

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

Tesi di Laurea

*Sustainable Value Stream Mapping (Sus-VSM): una metodologia Lean per
valutare la sostenibilità dei processi produttivi*

Relatore

Ch.mo Prof. Roberto Panizzolo

Laureando

Matteo Casetta

Anno Accademico 2018-2019

Sic Parvis Magna
Sir Francis Drake

Sommario

La sostenibilità in ambito produttivo sta continuamente assumendo più importanza a causa della sempre più crescente scarsità delle risorse naturali, delle regolamentazioni via via più restrittive e, infine, per l'aumento della domanda di prodotti più sostenibili da parte dei clienti. Il punto di partenza per lo sviluppo di migliori strategie per una produzione sostenibile è sicuramente un'analisi dello stato corrente per capire quali attività possano essere migliorate, in modo da soddisfare i requisiti di sostenibilità. Le pratiche del Lean Manufacturing sono sempre più utilizzate come catalizzatore per lo sviluppo di migliori strategie volte ad una produzione sostenibile. A questo proposito particolare attenzione è stata data alla metodologia Value Stream Mapping (VSM), già largamente utilizzata per la valutazione delle performance operative, per poter identificare l'impatto dei processi produttivi sulla sostenibilità ambientale, economica e sociale, secondo il modello Triple Bottom Line (TBL): la metodologia così estesa prende il nome di Sustainable Value Stream Mapping (Sus-VSM). Lo scopo di questo lavoro di tesi è presentare lo stato dell'arte di questo strumento, andando a presentare vari studi sull'argomento e, per ognuno di essi, identificandone caratteristiche e limiti. Nella parte conclusiva dell'elaborato verrà presentata una metodologia basata sulle metriche, tratta da uno studio del 2018, per la valutazione della sostenibilità dei processi produttivi, con l'obiettivo di adattarla alla Sus-VSM.

Indice

Introduzione	1
1 Lo Sviluppo Sostenibile.....	5
1.1 Origini e Definizione	5
1.2 Le Tre Dimensioni dello Sviluppo Sostenibile	7
1.2.1 La Sostenibilità Ambientale	8
1.2.2 La Sostenibilità Economica.....	9
1.2.3 La Sostenibilità Sociale.....	10
1.3 Sostenibilità Forte e Debole	10
1.4 Rivisitazione del Rapporto Brundtland.....	11
1.4.1 Indicatori e Valori di Soglia.....	12
2 Lean, Green e Produzione Sostenibile.....	15
2.1 Il Lean Thinking	15
2.1.1 La Produzione di Massa e l'Origine del Lean Manufacturing	15
2.1.2 I Principi del Lean Thinking e i MUDA.....	18
2.1.3 Gli Strumenti del Lean Thinking	22
2.2 Green Manufacturing.....	25
2.2.1 Origini e Definizione	25
2.2.2 Gli Elementi del Green Manufacturing	29
2.2.3 Modello di Implementazione per il Green Manufacturing.....	31
2.2.4 Legame tra Lean Manufacturing e Green Manufacturing.....	33
2.3 La Produzione Sostenibile.....	37
3 La Value Stream Map Tradizionale	41
3.1 Le Caratteristiche di una Value Stream Map.....	41
3.2 La Current-State Map	45
3.3 La Future-State Map	51
3.4 La Realizzazione del Future-State.....	59

4 Sustainable Value Stream Mapping	65
4.1 Revisione della Letteratura.....	65
4.1.1 Valutazione di uno Scenario Ipotetico con la Sustainable Value Stream Map (SVSM).....	66
4.1.2 US EPA Toolkit	68
4.1.3 Environmental Value Stream Mapping (E-VSM).....	71
4.1.4 Sustainable Value Chain Map (SVCMap)	74
4.1.5 Sustainable Manufacturing Mapping (SMM)	77
4.1.6 Energy & Environmental Value Stream Mapping (EE-VSM).....	79
4.1.7 Green Value Stream Mapping (GVSM)	80
4.2 La Sustainable Value Stream Map (Sus-VSM).....	82
4.2.1 Metriche per Valutare la Sostenibilità in Produzione	83
4.2.2 Le Metriche Ambientali.....	86
4.2.3 Le Metriche Sociali.....	89
5 Studi Post Sus-VSM.....	97
5.1 La Supply Chain Sustainable Value Stream Mapping (SC Sus-VSM).....	97
5.2 Integrazione di Parametri e Indicatori di Sostenibilità all'Interno della VSM	103
5.2.1 Tasso di Scarto Cumulato	103
5.2.2 Calcolo dello Spreco nei Singoli Processi.....	104
5.2.3 Cicli di Riutilizzo Ideali-Tipici.....	105
5.3 Framework per l'Integrazione di LCA e VSM	108
5.4 Sustainable Transport Value Stream Map (STVSM).....	112
5.5 Un Approccio PDCA per l'Environmental Value Stream Mapping (E-VSM)	116
5.6 Sustainable Value Stream Mapping e Industria 4.0	119
5.7 Sustainable Value Stream Mapping Applicata all'Industria del Mobile ...	122
5.8 Ergonomic Value Stream Mapping (Ergo-VSM)	125
5.9 Life-Cycle Value Stream Mapping (LC-VSM)	127

5.10 Social Value Stream Mapping (Socio-VSM).....	130
Conclusioni.....	133
Bibliografia	147
Sitografia.....	151

Introduzione

La sostenibilità nell'ambito della produzione sta acquisendo sempre più importanza a causa dei problemi relativi all'eccessivo utilizzo delle risorse non rinnovabili, l'introduzione di normative restrittive riguardo all'ambiente, la società, la sicurezza e la salute, e, infine, una maggior attenzione da parte dei consumatori a questo tema, che ha contribuito all'aumento della domanda di prodotti sostenibili.

La produzione sostenibile, quindi, si prefigge di soddisfare i requisiti di sostenibilità. Il focus, tuttavia, non è incentrato solo sul prodotto, ma anche sui processi produttivi necessari a realizzarlo. Si può affermare, quindi, che per raggiungere gli obiettivi di sostenibilità in produzione è necessario adottare una visione olistica che abbracci non solo il prodotto ed i processi produttivi richiesti per la sua fabbricazione, ma anche il sistema, comprendente le linee produttive, l'impianto produttivo, l'azienda, fino ad includere l'intera supply chain; è inoltre necessario dare enfasi all'intero ciclo di vita del prodotto, costituito dalle quattro fasi di pre-produzione, produzione, utilizzo e post-utilizzo, e considerare tutte e tre le dimensioni relative alla sostenibilità (ambientale, economica e sociale), secondo il modello triple bottom line.

Una metodologia che sposta l'attenzione verso tutte le fasi del ciclo di vita del prodotto è quella delle 6R, ovvero ridurre, riutilizzare, riciclare, recuperare, riprogettare e rilavorare. Questo approccio altro non è che un'estensione della metodologia 3R (ridurre, riutilizzare, riciclare), alla base dei principi del Green Manufacturing, e rispecchia i principi dell'economia circolare, ovvero un sistema economico che si basa sul recupero dei prodotti alla fine del loro ciclo di vita per poter attivare nuovi cicli di vita e garantire, in questo modo, un flusso quasi perpetuo dei materiali.

