscontrare una certa continuità tra le due tipologie di rappresentazioni.

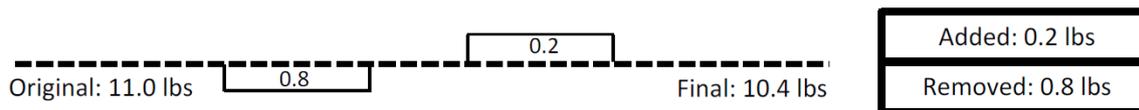


Figura 37: linea del *Raw Material Usage*.

**Water Usage:** stesso dicasi per quanto riguarda il consumo d'acqua. In continuità con quanto proposto da Faulkner and Badurdeen viene registrato l'ammontare di acqua *needed*, *used*, e *lost* utilizzato durante la realizzazione del prodotto nei singoli plant produttivi, per cui verrà, tramite l'apposita simbologia, registrata la quantità di acqua utilizzata in ogni passaggio.

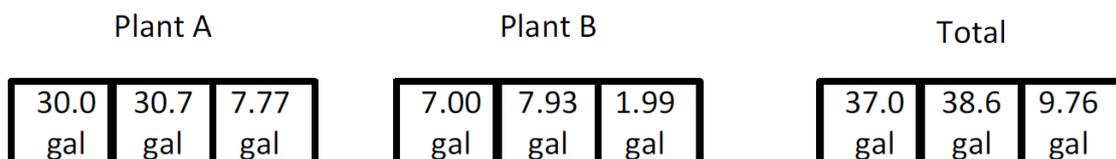


Figura 38: linea del *Water Usage*.

**Energy consumption:** anche per l'energia consumata, indicatore molto importante per la valutazione dell'impatto ambientale di una catena produttiva, si segue fedelmente il modello della Sus-VSM con le dovute differenze.

Infatti, viene registrato il consumo di energia elettrica per la realizzazione del prodotto in tutte le aziende della catena di approvvigionamento. La differenza, con il modello della Sus-VSM che si evince anche dalla rappresentazione grafica, è che il materiale viene movimentato tra un plant produttivo e un altro per cui è necessario registrare anche il consumo energetico dovuto a queste movimentazioni, cosa che tra un processo e un altro non avveniva poiché trascurabile.

Dalla rappresentazione grafica è possibile osservare come vengano registrati consumi energetici in ogni plant, all'interno degli ovuli, mentre il consumo dovuto alla movimentazione è segnato tra un ovulo ed un altro.

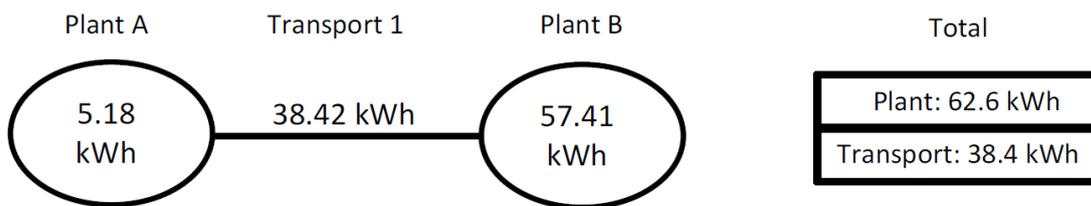


Figura 39: linea dell'Energy Consumption.

**GHG Emissions:** l'ultima misurazione che rientra all'interno dei parametri ambientali è un indicatore nuovo, non presente all'interno della Sus-VSM. L'indicatore GHG cerca di intercettare i consumi di gas serra diretti e indiretti prodotti dalle aziende della *supply chain* per la realizzazione del prodotto finito. Due studiosi Chen and Johnson (2011), proposero 3 modalità differenti per misurare le emissioni di gas serra:

- 1) Considerare soltanto le emissioni dirette legate alla produzione.
- 2) Considerare in aggiunta le emissioni dovute al consumo di energia.
- 3) Considerare in aggiunta alle precedenti anche i consumi indiretti dovuti alle attività giornaliere della vita aziendale.

Nel caso specifico è stato deciso di utilizzare il secondo approccio, considerando anche i GHG prodotti dal consumo energetico, tralasciando come proposto nella terza modalità le attività secondarie perché trascurabili. Per la misurazione sono registrate, come nel caso del consumo energetico, a livello di azienda, la quantità di CO<sub>2</sub> prodotta in ogni plant produttivo, sia direttamente che a causa dell'utilizzo di energia elettrica. In più viene preso nota del consumo di CO<sub>2</sub> prodotta per gallone di gasolio dovuto al trasporto inter-plant.

La rappresentazione grafica è molto simile a quella del consumo di energia elettrica con la differenza nell'utilizzo di "nuvolette" per segnare il consumo di CO<sub>2</sub> nel plant.

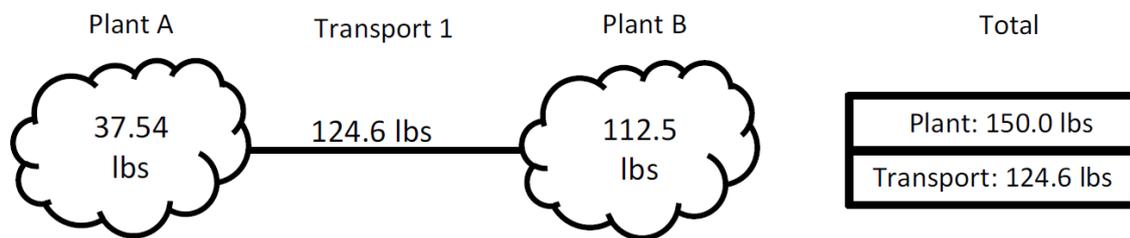


Figura 40: linea dell'emissioni di GHG.

### 6.1.1.2. Parametri sociali

La valutazione di sostenibilità a livello di *supply chain* non si limita ad una visione ambientale ma viene estesa anche ad una sfera sociale. Viene sempre utilizzata la Sus-VSM come traccia per sviluppare anche questa tipologia di parametri. Tuttavia, il passaggio tra il livello di singolo plant produttivo all'intera catena di approvvigionamento, come già visto anche nel caso delle metriche ambientali, porta dei cambiamenti valutativi dovuti alla differente portata di attori e complessità del sistema. Infatti, la valutazione sociale della *supply chain*, non utilizza gli stessi parametri inseriti nella Sus-VSM, ma sfrutta 6 indicatori che portino ad una valutazione globale che tenga conto della molteplicità di persone coinvolte, dai dipendenti, ai fornitori, ai clienti fino ad arrivare all'impatto sociale legato al territorio in cui si trovano le varie aziende. Inoltre, è bene sottolineare, come per l'applicazione di questa tipologia di valutazione, è richiesto un numero molto alto di informazioni, che spesso devono essere recuperati dai fornitori stessi che possono essere restii a cedere determinati dati. In generale gli indicatori utilizzati sono:

- 1) Product Defect Ratio
- 2) Local Community Hiring Ratio
- 3) Diversity Ratio
- 4) Injury Rate Metric
- 5) Hazardous Materials/Chemicals Metric
- 6) Employee Training Intensity Metric

**Product Defect Ratio:** il primo indicatore a livello sociale considerato misura la percentuale di parti difettose uscite da ogni singolo plant. Questo, è introdotto come garanzia nei confronti del cliente e viene misurato plant per plant in modo da permettere anche ad un'azienda, che

avesse una percentuale alta, di andare ad individuare nello specifico quel processo che genera delle parti difettose e di ottimizzare il rendimento. Produrre parti difettose fa sì che al cliente arrivino prodotti con molteplici problematiche che può generare un ciclo di azioni molto onerose in termini di tempo e soprattutto di costo. Infatti, l'azienda e tutta la catena ne risentirebbe dal punto di vista dell'immagine, si rischierebbe di incorrere in cause giudiziarie a causa di danni procurati e inoltre genererebbe dei richiami dei prodotti con rischio di dover incorrere in smaltimenti o ricicli.

Garantire una buona qualità di prodotto a tutti i suoi livelli permette all'intera *supply chain* di giovarne, sotto molti punti di vista.

Graficamente la rappresentazione è molto semplice e si compone di un piccolo numero, espresso in percentuale, che si inserisce nel data box riferito ad ogni plant.

***Local Community Hiring Ratio:*** questo indicatore mostra la relazione che si viene a creare tra un'azienda e le persone o comunque il territorio limitrofo. Infatti, si vuole misurare le opportunità lavorative che l'impresa offre alle persone della zona. Avere una buona convivenza con gli abitanti, crea anch'essa una buona reputazione dell'azienda, che ne gioverà nel momento in cui vorrà aprire un altro stabilimento, poiché più facilmente sarà accolta dalle persone, consapevoli delle opportunità potenziali che si potrebbero creare.

Il dato inserito graficamente è fornito direttamente dalle *Human Resources* (HR) delle aziende e viene messo all'interno dei data box, relativo ad ogni impianto, come nel precedente caso.