Un buon punto di partenza per lo sviluppo di migliori strategie per la produzione sostenibile è l'analisi delle best practice adottate all'interno dell'azienda, in modo tale da capire come adattarle per soddisfare i requisiti di sostenibilità. Molti studi riportano come l'utilizzo delle pratiche relative al Lean Management possa essere utilizzato come catalizzatore per uno sviluppo di strategie "green", benevole per l'ambiente. In particolare, negli ultimi anni, si è indagato sulla possibilità di utilizzare

la Value Stream Mapping (VSM), uno dei principali strumenti del Lean Manufacturing, per valutare la sostenibilità dei processi produttivi in ottica triple bottom line. Nella VSM tradizionale, infatti, vengono esaminate solamente le performance operative dei processi produttivi, mentre le informazioni riguardo all'impatto che questi ultimi hanno sulla sostenibilità ambientale (in termini di impatto ambientale, gestione degli sprechi e consumo di energia), economica (in termini di costi), e sociale (in termini di salute e sicurezza), non vengono registrate al suo interno: diversi autori, quindi, hanno proposto un'estensione di questa metodologia, attraverso l'utilizzo di indicatori relativi alle tre dimensioni della sostenibilità, per colmare questa lacuna.

Riferendoci a questa estensione della VSM tradizionale con il termine "Sustainable Value Stream Mapping" o, più semplicemente, Sus-VSM, l'obiettivo di questo lavoro di tesi è presentare lo stato dell'arte di questa nuova metodologia, andando a riportare una serie di studi effettuati su tale argomento, ed evidenziandone, oltre che le caratteristiche, anche i limiti. Partendo dallo studio del 2014 di Fazleena Badurdeen e William Faulkner, che può essere utilizzato come punto di partenza per i futuri studi su questo argomento, ho deciso di suddividere gli studi presentando, in ordine cronologico, quelli che hanno preceduto il lavoro di Badurdeen e Faulkner, e quelli che invece hanno seguito l'uscita del loro articolo. Nella parte finale, infine, verrà presentata una metodologia basata sulle metriche, proposta da Fazleena Badurdeen e Aihua Huang in uno studio del 2018, per l'analisi e la valutazione della sostenibilità dei processi produttivi, con l'obiettivo di adattarla alla Sus-VSM.

La struttura di questo lavoro di tesi viene riportata di seguito. Il primo capitolo è dedicato al tema dello sviluppo sostenibile, o sostenibilità, nel quale verranno presentate definizione, origini, le tre dimensioni principali, la differenza tra sostenibilità forte e debole ed un modello per la misurazione dello sviluppo sostenibile di un Paese. Nel secondo capitolo verranno presentati il Lean Manufacturing e il Green Manufacturing, evidenziandone analogie e differenze, e la produzione sostenibile (Sustainable Manufacturing) e le sue caratteristiche. Il terzo capitolo ha lo scopo di presentare la metodologia della Value Stream Mapping tradizionale: verranno presentati in dettaglio tutti i passi per la costruzione della

current-state map, la costruzione della future-state map, ed infine si vedrà il piano di implementazione per raggiungere il future-state. Il quarto capitolo, dedicato alla Sustainable Value Stream Mapping, che assieme al quinto rappresenta il cuore di questo elaborato, è suddiviso essenzialmente in due parti: nella prima verranno riportati i primi studi effettuati sul tema, nella seconda parte, invece, verrà presentata la Sus-VSM sviluppata da Badurdeen e Faulkner. Nel quinto e ultimo capitolo verranno presentati gli studi che hanno seguito quello dei due autori appena citati. Nella parte conclusiva di questo elaborato, infine, verranno esposte le conclusioni tratte dall'analisi di tutti gli studi visti e la metodologia presentata nello studio di Badurdeen e Huang.

Capitolo 1

Lo Sviluppo Sostenibile

Il primo capitolo di questo elaborato ha lo scopo di introdurre il concetto di “sviluppo sostenibile”, o “sostenibilità”. Nel corso del capitolo verranno presentate le origini e la definizione di sviluppo sostenibile, le tre dimensioni caratteristiche, secondo l’approccio Triple Bottom Line (TBL), le posizioni in riferimento alla sostenibilità in base alla sostituibilità delle risorse e, infine, una rivisitazione del rapporto Brundtland del 1987 per la misurazione dello sviluppo sostenibile di un Paese, che si distacca dalla prospettiva TBL e propone una misurazione basata su quattro dimensioni.

1.1 Origini e Definizione

Lo sviluppo sostenibile affonda le sue origini nell’idea di una gestione sostenibile delle foreste, sviluppatasi in Europa già a partire dal 17° e 18° secolo (<https://en.wikipedia.org/>¹). Uno dei primi utilizzi nel mondo moderno del termine

¹ https://en.wikipedia.org/wiki/Sustainable_development

“sostenibile” appare nel 1972 nel rapporto sui “Limiti dello sviluppo”, commissionato dal Club di Roma a degli studiosi del Massachusetts Institute of Technology (MIT). In seguito a questo rapporto, un gruppo di ricercatori del MIT raccolgono dieci giorni di audizioni in un rapporto, intitolato “Growth and Its Implication for the Future”, per il congresso degli Stati Uniti. Nel 1980 la “International Union for the Conservation of Nature” (IUCN) pubblica una strategia di conservazione mondiale che includeva uno dei primi riferimenti allo sviluppo sostenibile come priorità a livello globale e introduce per la prima volta il termine “sviluppo sostenibile”. Nel 1987 la Commissione mondiale delle Nazioni Unite per l’ambiente e lo sviluppo pubblicò il rapporto “Our Common Future”, conosciuto più comunemente come “Rapporto Brundtland”. Il rapporto includeva quella che oggi è una delle definizioni più ampiamente riconosciute di sviluppo sostenibile: “Lo sviluppo sostenibile è uno sviluppo che soddisfa i bisogni del presente senza compromettere la capacità delle generazioni future di soddisfare i propri bisogni. Contiene al suo interno due concetti chiave:

- Il concetto di “bisogni”: in particolare i bisogni fondamentali dei poveri del mondo, ai quali dovrebbe essere data priorità assoluta
- L’idea delle limitazioni imposte dalla tecnologia e dall’organizzazione sociale alla capacità dell’ambiente di soddisfare le esigenze presenti e future”

(Our Common Future, 1987). In seguito al rapporto Brundtland, il concetto di sviluppo sostenibile si è sviluppato oltre l’iniziale quadro intergenerazionale per concentrarsi maggiormente sull’obiettivo di una crescita economica socialmente inclusiva ed ecosostenibile. Nel 1992, la Conferenza sull’ambiente e lo sviluppo delle Nazioni Unite (UNCED), conosciuta anche come Earth Summit, pubblicò la Carta della Terra, la quale delineava la costruzione di una società giusta, sostenibile e pacifica a livello globale nel corso del 21° secolo. Il piano d’azione “Agenda 21” per lo sviluppo sostenibile ha identificato tre elementi chiave interdipendenti per aiutare i paesi a raggiungere uno sviluppo sostenibile, ovvero:

- Informazione: tutti sono utenti e fornitori di informazioni
- Integrazione: necessità di passare dai vecchi modi di fare affari centrati sul settore, a nuovi approcci che implicano il coordinamento intersettoriale e

l'integrazione delle preoccupazioni ambientali e sociali in tutti i processi di sviluppo

- Partecipazione: l'ampia partecipazione del pubblico al processo decisionale è un prerequisito fondamentale per raggiungere lo sviluppo sostenibile

Secondo i principi della Carta delle Nazioni Unite, la Dichiarazione del Millennio ha identificato i principi e i trattati sullo sviluppo sostenibile, inclusi lo sviluppo economico, lo sviluppo sociale e la protezione dell'ambiente. Lo sviluppo sostenibile, ampiamente definito, è un approccio sistemico alla crescita, allo sviluppo e alla gestione di capitale naturale, quello prodotto e quello sociale per il benessere delle proprie e delle generazioni future. Il termine sviluppo sostenibile usato dalle Nazioni Unite comprende quindi sia le questioni associate allo sviluppo del territorio sia le questioni più ampie dello sviluppo umano come l'istruzione, la sanità pubblica e il tenore di vita.

1.2 Le Tre Dimensioni dello Sviluppo Sostenibile

Lo sviluppo sostenibile viene descritto in termini di tre dimensioni, ovvero ambiente, economia e società. Lo sviluppo è sostenibile solo quando si tiene conto e si soddisfano le esigenze sia economiche, sociali ed ambientali. Negli altri casi si parla di sviluppo (<http://www.difesambiente.it>):

- Realizzabile: quando lo sviluppo economico è compatibile con le capacità dell'ambiente
- Vivibile: quando sono rispettate le esigenze sociali e l'integrità ambientale
- Equo: quando lo sviluppo coinvolge equamente tutte le classi sociali

In *Figura 1.1*, a pagina seguente, vengono riportate le tre dimensioni della sostenibilità e i loro intrecci (<https://it.wikipedia.org>³).

² http://www.difesambiente.it/uomo_ambiente/sviluppo_sostenibile.aspx

³ https://it.wikipedia.org/wiki/Sviluppo_sostenibile

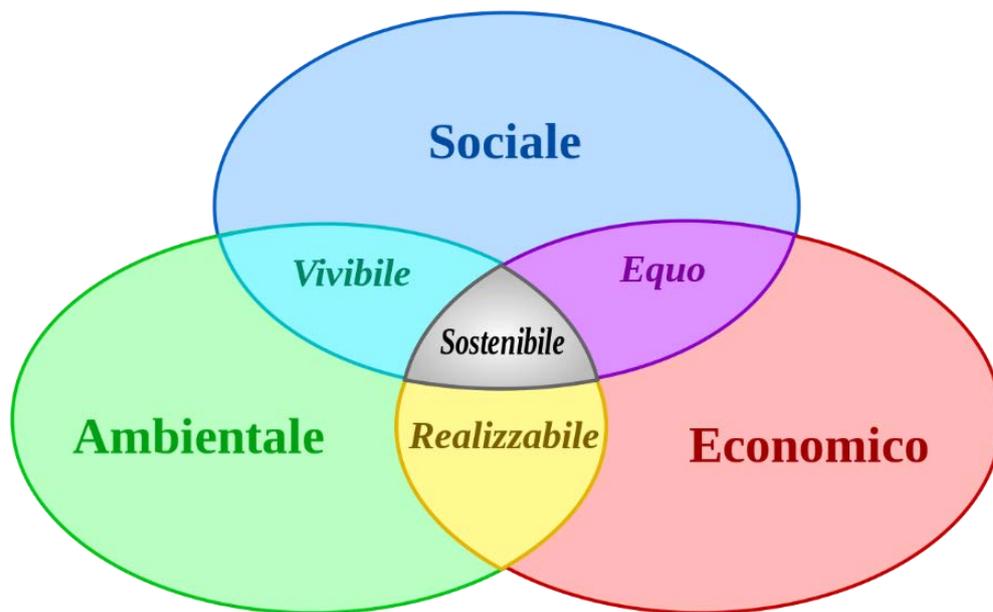


Figura 1.1 – Le tre dimensioni dello sviluppo sostenibile

1.2.1 La Sostenibilità Ambientale

La sostenibilità ambientale riguarda l'ambiente nella sua diversificazione, produttività e durevolezza (<https://en.wikipedia.org>). Poiché le risorse naturali, utilizzate in produzione, derivano dall'ambiente, le condizioni dell'aria, dell'acqua e del clima destano particolare interesse. La sostenibilità ambientale richiede alla società di progettare le attività per soddisfare i bisogni umani preservando i sistemi di supporto vitale del pianeta. Ciò, ad esempio, implica l'uso sostenibile dell'acqua, di energia rinnovabile e l'approvvigionamento sostenibile dei materiali. Una situazione insostenibile si verifica quando il capitale naturale (la somma totale delle risorse della natura) viene esaurito più velocemente di quanto possa essere reintegrato. La sostenibilità richiede che l'attività umana utilizzi le risorse della natura al ritmo con cui possono essere reintegrate naturalmente. Il concetto di sviluppo sostenibile, perciò, si intreccia con i concetti di capitale naturale critico, ovvero il livello minimo di una risorsa necessario a garantirne la riproducibilità

biologica dell'ecosistema, e capacità di carico, cioè il grado di inquinamento e di rifiuti che il pianeta è in grado di sopportare (Lanza, 1997⁴).

Gli elementi integranti per uno sviluppo sostenibile sono le attività di ricerca e di innovazione. Un esempio è la politica europea in materia di ricerca e innovazione ambientale, che mira a definire e attuare un'agenda trasformativa per rendere più ecologiche l'economia e la società in modo da raggiungere uno sviluppo veramente sostenibile. La ricerca e l'innovazione in Europa sono sostenute finanziariamente dal programma Horizon 2020, che è aperto anche alla partecipazione in tutto il mondo.

1.2.2 La Sostenibilità Economica

Ogni nazione, oggi, definisce i suoi obiettivi economici in termini di Prodotto Interno Lordo (PIL) ovvero “il valore aggregato, a prezzi di mercato, di tutti i beni e i servizi finali prodotti sul territorio di un Paese in un dato periodo di tempo” (<https://it.wikipedia.org>⁵). L'obiettivo è che il PIL cresca, con una certa percentuale, in maniera costante ed indefinitamente. Una definizione errata di sostenibilità economica è che la crescita del PIL nazionale debba essere pari ad almeno il 2% annuo (un target di crescita inferiore è voluto solamente in seguito ad una recessione). Questa definizione non è corretta in quanto non tiene in considerazione né il reddito medio della popolazione, né quante persone si trovano nella fascia bassa nella distribuzione del reddito, né, infine, perché una crescita costante del PIL in maniera indefinita non è possibile (<https://www.thwink.org>⁶). Per una corretta definizione di sostenibilità economica è necessario introdurre il concetto di soglia di povertà ovvero “il livello minimo di reddito ritenuto necessario per raggiungere un adeguato standard di vita in un determinato Paese” (<https://en.wikipedia.org>⁷). Se nei Paesi poveri questa soglia è molto bassa nei Paesi sviluppati questo livello è talmente elevato che non si può più parlare di soglia di

⁴ Lanza A., 1997, *Lo Sviluppo Sostenibile*, il Mulino, Bologna.

⁵ https://it.wikipedia.org/wiki/Prodotto_interno_lordo

⁶ <https://www.thwink.org/sustain/glossary/EnvironmentalSustainability.htm>

⁷ https://en.wikipedia.org/wiki/Standard_of_living

povertà ma di “standard minimo preferito del livello di vita”. È proprio questo livello che permette una corretta definizione di sostenibilità economica, la quale si verifica quando una nazione ha una certa percentuale (molto bassa) della sua popolazione al di sotto del suo standard minimo preferito del livello di vita.

1.2.3 La Sostenibilità Sociale

Intesa come capacità di garantire condizioni di benessere umano (sicurezza, salute, istruzione, democrazia, partecipazione, giustizia.) equamente distribuite per classi e genere. In relazione allo sviluppo sostenibile si parla più nello specifico di due tipologie di equità sociale (Lanza, 1997):

- Equità intragenerazionale: implica la parità di accesso alle risorse da parte dei cittadini del pianeta, senza distinzioni rispetto al luogo o paese in cui essi vivono
- Equità intergenerazionale: si intendono le pari opportunità tra generazioni successive

Alcuni autori sottolineano anche l'importanza di una sostenibilità di tipo culturale, intesa come un cambiamento all'interno di una continuità culturale nel processo di modernizzazione di un Paese.

1.3 Sostenibilità Forte e Debole

La definizione data nel rapporto Brundtland di sviluppo sostenibile introduce al tema della sostituibilità tra le varie forme di capitale. La produzione di beni e servizi è resa possibile grazie a tre tipologie di capitale: fisico, umano e ambientale. Le proporzioni di questi tre fattori mutano tra Paese e Paese e nel corso del tempo. La possibilità per le generazioni future di soddisfare i propri bisogni dipende perciò dalla disponibilità di un capitale composito. Quando si parla di sostenibilità si possono considerare quattro posizioni in base al grado di sostituibilità del capitale, ovvero (Lanza, 1997):

- Sostenibilità molto debole (Smd)

- Sostenibilità debole (Sd)
- Sostenibilità forte (Sf)
- Sostenibilità molto forte (Smf)

Spostandoci dalla Smd alla Smf le possibilità di sostituibilità sono ritenute inferiori. Nella prospettiva di Smd, quindi, le preoccupazioni relative alla sostituibilità sono presenti ma non costituiscono un vincolo per il perseguimento delle politiche di sviluppo. Le ipotesi sottostanti ai quattro approcci appena presentati si fondano sui concetti di capitale naturale critico e capacità di carico già presentati precedentemente. I sostenitori della Smd ritengono ancora molto lontano il raggiungimento della soglia del capitale naturale critico, al contrario di coloro che sostengono invece la Smf. In base alle ipotesi si ritiene possibile o no la sostituzione, ad esempio, del capitale fisico con il capitale naturale.

1.4 Rivisitazione del Rapporto Brundtland

Nel 2014 Banister et al. propongono una rivisitazione del rapporto “Our Common Future” del 1987. Anche se nella pubblicazione viene adottato un modello diverso da quello già presentato, basato sulla Triple Bottom Line, e che verrà utilizzato anche per la valutazione della sostenibilità dei processi produttivi che vedremo nei capitoli seguenti, il modello presentato dagli autori risulta comunque interessante e propone una nuova prospettiva per valutare la sostenibilità di un Paese. Nel loro lavoro, infatti, gli autori propongono una metodologia basata su quattro dimensioni primarie (Banister et al., 2014⁸):

- Salvaguardia della sostenibilità ecologica a lungo termine
- Soddisfazione dei bisogni umani di base
- Promozione dell’equità intragenerazionale
- Promozione dell’equità intergenerazionale

⁸ Banister D., Holden E., Linnerud K., 2014, Sustainable development: Our Common Future revisited, *Journal of Cleaner Production*, vol. 26, pp. 130-139.

Come si può facilmente intuire, rispetto alla prospettiva TBL, a mancare tra le dimensioni primarie è quella economica. Secondo gli autori, infatti, la crescita economica è un “potenziale strumento che facilita il soddisfacimento delle quattro dimensioni primarie e non una dimensione primaria in suo diritto” (Banister et al., 2014).

Per ogni dimensione sono stati scelti degli indicatori appropriati ed assegnati dei valori di soglia, fissati per il 2030, che devono essere soddisfatti per poter parlare di sviluppo sostenibile. Questi quattro valori limite costituiscono uno spazio quadridimensionale che gli autori definiscono “Sustainable Development Space” (SDS). Banister et al. prendono una posizione in contrasto con la classica prospettiva per la quale va ricercato un trade-off tra le dimensioni della sostenibilità: secondo gli autori tutte e quattro le dimensioni sono equamente importanti, quindi il miglioramento di una non deve compromettere le opportunità di miglioramento delle altre tre.

1.4.1 Indicatori e Valori di Soglia

In riferimento alla prima dimensione, quella relativa alla salvaguardia della sostenibilità ecologica nel lungo termine, l'indicatore scelto è stata l'impronta ecologica: tale indicatore viene utilizzato per valutare il consumo umano di risorse naturali rispetto alla capacità della Terra di rigenerarle. L'unità di misura dell'impronta ecologica è l'ettaro globale [gha] pro capite ed il valore di soglia assegnato dagli autori è di 2,3. Questo valore è stato assegnato in base al consumo di energia globale desiderato per il 2030, in relazione ai dati sul consumo del 1985: l'impronta ecologica, infatti, è strettamente correlata al consumo di energia perciò la riduzione, in termini percentuali, dell'impronta ecologica sarà la stessa del consumo energetico.

Per la soddisfazione dei bisogni umani di base viene proposto lo Human Development Index (HDI). Questo indicatore è calcolato sulla base di tre fattori:

- Aspettativa di vita
- Livello di educazione

- Reddito pro capite

Il valore minimo assegnato dagli autori è di 0,630. Questo valore è quello assunto dai Paesi che hanno un livello medio di sviluppo umano e che quindi, secondo gli autori, costituisce il requisito minimo per assicurare il soddisfacimento dei bisogni di base agli abitanti di un Paese.

Il coefficiente di Gini viene utilizzato per misurare la disuguaglianza di una distribuzione ed è stato scelto quindi per misurare l'equità intragenerazionale. Quando il coefficiente assume il valore zero ci troviamo nelle condizioni di perfetta uguaglianza, quando assume il valore cento, invece, in condizioni di massima disuguaglianza. Gli autori, basandosi sul livello stabilito dallo "Human Settlements Programme" delle Nazioni Unite, hanno assegnato un valore massimo pari a 40.