***Diversity Ratio:*** Simile al precedente indicatore, il *Diversity Ratio* tiene conto della comunità, ma in un senso più ampio della semplice area circostante allo stabilimento. Questa metrica registra la diversità razziale e di genere della forza lavoro aziendale. Anche in questo caso i dati utili sono forniti dalle *Human Resources* e viene stimato come proporzione tra i dipendenti delle minoranze sul totale della forza lavoro. Il valore ottenuto con questo parametro fornisce un indicatore di quanto l'azienda stia evitando discriminazioni nel reclutamento del personale e mostra, allo stesso tempo, la volontà di assumere vari membri della società. Assumendo una forza lavoro diversificata, l'azienda, può beneficiare di idee e competenze provenienti da numerosi background e culture.

Data la demografia di alcune aree, tuttavia, potrebbe non essere fattibile per alcune imprese raggiungere un elevato rapporto di diversità, in quanto la comunità stessa in cui è inserita potrebbe non avere quel *Melting pot* necessario per la stima di questo indicatore, per cui

potrebbe essere verificato, come prova di sostenibilità, il bilanciamento tra le assunzioni della comunità locale e le assunzioni delle minoranze.

La diversità è un criterio che, senza ombra di dubbio, deve essere considerata al fine di promuovere la sostenibilità sociale. Come nei casi precedenti il Diversity Ratio viene visualizzato come percentuale all'interno dei data box nella SC Sus-VSM.

***Injury Rate Metric:*** Come dimostrato dalla scelta delle metriche per il Sus-VSM, il benessere dei dipendenti è un aspetto importante della sostenibilità sociale che dovrebbe essere attentamente valutato.

L'*Injury Rate Metric* fornisce un'indicazione generale sugli infortuni verificatosi, in modo da permettere un'eventuale indagine più approfondita per determinare la causa delle lesioni. Le informazioni sugli infortuni sono facilmente reperibili dalle risorse umane tramite i report sulla salute e la sicurezza dell'impianto che ciclicamente sono redatti.

Monitorare il tasso di sinistri è necessario per evitare un gran numero di potenziali spese. Infatti, ogni volta che si verifica un incidente, il flusso di lavoro dell'impianto viene interrotto, causando ritardi e confusione a cui si aggiungono potenziali lesioni che portano i dipendenti a non tornare immediatamente al lavoro, richiedendo lavoratori sostitutivi che sicuramente non potranno avere le stesse conoscenze ed esperienza, rischiando di incorrere in errori e ulteriori perdite di tempo.

Inoltre, l'azienda potrebbe trovarsi a risarcire il dipendente, pagando le spese mediche per il trattamento del danno subito, senza contare una verifica di non messa a norma del sistema produttivo, da cui possono derivare ripercussioni degli organi regolatori e potenziali cause legali da parte di lavoratori infortunati per colpa di un ambiente di lavoro non sicuro.

In generale, monitorando il tasso di infortuni per ciascun impianto, l'impresa possono identificare potenziali miglioramenti per ridurre il numero di infortuni, riducendo le interruzioni, mostrando ai dipendenti che il loro benessere è uno dei principali preoccupazioni.

L'*Injury Rate Metric* è registrato all'interno di ogni box di impianto e visualizzato come il numero di lesioni in un determinato periodo di tempo.

***Hazardous Materials/Chemicals Metric:*** questo indicatore è stato preso direttamente dalla Sus-VSM applicando alcuni cambiamenti. Come per l'*Injury Rate Metric*, questo parametro tiene conto del benessere dei dipendenti come aspetto sociale della sostenibilità.

Come già proposto nel modello di William Faulkner e Fazleena Badurdeen, la valutazione dei materiali pericolosi è classificata in base alla probabilità di accadimento e al livello di impatto potenziale, come mostrato nella Tabella 7, pagina 55.

La differenza presente nella SC Sus-VSM, come già nei precedenti parametri, è nel livello in cui è effettuata la valutazione, ovvero per ogni impianto di ogni azienda della catena di approvvigionamento, invece che a livello di singolo processo. Se in uno dei plant produttivi viene riscontrato un alto rischio a causa di materiali pericolosi, si possono sviluppare azioni migliorative o possibili sostituzioni per trovare sostanze meno dannose in grado di adempiere alle stesse funzioni necessarie.

Controllare con una certa frequenza questo tipo di metrica permette di evitare di incorrere in multe salate, poiché un'alta rischiosità dei materiali impiegati può andare contro le norme di legge sullo smaltimento di sostanze inquinanti e prodotti chimici, sui quali gli organi preposti al controllo, giustamente, ripongono grande attenzione.

Inoltre, nel caso si riscontri che in un determinato plant vi è un'alta rischiosità, è possibile effettuare analisi più dettagliate per capire a quale processo o attività è legata, per proteggere la salute dei lavoratori.

Anche in questo caso il valore calcolato è inserito nel data box sotto ogni plant, così da essere maggiormente chiaro e poco ingombrante.

***Employee Training Intensity Metric:*** all'interno della valutazione sociale per la sostenibilità viene inserita anche un indicatore molto importante che va a misurare il livello di formazione che viene garantita ai dipendenti.

Fornendo formazione, un'impresa aiuta i propri lavoratori a sviluppare competenze necessarie per ottenere delle promozioni all'interno dell'azienda, o per poter essere utilizzate anche al di fuori del posto di lavoro.

Allo stesso tempo la società può garantire che tutti i dipendenti sviluppino una certa abilità e innalzino la qualità delle attività che devono eseguire.

Inoltre, fornendo un *cross-training* inter-operazionali, più persone sapranno fare più ruoli, per cui l'assenza di uno, per malattia o per altri motivi, potrà essere facilmente sopperita da un collega già formato.

I dati necessari per registrare l'intensità della formazione dei dipendenti dovrebbero essere resi disponibili dalle risorse umane, che avranno un registro del numero di ore di formazione.

Anche questo dato viene inserito all'interno dei data box di riferimento per ogni plant sottoforma di ore di formazione ricevuto in media dai dipendenti.

### 6.1.2. Costruzione Current-state

Una volta elencate tutte le metriche da considerare è possibile costruire la SC Sus-VSM. Ogni impianto della *supply chain* è rappresentato con un riquadro, come i processi nella Sus-VSM standard (Faulkner e Badurdeen, 2014), ma al loro interno vi sono informazioni differenti: il *Defect Ratio*, l'*Injury Rate*, l'*Employee Training Intensity*, il *Local Community Hiring Ratio*, il *Diversity Ratio* e l'*Hazardous Material/Chemical Rating*.

Nella Sus-VSM, la quantità di WIP è indicata usando un'icona a triangolo prima di ogni processo nella linea di produzione, mentre nella SC Sus-VSM il WIP viene visualizzata usando la stessa icona sopra la casella dell'impianto.

Il trasporto tra i plant viene visualizzato utilizzando un'icona che rappresenta la modalità di movimentazione del materiale, ad esempio un camion, un aereo o una barca, nella quale vengono anche indicate informazioni come la frequenza delle spedizioni, il tempo di viaggio e la distanza. Sopra all'icona del trasporto viene indicato, con lo stesso triangolino del WIP, la quantità di inventario in attesa di essere spedito.

Adiacente alla simbologia delle spedizioni vi sono delle frecce che indicano la direzione di scorrimento del flusso di prodotto attraverso la catena di approvvigionamento.

Le metriche come il *Raw Material Usage*, il *Water Usage*, l'*Energy consumption* e il *GHG Emissions* sono riportati sotto al box di ogni impianto, mentre il totale di ogni voce lungo tutta la catena è riportato all'estremità destra dello schema.

Come una classica VSM sono riportati anche: il *lead time* totale dell'impianto e il tempo a valore aggiunto visualizzato rispettivamente sopra e sotto la linea, posti sotto i data box, il tempo di consegna, visualizzato sulla linea del tempo sotto le icone del trasporto. Sul lato destro del SC Sus-VSM, sopra alle icone che rappresentano il totale degli altri indicatori, vengono visualizzati il *lead time* totale e il tempo totale a valore aggiunto della SC.

La SC Sus-VSM nella figura 41 rappresenta il *current-state* di una *supply chain* e può essere utilizzata per visualizzare rapidamente una catena di approvvigionamento e identificare potenziali miglioramenti di sostenibilità basati sui valori dei parametri visualizzati nella mappa.