Per misurare l'equità intergenerazionale viene utilizzata la percentuale di energia rinnovabile sul totale di energia primaria prodotta. Il valore di soglia assegnato a tale indicatore è un minimo del 27%. Usando questo indicatore per la misurazione dell'equità intergenerazionale sorgono due problematiche. La prima riguarda lo spazio occupato: per la produzione di energia rinnovabile, infatti, sono richieste aree fino a mille volte più grandi rispetto a quelle richieste per la produzione di energia da combustibili fossili e quindi, in una società con elevato consumo energetico e che utilizza energie rinnovabili, la produzione da fonti rinnovabili non risulterebbe sostenibile. Un massimo valore di soglia per l'impronta ecologica è quindi necessario per prevenire che questo accada. La seconda problematica, invece, è che l'impronta ecologica già tiene conto delle energie rinnovabili, quindi si tiene conto due volte della dimensione ecologica della sostenibilità. Banister et al., tuttavia, ritengono questo indicatore importante per l'equità intergenerazionale in quanto riflette una transizione sul lungo termine verso un regime di energie rinnovabili.

Capitolo 2

Lean, Green e Produzione Sostenibile

Questo capitolo ha lo scopo di presentare tre approcci manageriali: il Lean Manufacturing, il Green Manufacturing e il Sustainable Manufacturing. Per i primi due approcci verranno esposte le origini, le principali caratteristiche, nonché gli strumenti e gli elementi necessari alla loro implementazione; verrà inoltre presentato il legame tra queste due pratiche, mostrando quali sono i punti in comune e quali sono, invece, le differenze. La parte finale del capitolo sarà dedicata alla produzione sostenibile e alle sue caratteristiche.

2.1 Il Lean Thinking

2.1.1 La Produzione di Massa e l'Origine del Lean Manufacturing

L'origine della produzione di massa va ricercata nella pubblicazione di un libro, ovvero lo "Scientific Management", scritto da Frederick Taylor nel 1904, il quale ebbe un enorme successo e contribuì a gettarne le basi. Nel suo libro Taylor spiega

come in ambito industriale fosse necessario introdurre tecniche più scientifiche di quelle artigianali utilizzate fino ad allora, in particolare per quanto riguardava il lavoro umano, spezzando i lunghi cicli di lavoro in fasi molto brevi, aumentando quindi l'efficienza dei lavoratori: l'uso di queste tecniche avrebbe permesso di aumentare la produttività.

Henry Ford fu colpito a tal punto dall'opera di Taylor che decise di creare un processo produttivo che rispecchiasse le sue indicazioni: creò un processo dove i materiali si muovevano lungo percorsi predefiniti e la manodopera rimaneva ferma. Le principali caratteristiche di questo tipo di produzione erano gli elevati volumi produttivi, che consentivano bassi costi unitari e quindi anche prezzi bassi, la standardizzazione dei prodotti e dei processi, l'elevato numero di scorte e una varietà dei modelli molto bassa.

Tale modello di produzione, nonostante il grande successo iniziale, cominciò ad entrare in crisi per due motivi. Il primo è da ricercare nel cambiamento dei bisogni dei clienti: le loro esigenze infatti mutarono, ricercando prodotti caratterizzati da un certo grado di varietà, per cui la domanda diventò più incerta. Il secondo motivo per cui il modello Fordista entrò in crisi fu l'apparizione sui mercati dei prodotti giapponesi, caratterizzati da:

- Bassi costi
- Alta qualità
- Alta varietà

In poco tempo le aziende giapponesi diventarono così grandi da conquistare interi mercati. Ma in cosa va ricercato questo grande successo?

Tutto ebbe inizio con Sakichi Toyoda, il quale avviò un'attività di costruzione di telai per la tessitura nel 1890, campo nel quale portò importanti innovazioni. La sua eredità permise al figlio Kiichiro Toyoda di fondare nel 1937 la Toyota Motor Corporation. Kiichiro e Taiichi Ohno, un ingegnere di Toyota, visitarono le fabbriche fordiste e capirono che tale modello non poteva funzionare in Giappone a causa degli enormi spazi occupati e gli enormi sprechi. Ohno sviluppò quindi un

sistema produttivo, conosciuto come Toyota Production System (TPS), volto all'eliminazione degli sprechi attraverso:

- Flusso continuo: per ridurre attese e tempi di attraversamento
- Produzione pull: per eliminare la sovrapproduzione
- Miglioramento continuo: a piccoli passi e con il coinvolgimento di tutti

Il grande successo raggiunto dalle aziende giapponesi negli anni '70 non trovava una spiegazione nel mondo occidentale: si pensava fosse solamente una moda passeggera ed alcuni cercarono di fornire una giustificazione di tale successo attraverso i cosiddetti fattori "country specific", ovvero:

- Vantaggio dovuto al basso costo della manodopera, cambio favorevole e bassi costi del capitale
- La fortuna di vendere macchine piccole nel momento della crisi petrolifera
- L'utilizzo spinto delle tecnologie di automazione
- I finanziamenti dello Stato
- I valori socio-culturali

In sintesi, quindi, il mondo occidentale si convinse che fosse impossibile esportare il modello giapponese.

Solo nel 1981, grazie all'accesso di manager, professori, e consulenti alle fabbriche giapponesi, e grazie ai libri di Richard Schonberger e Robert Hall, si cominciò a comprendere il loro successo. Ma fu il lavoro di John Krafcik, del 1987, assieme ai professori Womack, Jones e Roos, volto a verificare la veridicità dei libri di Schonberger e Hall che fu decisivo. Krafcik, infatti, analizzò degli stabilimenti produttivi presenti in occidente, compresi i cosiddetti "transplant" giapponesi, ovvero stabilimenti con manodopera locale e management giapponese, utilizzando una serie di parametri. Da questa analisi dedusse che i manager giapponesi avevano conoscenze più innovative e performanti.

Nel 1990 esce il libro "The Machine That Changed The World", scritto da Womack, Jones e Roos, dove vennero raccolti cinque anni di studi fatti in tutto il mondo. Per la prima volta compare il termine "Lean Manufacturing", o "Produzione Snella", coniato dallo stesso Krafcik nella sua tesi di dottorato. Con questo libro nasce

perciò la storia della Lean Production, e di fatto cominciò la conversione dell'industria americana alle pratiche Lean.

2.1.2 I Principi del Lean Thinking e i MUDA

Le origini del Lean Management provengono quindi dall'ambito manifatturiero ed in particolare dal TPS fondato da Ohno. Dalla concettualizzazione di questo sistema di management nasce il Lean Thinking, alla base del quale risiedono i concetti fondamentali di (<https://www.considi.it>)⁹:

- Attenzione al cliente: è fondamentale trasferire, attraverso i prodotti e servizi, il valore che il cliente si aspetta; il cliente non è inteso solamente come quello finale, ma anche quello interno
- Contributo delle persone: saper fare bene le cose (Monozukuri) è possibile solo partendo dalla capacità di gestire le persone (Hitozukuri)
- Lotta agli sprechi
- Miglioramento continuo (Kaizen)

Nel libro “Lean Thinking” (Jones e Womack, 2003¹⁰) vengono individuati cinque principi chiave della filosofia Lean, riportati anche in *Figura 2.1* (<https://www.ibm.com>)¹¹ a pagina seguente:

1. Definire il valore: capire cosa il cliente vuole, non solo in termini di prodotto, ma anche di bisogni che vuole soddisfare
2. Identificare il flusso del valore: identificare tutte le risorse necessarie alla creazione di un prodotto/servizio con delle caratteristiche coerenti con quello che il cliente si aspetta
3. Far scorrere il flusso: fare in modo che il flusso scorra velocemente tra le diverse risorse

⁹ <https://www.considi.it/lean-thinking/>

¹⁰ Jones D.T., Womack J.P., 2003, *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*, Simon & Schuster Inc., U.S.A.