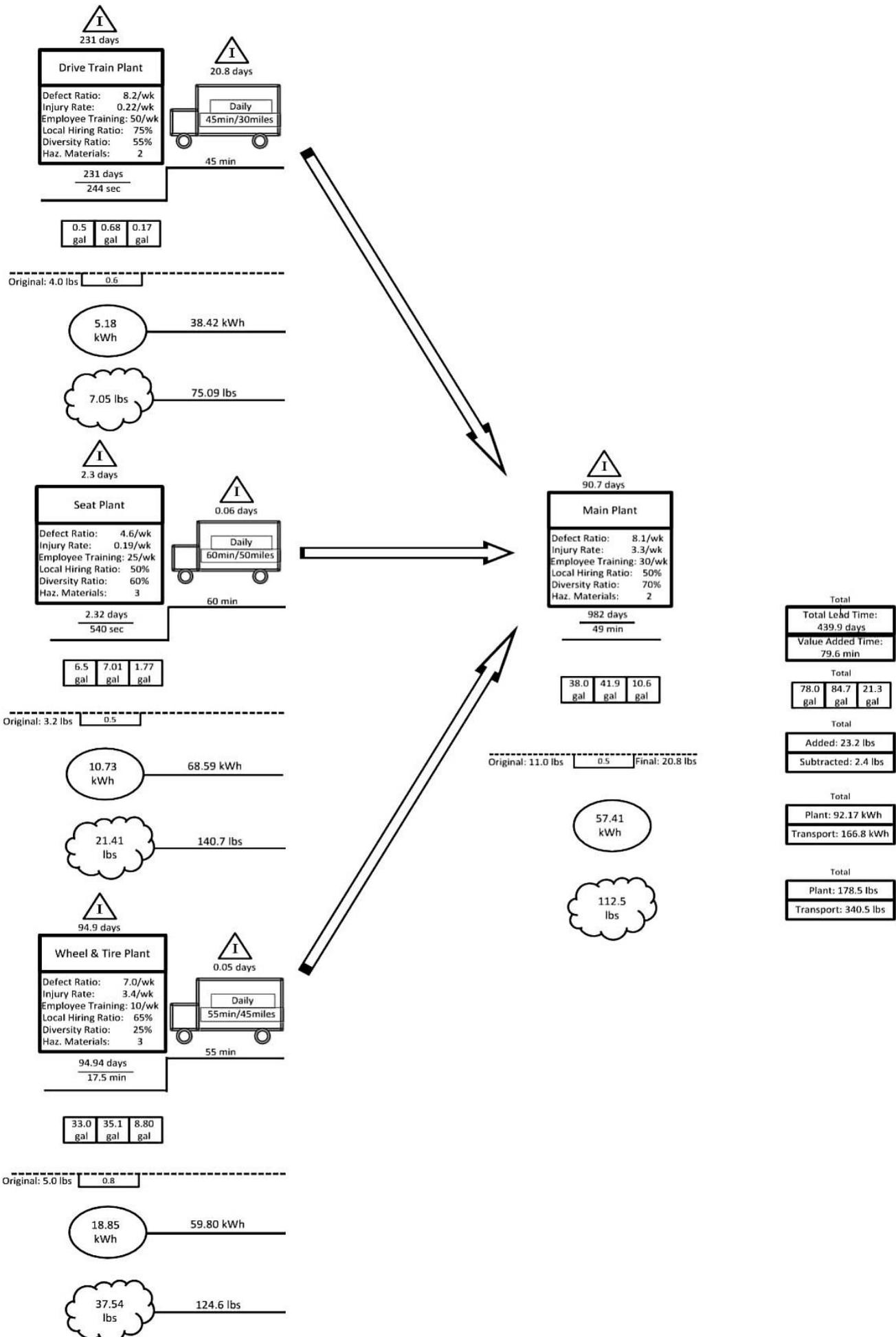


Figura 41: il current-state della SC Sus-VSM

### 6.1.3. Implementazione *Future-state*

Data l'impressionante mole di informazioni necessarie per la valutazione e il miglioramento dell'intera catena di approvvigionamento di un'azienda e visto il grande numero di persone coinvolte, lo sviluppo del *future-state* non può essere effettuato in modo "classico" utilizzando soltanto carta e penna, ma vengono in ausilio innovativi sistemi di simulazione, attraverso i quali si ha la possibilità di avere differenti *future-state*, ottenuti tramite la variazione di una vasta gamma di parametri.

Tuttavia, visto che la SC Sus-VSM, considera molte metriche, bisogna prestare attenzione che il miglioramento di alcuni parametri portino all'incremento di una certa metrica ma a discapito di un'altra, soprattutto in quelle sociali, dove l'equilibrio è molto labile. È necessario trovare un trade-off tra i vari indicatori.

**Analisi critica:** il modello proposto da D. Sparks rappresenta un *unicum* per completezza di analisi e di fattori considerati. Come già sottolineato in precedenza il fatto che la concorrenza oggi si sia spostata da un'ottica di singola azienda ad una di supply chain, evidenzia l'importante contributo che può fornire uno strumento del genere. Tuttavia, il potenziale posseduto è molto alto, l'applicazione potrebbe essere più difficoltosa, soprattutto perché sono necessarie informazioni sensibili, soprattutto per quanto riguarda i parametri sociali, che talvolta le aziende, seppur in buoni rapporti, sono restii a divulgare. È molto interessante, inoltre, osservare la centralità che viene riposta sul benessere dei lavoratori, che svalica la singola valutazione sulla sicurezza, concentrandosi su aspetti che oggi sono molto importanti, ovvero il benessere del dipendente. Infatti, la qualità del lavoro di ognuno dipende fortemente da quanto si sente sicuro e accettato sul luogo del lavoro.

Un'analisi di sostenibilità come quello proposto nella SC Sus-VSM, con l'aiuto dei sistemi di simulazioni presenti oggi, potrà sicuramente incrementare il rendimento dell'intera catena di approvvigionamento di un'azienda, anche se sarà necessario compiere sforzi in quella direzione.

### 6.1.4. Proposta migliorativa

Dato che l'autore del modello è molto attento agli indicatori sociali, in particolar modo alla diversità di genere e di razza, credo che sarebbe interessante introdurre all'interno di questa valutazione anche le persone portatrici di handicap. Credo che un'azienda attenta ai bisogni di

queste persone possa davvero migliorare, oltre che l'immagine agli occhi degli esterni, i grandi valori che queste persone possono trasmettere ai propri lavoratori. Troppo spesso i portatori di handicap sono abbandonati a sé stessi a gravare, senza colpe, sulle proprie famiglie. Penso che non basti oggi soltanto leggi che obbligano le aziende ad assumerne un certo numero ogni tot dipendenti, ci vuole una sensibilizzazione maggiore e introdurre un valore del genere all'interno di un'analisi di sostenibilità credo che sia oltre che coerente, dovuto.

## **7. Proposta integrativa alla Sustainable Value Stream Mapping**

Come già evidenziato in precedenza, il modello che, per applicazione, facilità di utilizzo e completezza di dati considerati, viene preso come riferimento è la *Sustainable Value Stream Mapping* (Sus-VSM), presentata da William Faulkner e Fazleena Badurdeen. Tra i tanti aspetti valutati, spiccano quelli sociali, in cui si valuta sia la sicurezza nel luogo del lavoro, sia l'ergonomia delle operazioni svolte.

Proprio a partire da quest'ultimo tema, nel capitolo finale del mio elaborato, voglio presentare un'integrazione migliorativa al modello, tramite la proposta di un modulo usufruibile dagli utilizzatori della Sus-VSM, per arrivare ad ottenere una valutazione ergonomica delle operazioni del processo produttivo, immediatamente più indicativa e affidabile.

I problemi legati all'ergonomia sui posti di lavoro sta assumendo oggi una rilevanza enorme, basti pensare che il 25% dei lavoratori europei soffre di mal di schiena, secondo i dati ESAW 2016 (*European Statistics on Accident at Work*).

In Italia quasi un lavoratore su due resta a casa dal lavoro soprattutto per disturbi muscolo scheletrici, che sono la causa del 49,9 % delle assenze e del 60% di incapacità permanente al lavoro (1°rapporto dell'AMNIL 2013).

Il rapporto INAIL 2017 riporta che oltre 16 mila denunce per disturbi muscolo scheletrici, e che il numero è più che raddoppiato dal 2005 al 2009 (per la precisione da 7926 a 16593).

Da questi dati si comprende facilmente la centralità della questione e dell'importanza di una prevenzione accurata, anche perché l'alto tasso di assenteismo crea inevitabilmente grosse problematiche interne, con conseguenti cali drastici dell'efficienza, fattore che oggi è determinante per la competizione.

### **7.1. Problematica del modulo *Physical Load Index* (PLI)**

All'interno della Sus-VSM i due autori propongono l'inserimento di un'analisi preliminare tramite l'utilizzo del modulo *Physical Load Index* (PLI).

Il PLI è un modulo, riportato in figura a pagina 54, che ogni operatore deve completare, riportando la frequenza (*never, seldom, sometimes, often, very often*) di determinati movimenti, del tronco, delle braccia, delle gambe, di sollevamento di carichi e d'inclinazione della schiena, che effettua quotidianamente nello svolgimento della propria mansione.

Una volta completata la scheda viene calcolato il valore del PLI tramite la somma dei punteggi associati ad ogni movimentazione moltiplicato per la frequenza.

La scelta di questo metodo viene giustificata sottolineando come l'obiettivo dell'indagine fosse quello di voler ottenere soltanto un'indicazione generale sull'ergonomia di una data operazione, alla quale far seguire, se necessario, un'analisi maggiormente approfondita. Inoltre, gli autori evidenziano che il PLI rappresenti la modalità di valutazione più adatta per velocità applicativa e rappresentativa all'interno dello schema grafico.

Tuttavia, a mio avviso sono 3 le principali problematiche da sottolineare nell'utilizzo di questa pratica:

- 1) **Rischio di sovradimensionamento o sottodimensionamento del valore:** lasciare il completamento della scheda agli operatori rischia di far perdere alla valutazione oggettività a favore della soggettività di ogni individuo con conseguente sovra/sottodimensionamento dell'indice PLI, che porta il rischio di non adottare le misure correttive giuste dove necessario.
- 2) **Mancanza di immediatezza del risultato:** la valutazione tramite il PLI è una valutazione rapida quanto superficiale, pensata per individuare potenziali rischi da valutare più accuratamente con altre metodologie. Tuttavia, per le operazioni considerate a rischio sono necessarie almeno due valutazioni differenti, quella per tramite il PLI e successivamente quella con un metodo più preciso, con tutto quello che ne comporta: due sopralluoghi nel processo in fase di studio, il doppio coinvolgimento degli operatori e altre dinamiche ancora.  
Per cui l'applicazione rapida, in origine punto di forza del metodo, diventa molto lunga nel caso fosse necessario indagini più approfondite.
- 3) **Nessuna distinzione di sesso e/o genere:** all'interno della scheda non viene richiesto in fase preliminare se l'operatore che sta completando il modulo è un uomo o una donna e se si tratta di un adulto o un ragazzo. Questo non permette, almeno nell'immediato, di valutare se una certa operazione possa essere dannosa magari per una donna ma sostenibile per un uomo.

## 7.2. Proposta migliorativa: introduzione del *NIOSH FORM*

La proposta di miglioramento che vorrei presentare nasce proprio a partire dalle 3 problematiche individuate nell'applicazione del PLI.

Prima di procedere con la descrizione della mia idea è bene specificare che in letteratura esistono molti metodi per la valutazione ergonomica di un lavoro, molto più approfonditi del *Physical Load Index*, a seconda delle caratteristiche del lavoro, in particolare nel caso della movimentazione manuale di carichi, tra questi ricordiamo: il modello NIOSH (*National Institute for Occupational Safety and Health*), il modello Snoock-Ciriello, il modello MAPO, il modello OCRA (*Occupational Repetitive Action*) e altri ancora.

È proprio a partire da uno di questi modelli, il NIOSH, che ho sviluppato il mio suggerimento di integrazione della Sus-VSM.

### 7.2.1. Il metodo Niosh

La movimentazione di carichi di un'unica tipologia (oggetti di peso e dimensioni simili), seguendo identiche geometrie di sollevamento (medesime altezze di presa e destinazione ad esempio), può essere valutata tramite l'applicazione della norma tecnica UNI ISO 11228-1, che riprende, con opportune modifiche, l'equazione RNLE (*Revised NIOSH Lifting Equation*). Questa è finalizzata al calcolo del "peso limite raccomandato" (RWL) per le azioni di sollevamento, integrando i vari fattori organizzativi e geometrici identificabili. Il "peso limite raccomandato", calcolato a partire dal peso massimo sollevabile in condizioni ideali ridotto in funzione dell'apporto di vari fattori ed essenzialmente rappresentato dal carico massimo sollevabile seguendo le specifiche modalità di movimentazione proprie dell'attività lavorativa in esame senza che l'operatore sia esposto a rischio, viene poi confrontato con il peso effettivamente movimentato, al fine di procedere alla stima dell'Indice di Rischio (IR)

$$IR = \text{Peso} \frac{\text{sollevato}}{\text{Peso}} \text{limite raccomandato}$$

dove:

- Il peso sollevato è espresso in kg;
- Il peso limite raccomandato (kg) è il prodotto fra la costante di peso (o massa di riferimento) e 6 fattori dipendenti dalle geometrie e dall'organizzazione di lavoro:

$$RWL = M_{ref} \times H_m \times V_m \times D_m \times A_m \times F_m \times C_m$$

**Mref - costante di peso:** il NIOSH ha identificato in 23 kg il valore della suddetta costante senza operare alcuna distinzione in base all'età ed al genere degli operatori. Tuttavia, sulla scorta dei dati disponibili in letteratura si può affermare che la presente proposta (a partire da 30 Kg per i maschi adulti e da 20 Kg per le femmine adulte) è in grado di proteggere all'incirca il 90% delle rispettive popolazioni, soddisfacendo con ciò il principio di equità (tra i sessi) nel livello di protezione assicurato alla popolazione lavorativa.

Peraltro, la proposta è suscettibile di ulteriori adattamenti con riferimento a sottoinsiemi particolari della popolazione (anziani, portatori di patologie, ecc..) attraverso la scelta di valori di peso iniziale (o "ideale") specifici per tali gruppi. Il valore della suddetta costante senza operare alcuna distinzione in base all'età ed al genere degli operatori. Al contrario, le varie fonti di letteratura tecnica, come anche diverse norme internazionali, operano delle distinzioni della costante di peso in base alle caratteristiche di genere e di sesso degli operatori ed alla percentuale di popolazione di riferimento;

**Hm – Fattore orizzontale:** Per la stima del suddetto fattore risulta necessario conoscere la distanza massima (in cm) del peso dal corpo dell'operatore durante il sollevamento o più precisamente la distanza orizzontale fra la proiezione verticale del punto medio di presa delle mani (baricentro del carico) ed il baricentro del corpo. La distanza orizzontale è misurata dal punto centrale della linea congiungente i malleoli interni (baricentro corporeo) al punto di mezzo tra la presa delle mani (baricentro del peso) proiettata verticalmente a terra. Il valore di hm diminuisce all'aumentare della distanza orizzontale, ottenendo il livello ottimale per una distanza orizzontale uguale o inferiore a 25 cm (Hm pari a 1), mentre il valore minimo è correlato con la distanza di 63 cm (Hm pari a 0).

Il Fattore orizzontale deve essere valutato sia nella fase di sollevamento del carico, che in quella di posa dello stesso, assumendo il valore maggiormente inficiante.

**Vm – Fattore altezza del sollevamento:** è funzione dell'altezza dal suolo, espressa in cm, delle mani dell'operatore misurata sulla verticale che va dal piano di appoggio dei piedi sino al centro del punto di presa del carico. Tale altezza deve essere misurata all'inizio ed al termine della movimentazione, onde valutare quella maggiormente onerosa a carico dell'operatore. Il livello ottimale è pari a 75 cm, corrispondente all'altezza delle nocche in posizione fisiologica (Vm pari a 1); il valore del fattore diminuisce allontanandosi da tale

livello fino agli estremi rappresentati dal livello del piano di calpestio e da un'altezza di 175 cm ( $V_m$  pari a 0);

**D<sub>m</sub> – Fattore dislocazione verticale:** è funzione dello spostamento verticale, espresso in cm, delle mani dell'operatore durante la movimentazione del carico. Esprime quindi la differenza fra l'altezza delle mani all'origine e alla destinazione del sollevamento, rappresentando l'innalzamento/abbassamento del carico tra la posizione di origine e quella di destinazione. Il livello ottimale ( $d_m$  pari a 1) si ottiene per dislocazioni di massimo 25 cm, mentre al di sopra di tale valore, il fattore diminuisce progressivamente fino ad essere pari a 0 nel caso di dislocazioni di 175 cm.

**A<sub>m</sub> – Fattore asimmetria:** L'angolo di asimmetria non dipende dalla posizione dei piedi o dalla torsione del tronco dell'operatore, ma dalla posizione del carico relativamente al piano sagittale mediano del soggetto. La linea sagittale rappresenta quella linea passante per il piano sagittale mediano, che divide il corpo in due parti uguali, considerando quest'ultimo in posizione neutra senza assumere torsioni. La linea di asimmetria congiunge la proiezione a terra del punto di mezzo delle caviglie con la proiezione a terra del punto di mezzo delle mani dell'operatore all'inizio della movimentazione. L'angolo di asimmetria varia fra 0° e 135°, con valori di  $A_m$  rispettivamente pari a 1 e 0,57.

**C<sub>m</sub> – Fattore presa:** esprime le modalità di prensione del carico, basandosi sulle caratteristiche qualitative della presa, classificabili in buona ( $c_m = 1$ ), sufficiente ( $c_m = 0,95$ ) e scarsa ( $c_m = 0,9$ ). Fondamentali risultano essere in proposito le caratteristiche dimensionali del carico e la presenza o meno, come anche la tipologia, di maniglie esterne o di fessure alloggiate nel carico.

**F<sub>m</sub> – Fattore frequenza:** è funzione di due variabili rappresentate dal numero di oggetti sollevati nell'unità di tempo (minuto) e dalla durata dell'attività di sollevamento (riferita al turno di lavoro giornaliero di 8 ore). Quest'ultima è suddivisibile in tre fasce: o breve durata (sollevamenti che coinvolgono l'operatore fino ad un'ora, seguiti da un periodo di recupero di estensione pari ad almeno 1,2 volte la durata dell'attività di sollevamento, o media durata (movimentazioni di durata compresa fra 1 e massimo 2 ore, seguite da tempistiche di recupero di estensione pari ad almeno 0,3 volte la durata dell'attività di sollevamento); o lunga durata

(movimentazioni di durata superiore alle 2 ore, ma inferiore ad 8 ore, seguite da normali periodi di recupero).

Una volta pervenuti al calcolo dell'indice di rischio, rapporto fra il peso effettivamente sollevato (in kg) ed il peso limite raccomandato ottenuto grazie all'identificazione e quantificazione dei fattori moltiplicativi sopra illustrati, è possibile evidenziare la presenza o meno di rischio correlato con l'attività di sollevamento in esame, in base al valore assunto dall'indice di rischio stesso.

Con valori inferiori ad 1 l'attività non è caratterizzata dalla presenza di rischio, mentre con valori superiori ad 1 si palesa la presenza di rischio, tanto maggiore quanto il valore dell'indice si allontana da 1.