¹¹ https://www.ibm.com/developerworks/bpm/bpmjournal/1308_col_schume/1308_schume.html

4. Implementare un sistema pull: il flusso deve essere tirato dal cliente finale, non spinto dalle fasi a monte
5. Ricercare la perfezione: rivedere le soluzioni trovate per poter migliorare ancora, in quanto ci saranno degli ostacoli che attualmente non si possono rimuovere (i cosiddetti “monumenti”)

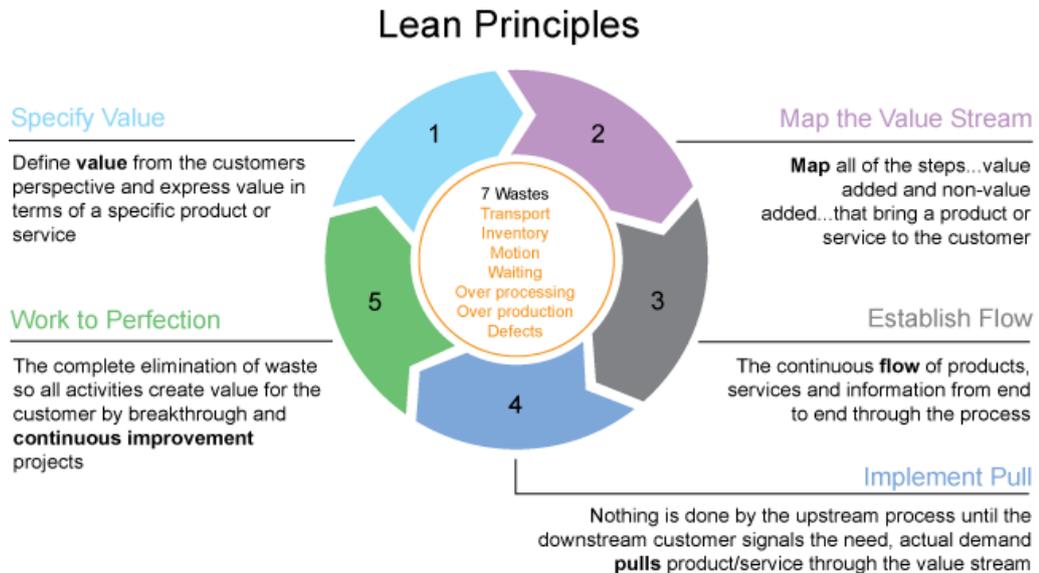


Figura 2.1 – I 5 principi del Lean Thinking

Sempre nel loro libro, i due autori parlano dei cosiddetti MUDA, ovvero quelle attività, che secondo la filosofia Lean, assorbono risorse senza però aggiungere valore al prodotto finito; possiamo perciò distinguere tra:

- Attività a valore aggiunto
- Attività non a valore aggiunto: a loro volte suddivise in eliminabili o riducibili

Traducendo in termini temporali possiamo andare a definire:

- Tempo ciclo: tempo necessario ad un processo, o ad una sua fase, per completare il prodotto o una sua parte
- Tempo a valore aggiunto (VAT, Value-Added Time): parte del tempo ciclo che effettivamente genera valore per il cliente
- Tempo di attesa: tempo che i prodotti o le parti spendono nei magazzini

- Tempo di attraversamento (Lead Time, LT): tempo totale che un pezzo impiega per attraversare lo stabilimento; è calcolato come la somma tra il tempo ciclo e il tempo di attesa totali

Gli sprechi individuati nel libro sono sette e vengono riportati di seguito:

1. Difetti: sono causati da errori durante la lavorazione, i quali generano prodotti con problemi di qualità
2. Sovraproduzione: rappresenta la tendenza da parte delle aziende di produrre più del necessario oppure in anticipo; questo provoca un aumento del tempo di attraversamento
3. Attese: in parte sono conseguenza della sovrapproduzione, infatti se si produce più del necessario ci si troverà in una situazione in cui i prodotti si accumuleranno in determinati punti lungo la linea produttiva ed inoltre ci saranno dei periodi di inattività per gli operatori a monte per riuscire a smaltire le scorte accumulate; le attese produrranno inoltre un maggior tempo di attraversamento
4. Trasporto: si tratta di un'eccessiva movimentazione di prodotti e materiali; è uno spreco non completamente eliminabile, ma che si può ridurre di molto
5. Giacenze: è strettamente legato alla sovrapproduzione; le scorte oltre a costituire un costo per l'azienda possono risultare in un minor livello di servizio al cliente a causa del deperimento
6. Movimenti: si tratta in questo caso dei movimenti degli operatori; un'organizzazione non ottimale della postazione del lavoro e scarse condizioni ergonomiche portano ad un aumento del tempo ciclo nonché a maggiori possibilità di infortunio
7. Processi: all'interno dei processi possono essere presenti delle fasi inutili, che andranno ad aumentare il tempo di lavorazione e non aggiungeranno valore al prodotto, generando dunque solo costi in più

A questi sette sprechi più recentemente se ne è aggiunto un altro, l'ottavo, ovvero il talento non utilizzato: “molte aziende spesso sotto-utilizzano le capacità dei loro lavoratori ed inoltre non consentono una condivisione delle loro conoscenze. Questo spreco perciò è stato aggiunto in quanto rappresenta un elemento chiave

per risolvere gli altri sprechi” (<https://en.wikipedia.org>¹²). In *Figura 2.2* vengono riportati tutti e otto gli sprechi appena descritti (<https://goleansixsigma.com>¹³).



Figura 2.2 – Gli 8 MUDA

Riducendo gli sprechi appena descritti sarà possibile andare a ridurre il tempo ciclo delle operazioni e i tempi di attesa, e di conseguenza quindi il LT, permettendo all'azienda di rispondere più reattivamente ai cambiamenti nella domanda dei clienti.