L'equazione ha anche il merito di consentire di ipotizzare e porre in atto tutta una serie di misure finalizzate al mitigamento delle condizioni di rischio associate al sollevamento in esame. Identificati i fattori maggiormente inficianti, rappresentati nella gran parte dei casi, come sopra asserito, dalla frequenza, dal fattore orizzontale e da quella asimmetria, si può agire proprio sugli stessi al fine dell'ottenimento di un peso limite raccomandato il più vicino possibile al peso effettivamente sollevato. Ne conseguirà quindi un indice di rischio sempre meno inficiante, quanto più il peso limite raccomandato si avvicini fino a sovrapporsi al peso sollevato, facendo assumere a ciascun singolo fattore valori il più possibilmente vicini ad 1.

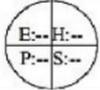
È bene ricordare che il NIOSH è applicabile sotto determinate condizioni:

- Sollevamento di carichi svolto in posizione in piedi (non seduta o inginocchiata) in spazi non ristretti.
- Carichi pesanti più di 3 kg.
- Sollevamento di carichi eseguito con due mani.
- Altre attività di movimentazione manuale (trasporto, spingere a tirare) minimali.
- Adeguata frizione tra piedi (suola) e pavimento (coeff. di frizione statica > 0,4).
- Gestii di sollevamento eseguiti in modo non brusco.
- Carico non estremamente freddo, caldo, non sporco o con il contenuto instabile.
- Condizioni microclimatiche non sfavorevoli.

[Testo unico]

### 7.2.2. Il NIOSH FORM

Dopo una descrizione dettagliata del metodo NIOSH, passiamo alla descrizione dell'integrazione di questo modello all'interno della Sus-VSM. Infatti, a mio avviso, una valutazione ergonomica deve essere fatta, fin da subito, indiscutibilmente nel modo più approfondito possibile per cercare di individuare al più presto operazioni rischiose. Il NIOSH, a differenza del PLI è annoverato anche dall'INAIL (Istituto nazionale per l'assicurazione contro gli infortuni sul lavoro) come un metodo ufficiale, sotto determinate condizioni come visto in precedenza, per la rilevazione di rischi in attività di sollevamento semplici. All'interno di questa categoria, rientrano la maggior parte delle azioni praticate in ambito operativo dai lavoratori, nei settori più disparati. È molto bassa, fortunatamente, la percentuale di lavori che richiedono attività straordinarie che non possono essere valutate con questa metodologia. Proprio a partire da questi concetti, ho ideato una scheda, simile a quello del PLI, all'interno del quale vi è una struttura *user friendly* per l'applicazione del NIOSH. La scheda, riportata nella pagina seguente, è composta nella parte superiore da due spazi nel quale indicare il nome dell'operatore osservato e il nome dell'operazione svolta, mentre sulla sinistra sono presenti le tabelle riportanti i termini, con i vari valori, utili per il calcolo del peso raccomandato. Alla destra di ogni tabella sono posti dei riquadri nei quali annotare, dopo la rilevazione, i valori corretti presi dalle tabelle di riferimento, divisi dal simbolo di moltiplicazione (x) per far comprendere a chiunque, che i valori segnati diventeranno i fattori di una moltiplicazione. Infatti, in basso a destra verrà riportato il prodotto dei vari fattori riportati negli appositi riquadri, che rappresenta il *Recommended weight limit* nonché il divisore per il calcolo del NIOSH index, mentre in basso a sinistra viene segnato il peso reale dell'oggetto movimentato, che rappresenta invece il dividendo. In basso al centro, evidenziato in giallo, vi è lo spazio dove segnare il risultato della divisione, che mostra il livello di rischio dell'operazione. Il valore calcolato oltre che dare un'indicazione ergonomica



Cure Oven	
Workers:	1
C/T:	1,230 S
C/O:	-----
Uptime:	100%
NIOSH Ind:	0,86
Noise:	83 dbA

importante, potrà essere annotato all'interno dei data box di ogni operazione dentro la Sus-VSM, come accadeva nel caso del PLI. Sotto in figura è riportato il lay-out della scheda ideata, che è stato pensato per permettere a chiunque, anche a una persona non esperta nel campo di comprendere quale possa essere l'idea sottostante alla creazione di questo indice.

Figura 42: inserimento dell'indicatore NIOSH all'interno del Data box di un processo.

<b>(Mref) - Weight constant</b>		
Age	Male	Female
>18 years - weight (Kg)	30	20
15-18 years - weight (Kg)	20	15

**X**

<b>(Hm) - Horizontal factor</b>							
Dislocation (cm)	25	30	40	50	55	60	>63
Factor	1,00	0,83	0,63	0,50	0,45	0,42	0,00

**X**

<b>(Am) - Asymmetry factor</b>							
Corner dislocation (°)	0°	30°	60°	90°	120°	135°	>135°
Factor	1,00	0,90	0,81	0,71	0,62	0,57	0,00

**X**

<b>(Fm) - Frequency factor</b>							
Frequency	0,20	1,00	4,00	6,00	9,00	12,00	>15
Uninterrupted for 1h	1,00	0,94	0,84	0,75	0,52	0,37	0,00
Uninterrupted for 1h-2h	0,95	0,88	0,72	0,50	0,30	0,21	0,00
Uninterrupted for 2h-8h	0,85	0,75	0,45	0,27	0,15	0,00	0,00

**X**

<b>(Vm) - Lift height factor</b>								
Height (cm)	0	25	50	75	100	125	150	>175
Factor	0,78	0,85	0,93	1,00	0,93	0,85	0,78	0,00

**X**

<b>(Dm) - Vertical dislocation factor</b>								
Dislocation (cm)	25	30	40	50	70	100	170	>175
Factor	1,00	0,97	0,93	0,91	0,88	0,87	0,85	0,00

**X**

<b>(Cm) - Grip evaluation</b>		
Evaluation	Positive	Insufficient
Factor	1,00	0,9






Real weight lifted (Kg)

Recommended weight limit (Kg)

**Exposure index**



<0.75 low residual risk activity

= 1 presence of weak risk to keep under control

> 1 risk requiring intervention

### 7.2.3. Vantaggi e differenze

Utilizzando il NIOSH piuttosto che il PLI all'interno della valutazione di sostenibilità sono molteplici le differenze e i vantaggi che è possibile trarre:

- 1) L'applicazione del NIOSH viene effettuata da un occhio esperto, che tramite la sua esperienza e misure accurate può garantire un'analisi della rischiosità oggettiva e altamente affidabile.
- 2) L'analisi approfondita viene effettuata su tutte le operazioni in cui il modello è applicabile e non soltanto dove c'è una parvenza di rischiosità registrata in modo soggettivo tramite il PLI.
- 3) Il risultato che si ottiene è un valore di alto livello, riconosciuto dalla maggior parte degli organismi preposti al controllo sulla sicurezza sul lavoro. Con questo l'azienda oltre che adempire ai protocolli prestabiliti in materia di prevenzione trasmette ai propri dipendenti ma anche agli esterni l'interesse riposto sul tema, giovandone in termini d'immagine.
- 4) Il risultato ottenuto tramite l'applicazione del NIOSH può aiutare in pochissimo tempo distribuire la forza lavoro per le varie mansioni nel modo corretto. Infatti, il risultato derivante dall'applicazione del modello fornisce un valore grazie al quale è possibile verificare se un dato compito magari non è indicato per una donna e un ragazzo ma possibile per un uomo senza recare nessun danno.
- 5) Facilità di applicazione di interventi correttivi per il miglioramento dell'indicatore e quindi delle condizioni di lavoro.

I limiti dell'applicazione del NIOSH risiedono nelle condizioni in cui il modello è applicabile, che ricordiamo:

- Sollevamento di carichi svolto in posizione in piedi (non seduta o inginocchiata) in spazi non ristretti.
- Carichi pesanti più di 3 kg.
- Sollevamento di carichi eseguito con due mani.
- Altre attività di movimentazione manuale (trasporto, spingere a tirare) minimali.
- Adeguata frizione tra piedi (suola) e pavimento (coeff. di frizione statica > 0,4).
- Gestii di sollevamento eseguiti in modo non brusco.
- Carico non estremamente freddo, caldo, non sporco o con il contenuto instabile.

- Condizioni microclimatiche non sfavorevoli.

Inoltre, è bene specificare che il PLI, vuole fornire un'analisi della postura mantenuta dall'operatore, mentre il NIOSH offre un'analisi più dettagliata, ma vincolata alle condizioni di applicazione sopra elencati. Nel caso di spostamenti di materiali più leggeri di 3kg, ad esempio, non sarebbe più applicabile.

Proprio per questo, nell'eventualità di una impossibilità di applicazione del NIOSH è necessario segnare questa informazione all'interno del data box del processo di riferimento e successivamente utilizzare un modello come l'OCRA (*OCcupational Repetitive Action*), metodo di valutazione del rischio da sovraccarico biomeccanico determinato dallo svolgimento di movimenti ripetuti degli arti superiori. Per via della sua versatilità e del dettaglio che permette di raggiungere, viene considerato tra i primi metodi di valutazione dettagliata del rischio dalla norma UNI ISO 11228-3.

Esso può essere utilizzato anche nel caso di attività costituite da più di un compito ripetitivo. La sua applicazione tuttavia è abbastanza complessa e richiede una notevole esperienza nella determinazione degli elementi di base per il calcolo dell'indice di rischio (frequenza delle azioni, forza applicata, aspetti posturali, entità dei periodi di recupero, fattori complementari, ecc.) nonché una attenta osservazione delle varie fasi dell'attività lavorativa, anche con l'ausilio di riprese video, utili nella fase di determinazione dei valori da assegnare ai vari parametri. Essa deve essere preceduta da un'accurata analisi della distribuzione dei tempi di lavoro.

Se correttamente applicato, anche secondo le indicazioni fornite dal ISO/TR 12295, il metodo risulta comunque estremamente preciso. Consente una previsione dell'incidenza di patologie da sovraccarico biomeccanico e permette una riprogettazione mirata dell'attività secondo criteri ergonomici.

L'applicazione del metodo si basa sull'individuazione delle singole fasi della lavorazione.

Si distinguono:

- azioni tecniche: non sono i singoli movimenti di una determinata articolazione
- bensì l'insieme dei movimenti dei diversi distretti articolari che portano al
- compimento di un'operazione elementare;
- cicli: gruppi di una o più azioni che si ripetono nel tempo uguali a loro stessi;
- compiti ripetitivi: compiti caratterizzati dalla presenza di cicli;
- attività lavorativa: attività costituita da uno o più compiti, ripetitivi o non ripetitivi.

L'identificazione di cicli e, nel loro ambito, delle singole azioni, è alla base dell'applicazione del protocollo OCRA.

Il protocollo consente di ricavare un indice sintetico di rischio che è funzione del rapporto tra il numero di azioni tecniche compiute nel turno di lavoro e il numero massimo di azioni raccomandate, calcolato in base all'entità dei diversi fattori di rischio.

Il calcolo del numero massimo di azioni raccomandate viene effettuato per mezzo di alcuni parametri che tengono conto delle peculiarità dei compiti svolti e dell'entità dei fattori di rischio: nel calcolo compaiono quindi grandezze che tengono conto della forza applicata, della postura dei diversi distretti articolari delle braccia, della ripetitività, dell'inadeguatezza dei periodi di recupero, della durata dei compiti ripetitivi e del turno di lavoro nonché di alcuni fattori, detti complementari, che caratterizzano l'attività.

In base a quanto sopra esposto, l'indice di rischio è espresso dal rapporto:

$$IR = \frac{nATA}{nRTA}$$

dove:

nATA è il numero di azioni tecniche compiute e nRTA è il numero di azioni tecniche raccomandate, a sua volta uguale a:

$$nRTA = \sum_{j=1}^n [k_f (F_{Mj} \cdot P_{Mj} \cdot R_{eMj} \cdot A_{Mj}) \cdot t_j] \cdot (R_{eM} \cdot t_M)$$

I parametri che compaiono nell'equazione di calcolo del numero di azioni raccomandate sono funzione dei diversi fattori di rischio e delle caratteristiche dell'attività lavorativa e possono essere ricavati secondo le indicazioni fornite dalla norma UNI ISO 11228-3.

Il fattore  $k_f$  (costante di frequenza) corrisponde al numero massimo di azioni tecniche eseguibili in condizioni ideali (quando tutti gli altri fattori assumono valore unitario) ed è pari a 30 azioni/minuto.

Il fattore forza FM è un numero adimensionale variabile tra 0 e 10 che descrive lo sforzo muscolare applicato, derivato da indagini elettromiografiche di superficie o, in modo soggettivo, da una apposita scala (CR10-Borg).

Il fattore compiti ripetitivi ReM è indicativo della ripetitività dei compiti che costituiscono l'attività lavorativa.

Il fattore postura PM è un parametro che, per ciascun compito ripetitivo individuato, tiene conto della postura dei distretti articolari degli arti superiori (spalla, gomito, polso e mano) e della durata del suo mantenimento. Il fattore elementi complementari AM è una grandezza che rende conto della presenza di eventuali fattori complementari di rischio nell'ambito dei compiti ripetitivi.

Il fattore durata t rappresenta la durata effettiva dei compiti ripetitivi.

Il fattore tempi di recupero RcM tiene conto della distribuzione e dell'entità dei periodi di recupero. Il fattore durata tM è indicativo della durata complessiva del turno lavorativo.

L'indice OCRA deve essere calcolato per ciascun arto. Il valore ottenuto esprime l'entità del rischio legato all'esecuzione di movimenti ripetitivi. In funzione di tale valore è possibile quantificare il rischio per mezzo della tabella 1, nella quale vengono distinte le diverse fasce di rischio.

Il calcolo dell'indice non è finalizzato a discriminare attività rischiose da altre non rischiose, ma costituisce il punto di partenza per l'attuazione delle corrette misure preventive, secondo un ordine di priorità determinato dall'entità dei singoli fattori che concorrono a determinare le condizioni di rischio. L'analisi dei fattori utilizzati nel calcolo dell'indice permette infatti di stabilire priorità di intervento in funzione del valore da essi assunti. Come da descrizione il modello dell'OCRA seppur molto preciso e attendibile, rappresenterebbe una soluzione molto onerosa, in termini di tempo e di personale da utilizzare, ma essenziale perché applicabile a quasi tutte le tipologie possibili di movimentazioni manuali [www.inail.it].

<b>OCRA Index</b>	<b>Rischio</b>	<b>Azioni correttive</b>
<b>&lt;= 2,2</b>	Rischio accettabile	Nessuna. La valutazione dei rischi dovrebbe comunque essere ripetuta periodicamente
<b>2,3 - 3,5</b>	Rischio incerto/molto lieve	Ripetere la valutazione del rischio; ridurre il rischio laddove possibile.
<b>3,5 - 4,5</b>	Rischio lieve	Riduzione del rischio secondo le priorità; sorveglianza sanitaria con visita a periodicità stabilita dal Medico Competente; interventi di informazione/formazione.
<b>4,5 - 9</b>	Rischio medio	Riduzione del rischio a breve scadenza secondo le priorità emerse dal metodo; sorveglianza sanitaria con visita a periodicità annuale o superiore secondo decisione del Medico Competente; interventi di informazione/formazione.
<b>&gt; 9</b>	Rischio elevato	Riduzione immediata del rischio; sorveglianza sanitaria con visita a periodicità annuale o inferiore secondo giudizio del Medico Competente; interventi di informazione/formazione

Tabella 14: check list proposta per semplificare l'applicazione dell'OCRA.

## Conclusioni

In un mondo in cui le emissioni di CO<sub>2</sub> sono aumentate dal 1990 a oggi da 21,4 miliardi di tonnellate a 36 miliardi di tonnellate, in cui siamo già al primo grado di aumento della temperatura media globale, quindi vicini alla soglia degli 1,5 gradi centigradi, in cui nonostante il 54% di tutta l'acqua dolce accessibile sia utilizzata dagli esseri umani, oltre 1 miliardo di persone non ha accesso all'acqua potabile, e 2,5 miliardi (di cui 1 miliardo sono bambini) non dispongono di adeguati servizi igienico-sanitari e, in cui si prevede che nel 2025 la produzione di rifiuti salirà a 2.2 miliardi di tonnellate annue [dati OMS], nell'elaborazione della mia tesi, a partire da queste consapevolezza, ho provato a riportare le conoscenze sviluppate fino ad oggi in ambito industriale, presenti in letteratura, per ridurre l'impatto ambientale dei processi produttivi, che concorrono, generalmente, ad aggravare il quadro appena riportato.

Ho cercato nel confronto iniziale tra *Lean manufacturing* e la *Green Manufacturing* di evidenziare come negli ultimi anni la questione ambientale sia stata il centro dell'attenzione di molti studi, in particolare poiché una produzione sostenibile, attenta agli sprechi e agli utilizzi, può giovare fortemente anche ai fini competitivi.

In molti *papers* degli ultimi 10 anni gli esperti del settore iniziano così a capire che le due filosofie nate alla fine del 900', non dovevano essere viste come entità isolate, ma che dalla loro sinergia si sarebbero potuti raggiungere ottimi risultati, che l'applicazione singola, anche in successione, non avrebbe permesso.

Così, ho iniziato a ricercare gli studi, presenti in bibliografia, che andassero in questa direzione e che mostrassero gli strumenti in grado di garantire alle aziende il raggiungimento di produzioni più sostenibili, in termini di impatto ambientale e in termini economici.

Proprio a partire da qui, la mia analisi si è focalizzata sull'indagine dello stato dell'arte di uno strumento nato agli inizi degli anni 2000'dalla sinergia della *Lean* e della *Green manufacturing*: la *Sustainable Value Stream Mapping*, che rappresenta l'evoluzione del celeberrimo strumento *Lean*, la *Value Stream Mapping*, creata da M.Rother e J.Shook.

La mia ricerca mostra in modo chiaro come nel corso di questi ultimi 15 anni, molti studiosi, abbiano tentato per vie differenti, di creare una *Sustainable Value Stream Mapping* il più completa possibile. È bene precisare che l'utilizzo del termine *Sustainable Value Stream Mapping*, rappresenta una personale unificazione sotto un unico nome di un set di modelli che in realtà possiedono nomi che differiscono a seconda della tipologia di applicazione.