Altri due sono i fenomeni da evitare in ambito aziendale:

- MURI: rappresentano il sovraccarico delle risorse e delle persone; possono portare ad una manutenzione anticipata delle macchine oppure a maggiori rischi di infortunio se parliamo di persone
- MURA: indicano le fluttuazioni nel carico di lavoro

Nell'implementare i concetti del Lean Thinking la strada non è certo priva di ostacoli. I principali problemi applicativi vanno ricercati nel:

¹² [https://en.wikipedia.org/wiki/Muda_\(Japanese_term\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Muda_(Japanese_term))

¹³ <https://goleansixsigma.com/the-8-wastes-checksheet/>

- Cambiamento delle relazioni a valle e a monte: affinché le pratiche Lean manifestino il loro pieno potenziale è necessario coinvolgere i fornitori; questo tuttavia non è semplice in quanto anche questi ultimi devono trarre dei benefici
- Cambiamento delle relazioni interne: è necessario creare un clima lavorativo favorevole, in cui la comunicazione gioca un ruolo fondamentale
- Produrre bassi volumi unitari e alta varietà: aziende che lavorano con questa relazione volumi-varietà potrebbero incontrare delle difficoltà nell'implementazione di un sistema Lean, tuttavia, attraverso degli studi, è stata dimostrata l'applicabilità delle pratiche Lean anche in questi contesti

2.1.3 Gli Strumenti del Lean Thinking

“Il Lean Thinking è supportato da molti strumenti e tecniche che consentono alle aziende di applicarne i principi per attuare il cambiamento. Possiamo suddividere questi strumenti operativi sulla base del principio del Lean Thinking che aiutano ad attuare” (<https://www.considi.it>).

Al primo principio Lean viene in aiuto il Quality Function Deployment (QFD): si tratta di uno strumento che serve a catturare i bisogni del cliente (Voice of Customer, VOC) e a tradurli in adeguate specifiche interne all'azienda in ogni fase del ciclo di sviluppo del prodotto. Questa metodologia permette inoltre di migliorare la qualità complessiva sia del prodotto che dei processi produttivi.

Gli strumenti utili per identificare il flusso del valore e gli sprechi sono molteplici. La Value Stream Map (VSM) è uno di questi, e verrà esposta in dettaglio nel capitolo seguente. La Spaghetti Chart è un metodo di mappatura che permette di visualizzare i flussi fisici di materiali, persone o documenti; in ambito produttivo il flusso che si vuole analizzare lo si traccia sul layout dello stabilimento: nella pagina successiva, in *Figura 2.3* (<https://www.leanmanufacturing.it>¹⁴), viene riportato un esempio.

¹⁴ <https://www.leanmanufacturing.it/strumenti/spaghetti-chart.html>

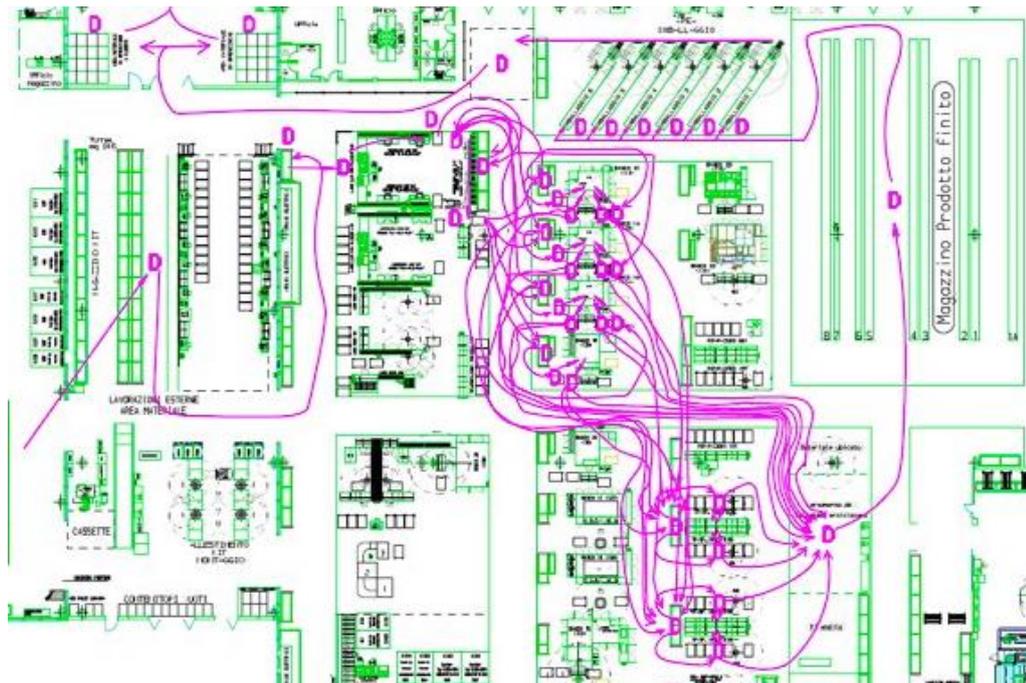


Figura 2.3 – Spaghetti Chart

Questa mappatura permette di evidenziare tutte le movimentazioni eseguite, e capire quali miglioramenti apportare al layout dello stabilimento. Un'altra importante metodologia è l'analisi e lo studio dei tempi e metodi: “lo studio dei tempi consiste in un'analisi di uno specifico lavoro, eseguito da un operatore qualificato, con il fine di trovare il metodo più efficiente in termini di tempo e sforzo; lo studio dei metodi invece riguarda la riduzione del contenuto di lavoro” (<https://industrialtimestudy.com>¹⁵). Ultimo strumento importante per quanto riguarda il secondo principio è il calcolo dell'OEE (Overall Equipment Effectiveness) che serve a monitorare e migliorare l'efficienza globale degli impianti. Tiene conto delle tre principali perdite produttive, riportate in *Figura 2.4* (<https://www.mitconsulting.it>¹⁶) a pagina seguente:

- Perdite per fermate: dovute a guasti, set-up e cambi o regolazioni di processo

¹⁵ <https://industrialtimestudy.com/timestudy-methods/>

¹⁶ <https://www.mitconsulting.it/tpm-total-productive-maintenance/>

- Perdite per velocità: dovute al funzionamento a vuoto e alle micro-fermate, oppure ad una riduzione di velocità
- Perdite per qualità: dovute a difetti e scarti di processo

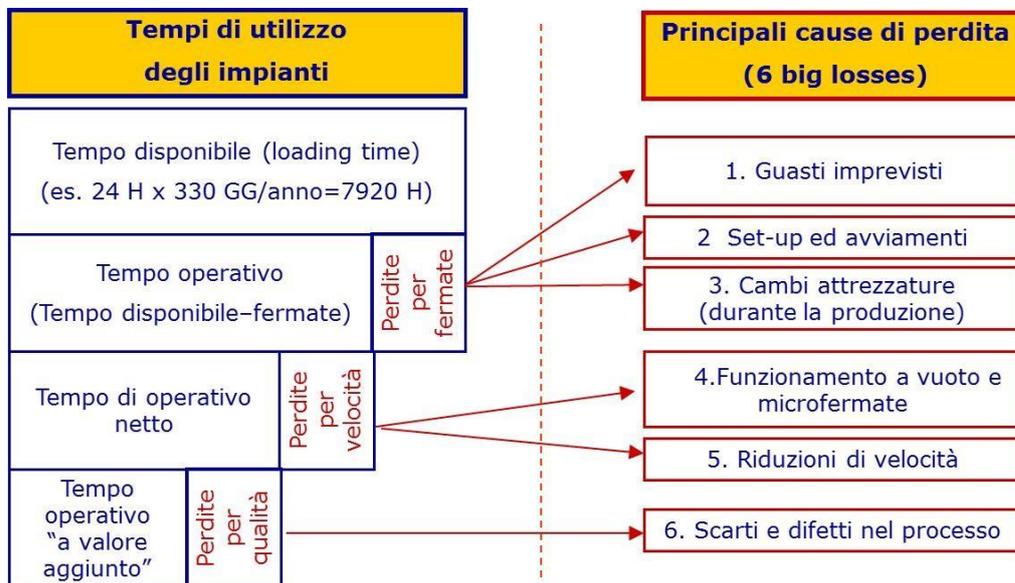


Figura 2.4 – Le perdite produttive

L'indicatore è calcolato come segue:

$$OEE = \text{Disponibilità} \times \text{Efficienza} \times \text{Rendimento Qualitativo}$$