Ho cercato nel mio studio di riportare i caratteri e l'approccio identificativo di ognuno di questi modelli, mostrando anche dal punto di vista grafico le raffigurazioni proposte, uniche e rappresentative di ogni studio.

È interessante, osservare come dai primi modelli analizzati si evince come l'evoluzione di questo strumento non abbia seguito una linea unica, ma fosse caratterizzata da un utilizzo ad hoc, in differenti contesti industriali, della classica VSM, integrata di indicatori di carattere ambientale utili per lo scopo applicativo, è, infatti, significativo che ogni modello analizzato necessitasse di un'attuazione reale per verificare la sua validità.

Come osservabile nella tabella 12 realizzata a pagina 83, tutti i primi modelli in ordine cronologico, annoverano soltanto, all'interno della *Value Stream Mapping*, parametri di tipo ambientale, per cercare di ridurre i consumi legati all'acqua, all'emissioni di CO<sub>2</sub>, di gas serra, di energia elettrica e altri ancora, che ho sintetizzato nella tabella 13 di pagina 84.

Dalle tabelle è facilmente riscontrabile come il termine "Sostenibilità" fosse, almeno inizialmente, confinato a temi di carattere ambientale.

La svolta si ebbe nel 2014 quando, con l'avvento della *Sustainable Value Stream Mapping* (Sus-VSM) presentata da William Faulkner e Fazleena Badurdeen, con il termine sostenibile si iniziò a comprendere anche la sfera sociale, ovvero quegli aspetti legati alle persone, come l'ergonomia delle operazioni svolte e la sicurezza sul lavoro, dato il crescente numero di incidenti, anche mortali, che si registrano all'interno degli stabilimenti produttivi.

Questo divenne il riferimento per gli studi più recenti, i quali tentarono in modi diversi di integrarla con indicatori differenti legati prettamente alla sfera della sostenibilità economica o con anche strumenti di tipo simulativo, in grado di verificare un numero più alto di variabili e di fornire analisi dinamiche e non più statiche.

Un altro aspetto significativo riscontrato, soprattutto negli ultimi studi, è la necessità sempre più diffusa, da parte degli specialisti, di sviluppare un modello che consideri una sostenibilità completa, sistematico e universale, con il quale studiare qualsiasi contesto e tipologia di processo produttivo.

Il tema, mi sono reso conto, è molto arduo poiché, a causa dell'immensa pluralità di produzioni esistenti, gli sprechi e i consumi si concentreranno in modo diverso a seconda del settore in cui l'azienda opera, ed è per questo motivo che i primi modelli erano sviluppi dovuti a situazioni puntuali, ora l'obiettivo è quello di generalizzare.

La generalizzazione, tentata negli ultimi studi tramite approcci sistematici come il PDCA (*Plan-Do-Check-Act*) proposto da Deming nel 2000, è anche l'unica via per fare sì che questo strumento possa diventare sempre più utilizzato da un numero maggiore di imprese, con tutti i

benefici che questo può portare e inoltre potrebbe sensibilizzare sempre più persone ad implementare sistemi con queste caratteristiche.

La crescente complessità dei mercati moderni non aiuta sicuramente gli addetti ai lavori nello sviluppare dei tool applicabili universalmente.

Infatti, ho analizzato anche un'estensione dell'analisi di sostenibilità, tramite la Sus-VSM adattata, dell'intera *supply chain* di un'azienda.

Credo che questo tentativo spiani la strada a un nuovo modo di concepire l'ottimizzazione sostenibile, poiché oggi la competitività non ha più il suo fuoco nella singola azienda ma si è spostata a livello di catena di approvvigionamento, aumentando il numero di attori e fattori in gioco che possono incidere sulla creazione del valore per il cliente. Mappare la sostenibilità di un'intera *supply chain* sarà sempre più necessario, poiché oltre alla produzione, il trasporto dei vari semi lavorati, tra aziende della stessa filiera situate anche da una parte all'altra del mondo, con il problema che il combustibile fossile è ancora predominante rispetto all'elettrico, diverrà la grande sfida del futuro, se si vuole limitare i danni che l'uomo ha già causato.

Infine, nella mia tesi, ho considerato un possibile miglioramento della valutazione ergonomica della Sus-VSM. In questa proposta c'è l'applicazione di metodologie valutative del rischio da sovraccarico apprese durante il mio percorso universitario, che credo possano aiutare ad avere risultati migliori in termini ergonomici. Riuscire a ridurre l'assenteismo a causa di problemi fisici, generati da uno scorretto movimento del corpo durante le ore di lavoro, è determinante per la sostenibilità economica delle aziende, che possono così giovare di una maggiore efficienza produttiva, per evitare di utilizzare troppo tempo nella formazione di sostituti.

Al termine della mia analisi, posso dire che la raccolta appena presentata possa diventare in futuro una buona base di partenza per sviluppare modelli migliori, in grado di toccare e comprendere aspetti non considerati fino ad oggi, soprattutto in Italia, dove di questo strumento, probabilmente, non se ne conosce nemmeno l'esistenza.

Credo che uno strumento come la *Sustainable Value Stream Mapping*, ma non solo, dovrà diventare di uso quotidiano e sempre più diffuso all'interno delle aziende di tutto il mondo, poiché è responsabilità di tutti riuscire a ridurre l'impatto ambientale e sociale che le produzioni causano.

La produzione industriale non è l'unico fattore che incide sull'ambiente, ma penso che sia responsabilità di noi ingegneri del futuro, implementare azioni capaci sia di ottimizzare processi e tagliare costi, ma che siano in grado di rispettare l'ambiente, perché andare avanti

di questo passo, alle generazioni future verrà consegnato un mondo distrutto dal nostro pressapochismo e menefreghismo, dal momento che è stato lanciato, già da tempo, più di un avvertimento sullo sfruttamento, eccessivo, del nostro pianeta.

## **Acronimi**

AHP - Analytical Hierarchy Process  
CLPSS - Circular Lean Product-Service Systems  
CONWIP - CONstant Work In Process  
CSM - Current State Map  
DEFRA - Department for Environment, Food and Rural Affairs  
DES - Discrete Event Simulation  
DfE - Design for Environment  
EE-VSM - Energy and Environment Value Stream Mapping  
EHS - Environmental, Health and Safety  
EPED - Every Part Every Day  
EPI - Environmental Performance Indicators  
EVSM - Environmental Value Stream Mapping  
E-VSM - Environmental Value Stream Mapping  
FIFO - First In First Out  
FSM - Future State Map  
GHG - GreenHouse Gas  
GM - Green Manufacturing  
GSCM - Green Supply Chain Management  
GVSM - Green Value Stream Mapping  
HR - Human Resources  
KPI - Key Performance Indicator  
LCA - Life Cycle Assessment  
LCI - Life Cycle Inventory  
LCIA - Life Cycle impact Assessment  
nATA - Numero di azioni tecniche compiute  
NIOSH - National Institute for Occupational Safety and Health  
NIT - Not-in-Transit  
NIST - National Institute of Standards and Technology  
nRTA - Numero di azioni tecniche raccomandate  
NVA - Non Value Added  
OCRA - OCcupational Repetitive Action

JIT - Just In Time  
PDCA - Plan-Do-Check-Act  
PET – Polietilentereftalato  
RNLE - Revised NIOSH Lifting Equation  
RWL – Recommended Weight lift  
SMM - Sustainable Manufacturing Mapping  
STVSM - Sustainable Trasportation Value Stream Mapping  
Sus-VSM - Sustainable Manufacturing Mapping  
SVSM - Sustainable Value Stream Mapping  
TOVE - Trasportation Overall Vehicle Effectiveness  
TPS - Toyota Production System  
TT - Takt Time  
TVSM - Trasportation Value Stream Mapping  
UNCED - United Nations Conference on Environment and Development  
US EPA - United States Environmental Protection Agency  
VA - Value Added  
VSM - Value Stream Mapping  
WBCSD - World Business Council for Sustainable Development  
WIP - Work In Progress

## Sitografia

[www.sole24.com](http://www.sole24.com)

[www.makeitlean.it](http://www.makeitlean.it)

[www.produzioneagile.it](http://www.produzioneagile.it)

[www.leanmanufacturing.it/strumenti/valuestreammapping.html](http://www.leanmanufacturing.it/strumenti/valuestreammapping.html)

[www.isprambiente.gov.it](http://www.isprambiente.gov.it)

[www.en.wikipedia.org](http://www.en.wikipedia.org)

[www.inail.it](http://www.inail.it)

[www.engineeringvillage.com](http://www.engineeringvillage.com)

[www.wiley.com](http://www.wiley.com)

[www.ieeexplore.ieee.org](http://www.ieeexplore.ieee.org)

[www.cib.unibo.it](http://www.cib.unibo.it)

[www.emeraldinsight.com](http://www.emeraldinsight.com)

[www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

[www.scholar.google.it](http://www.scholar.google.it)

## Bibliografia

- Barberato Henrique, D., Freitas Rentes, A., Godinho Filho, M., Francisco Esposposto, K., 2016. “A new value stream mapping approach for healthcare environments”. *Prod. Plann. Contr.* 27 (1), 24e48.
- Brown A, Amundson J, Badurdeen F (2014) “Sustainable value stream mapping (Sus-VSM) in different manufacturing system configurations: application case studies”. *J Clean Prod* 85:164–179.
- Bylinsky, G. (1995) “Manufacturing for reuse”, *FORTUNE 500 Current Issue*, February, Vol. 131, No. 2, pp.102–112.
- Dadashzadeh MD, Wharton TJ (2012), “A value stream approach for greening the IT department”. *Int J Manag Info Syst* 16(2):125–136.
- Dekker, R., Bloemhof, J., Mallidis, I., 2012, “Operations Research for green logistics – An overview of aspects, issues, contributions and challenges. *European Journal of Operational Research*”. 219 (3), 671-679.
- Deming, W.E., 2000. *Out of the Crisis*. MIT Press, Massachusetts, NE.
- Demir, E., Bektas, T., Laporte, G., 2014. “A review of recent research on green road freight transportation”. *European Journal of Operational Research*. 237 (3), 775-793.
- Dües, C.M., Tan, K.M., Lim, M. (2013). “Green as the new Lean: how to use Lean practices as a catalyst to greening your supply chain. *Journal of Cleaner Production*”, 40: 93-100.
- Edtmayr T., Sunk A., Sihn W., “An approach to integrate Parameters and Indicators of Sustainability Management into Value Stream Mapping”, 2016.
- Faulkner W, Badurdeen F (2014), “Sustainable value stream mapping (Sus-VSM): methodology to visualize and assess manufacturing sustainability performance”. *J Clean Prod* 85:8–18
- Fearne A, Norton A (2009) “Sustainable value stream mapping in the food industry”. Woodhead Publishing, Cambridge
- Fischer, D.M., Jones, J. and Sankar, “Promotion of Environmentally Conscious Manufacturing Techniques”, 1997.
- Garza-Reyes, J. A., Villarreal, B. and Kumar, V. (2016) “Lean and green in the transport and logistics sector A case study of simultaneous deployment”. *Production Planning & Control*, 27 (15). pp. 1221- 1232. ISSN 0953-7287.

Garza-Reyes, J.T. Romero, K. Govindan, A. Cherrafi, U. Ramanathan, “*A PDCA-based approach to Environmental Value Stream Mapping (E-VSM)*” 2018.

Giovanni Graziadei, “*Lean Manufacturing. Come analizzare il flusso del valore per individuare ed eliminare gli sprechi*”, 2005.

Gutowski, T. (2002) “*Environmentally benign manufacturing and ecomaterials; product induced mater flows*”, *Materials Transactions*, Vol. 43, No. 3, pp.282–284.

Hau Lee, Corey Billington, “*Managing supply Chain inventory: pitfalls and opportunities*”, *SMR*, 1992.

Hollman, S., Klimmer, F., Schmidt, K., Kylian, H., 1999. “*Validation of a questionnaire of assessing physical work load*”. *Scand. J. Work Environ. Health* 25 (2), 105e114.

Kathy Ray, “*U.S. Department of Transportation (DOT) Freedom of Information Act (FOIA) 2011 Annual Report*”, U.S. Department of Transportation Office of General Counsel (Suite W94-122) 1200 New Jersey Avenue, SE Washington, DC 20590 (202) 366-5546, 2011.

Kuriger GW, Chen FF (2010), “*Lean and green: a current state view*”. In: *IIE Annual Conference. Proceedings. Institute of Industrial Engineers-Publisher*, p 1

Kuriger G, Huang Y, Chen F (2011), “*A lean sustainable production assessment tool*”. In: *Proceedings of the 44th CIRP conference on manufacturing systems, Madison, Wisconsin, 31 May–3 June 2011*

Lindgren, R., Henfridsson, O. Schultze, U. Design, “*Principles for Competence Management Systems: a Synthesis of an Action Research Study*”, 2004.

M.Bortolini, E.Ferrari, F.G. Galizia, C.Mora, “*A reference Framework Integrating Lean and Green Principles within Supply Chain Management*”, 2016.

M. Braglia, G. Carmignani & F. Zammori, “*A new value stream mapping approach for complex production systems*”, 2011.

Molina, P., Nuñez, K., Cantu, L., Villarreal, B. 2014. “*Lean routing and Green in UPS. Proceedings of the 2014 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Bali, Indonesia*”, January 7 – 9.

M.Rother, J.Shook, “*Learning to See – Value stream mapping to add value and eliminate muda*,” 1998.

Ohno Taiichi, “*Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*”, Productivity Press, 1988.

James P. Womack e Daniel T. Jones “*Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*”, 1996.

James P. Womack, Daniel T. Jones, and Daniel Roos. *“The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production”*, 1991.

Jonathan Katz, *“Green Manufacturing: An Inconvenient Reality, Industry”* Week, 3 pages, 2007.

Lu, T., Rotella, G., Feng, S.C., Badurdeen, F., Dillon Jr., O.W., Jawahir, I.S., 2011a. *“Metrics-based sustainability assessment of a drilling process. In: Proceedings of the Global Conference on Sustainable Manufacturing”*, September 28th e 30th, 2011. St. Petersburg, Russia.

Mendler, S., Odell, W. and Lazarus, M.A. (2005), *“The HOK Guidebook to Sustainable Design”*, John Wiley & Sons, New York, NY, 412pp.

Minhaj A.A. Rehman, R.L. Shrivastava, *“Green manufacturing (GM): past, present and future”*, 2013.

Paju M, Heilala J, Hentula M, Heikkila A, Johansson B, Leong S, Lyons K (2010) *“Framework and indicators for a sustainable manufacturing mapping methodology”*. In: Proceedings of the 2010 winter simulation conference (WSC), Phoenix, Arizona, USA. IEEE, pp 3411–3422.

Paolo Jedlowski, William Outhwaite, *“Dizionario delle scienze sociali, Milano, Il Saggiatore”*, 1997.

Peter L.King, *“Lean for the Process Industries: Dealing with Complexity”*, 2009.

Porter, M. (1980), *“Competitive Strategy”*, Free Press, New York, 1980.

Saboo, A., Garza-Reyes, J.A., Er, A., Kumar, V., 2014. A VSM improvement-based approach for lean operations in an Indian manufacturing SME. *Int. J. Lean Enterp. Res.* 1 (1), 41e58.

Simons D, Mason R (2002) *“Environmental and transport supply chain evaluation with sustainable value stream mapping”*. In: Proceedings of the 7th logistics research network conference, Birmingham.

Sparks T.D 2014 *“Combining Sustainable Value Stream Mapping and simulation to assess manufacturing supply chain network performance.”*

Stalk, G. & Hout, T. M., 1990. *“Competing Against Time: How Time-Based Competition Is Reshaping Global Markets.”* s.l.:Free Press.

Testo unico sulla sicurezza sul lavoro.

Torres AS, Gati AM (2009) *“Environmental value stream mapping (EVSM) as sustainability management tool”*. In: PICMET’09 2009 Portland international conference on management of engineering and technology, Oregon, USA

United Nations,” *Report of the World Commission on Environment and Development*”, 1987.

US EPA, “*The lean and environment toolkit*”. United States Environmental Protection Agency, 2007a.

US EPA, “*The lean and energy toolkit: achieving process excellence using less energy*”. United States Environmental Protection Agency, 2007b.

Vinodh, R. Ben Ruben, P. Asokan, 2015, “*Life cycle assessment integrated value stream mapping framework to ensure sustainable manufacturing: a case study*”. *Clean Techn Environ Policy* (2016) 18:279–295 DOI 10.1007/s10098-015-1016-8.

Wills, B. (2009). “*Green Intentions*”. Taylor & Francis Group Ltd., Productivity Press. New York: NY.

World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), “*Eco-efficiency, learning module*”, 2006.

Yan, H., Liu F., Cao, H. and Zhang, H. (2007) “*Process planning support system for green manufacturing and its application*”, *Front. Mech. Eng. China*, Vol. 2, No. 1, pp.104–109

## Ringraziamenti

Al termine della stesura della mia tesi di laurea, che completa un ciclo di 5 anni di studi, intenso, duro ma ricco di soddisfazioni, credo sia doveroso ringraziare le persone che hanno contribuito, in modo significativo al raggiungimento di questo risultato.

Vorrei ringraziare la professoressa Mora per avermi dato la possibilità e per avermi aiutato ad approfondire un tema come quello della “Sostenibilità” che mi sta molto a cuore e molto centrale nella società moderna. Ringrazio tutti i professori incontrati nei 5 anni, con le loro personalità, i loro metodi e le loro prove, ognuno mi ha lasciato qualcosa.

Ringrazio i miei genitori, Chiara e Giacomo, per avermi supportato e per avermi permesso di studiare, dalle scuole elementari fino ad oggi. Ringrazio i miei fratelli, Giovanni e Federica, per la loro preziosa presenza e per i bei momenti di svago vissuti insieme. Ringrazio i miei nonni, Adolfo e Anna Maria, per i loro saggi consigli.

Ringrazio la mia ragazza Maria Giulia, instancabile compagna di studi e di grandi esperienze di vita.

Ringrazio tutta la mia famiglia, zii, zie e cugini perché sono loro che hanno determinato chi sono.

Infine, ringrazio tutti i miei amici, perché senza di loro non ce l'avrei mai fatta.