- $\text{Disponibilità} = \text{Tempo operativo} / \text{Tempo disponibile}$
- $\text{Efficienza} = \text{Tempo operativo netto} / \text{Tempo operativo}$
- $\text{Rendimento Qualitativo} = \text{VAT} / \text{Tempo operativo netto}$

Passando ora al terzo principio i principali strumenti sono due: lo SMED (Single Minute Exchange of Die), tecnica che permette di ridurre i tempi di attrezzaggio dei macchinari per riuscire a produrre lotti sempre più piccoli, e la metodologia 5S, che ha lo scopo di mantenere ordine e pulizia nel posto di lavoro, permettendo una riduzione delle attività non a valore aggiunto.

Per l'implementazione di un sistema pull gli strumenti che vengono in aiuto sono il supermarket ed il kanban, che verranno presentati, assieme alla metodologia VSM, nel capitolo successivo. Per implementare un sistema di questo tipo è necessaria la

conoscenza del takt time, ovvero il ritmo che deve avere l'impianto produttivo per riuscire a rispondere alla domanda del cliente. Questo tempo viene definito come:

$$\text{Takt Time} = \frac{\text{Tempo lavorativo disponibile al giorno}}{\text{Domanda giornaliera del cliente}}$$

L'ultimo principio riguarda la ricerca della perfezione, che si basa sul concetto di miglioramento continuo (Kaizen). Per gestire il miglioramento continuo si ricorre ad un metodo di gestione iterativo suddiviso in quattro fasi, ovvero il ciclo di Deming, o PDCA. Le quattro fasi di questo ciclo sono:

- Plan: prevede l'identificazione del problema e la definizione degli obiettivi
- Do: attuazione delle attività pianificate
- Check: analisi dei risultati e monitoraggio per verificare gli scostamenti da quanto pianificato
- Act: standardizzazione e/o miglioramento delle soluzioni trovate

Il miglioramento continuo viene supportato dalla gestione a vista applicata ai processi (Visual Management), la quale si basa sull'utilizzo di segnali visivi per la comunicazione delle informazioni al posto di istruzioni scritte. Questo approccio gestionale garantisce l'immediatezza nel riconoscere l'informazione trasmessa e permette perciò di aumentare l'efficienza.

2.2 Green Manufacturing

2.2.1 Origini e Definizione

Il concetto di Green Manufacturing (GM) nasce tra la fine degli anni '80 e l'inizio degli anni '90 in Germania (vedi *Figura 2.5* a pagina seguente), e si pone come “la soluzione per una produzione sostenibile in grado di poter risolvere molti dei problemi che il mondo affronta oggi” (Minhaj, 2013¹⁷).

¹⁷ Minhaj A.A., 2013, Green Manufacturing (GM): past, present and future (a state of art review), *World Review of Science, Technology and Sustainable Development*, vol. 10, n. 1/2/3, pp. 17-55.

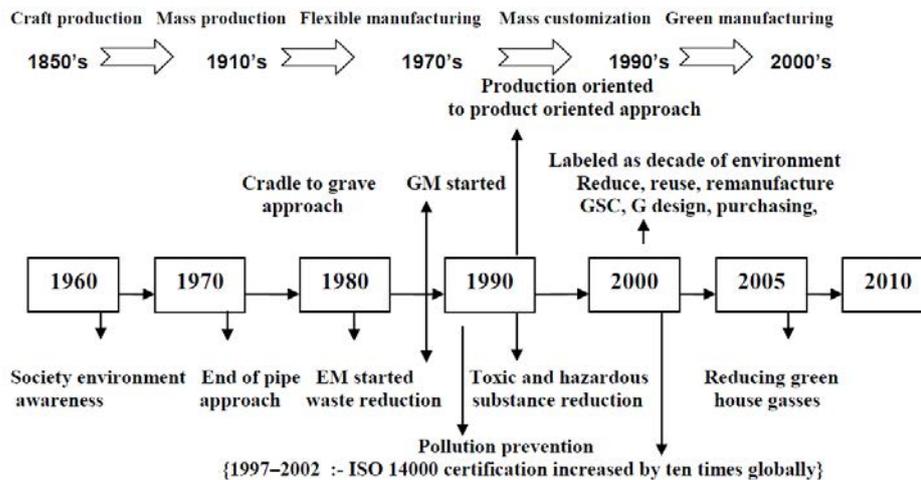


Figura 2.5 – Evoluzione del Green Manufacturing (Minhaj, 2013)

Numerose sono le definizioni di GM in letteratura e trovarne una universalmente riconosciuta da tutti è forse impossibile. Accorpendo tutte le definizioni esistenti (Minhaj, 2013) si può definire il GM come un processo che:

- Minimizza l’impatto ambientale andando a ridurre gli scarti, l’inquinamento, l’utilizzo di sostanze tossiche e l’utilizzo di energia
- Rallenta l’esaurimento delle risorse naturali gestendo la fase di fine vita (End of Life, EOL), ed utilizzando un approccio ad anello chiuso (closed-loop) per il flusso dei materiali
- Ottimizza l’utilizzo delle materie prime e dell’energia implementando il DFE (Design For Environment)
- Migliora la produttività e massimizza i profitti

Il GM, che si fonda essenzialmente sul principio delle 3R (Ridurre, Riutilizzare e Riciclare), ha molti punti in comune con il modello dell’economia circolare. Secondo la definizione della Ellen MacArthur Foundation l’economia circolare “è un termine generico per definire un’economia pensata per potersi rigenerare da sola. In un’economia circolare i flussi di materiali sono di due tipi: quelli biologici, in grado di essere reintegrati nella biosfera, e quelli tecnici, destinati ad essere rivalorizzati senza entrare nella biosfera”. Si tratta quindi di un sistema economico pensato per riutilizzare i materiali in successivi cicli produttivi, riducendo al

massimo gli sprechi. È un modello che si contrappone al classico modello lineare “take-make-dispose” basato sull’accessibilità ad elevate quantità di risorse e di energia, non più adatto alla realtà in cui ci troviamo ora ad operare. “Si pone quindi come necessaria la transizione dal modello lineare ad un modello circolare, che nella considerazione di tutte le fasi (dalla progettazione, alla produzione, al consumo, fino alla destinazione a fine vita) sappia cogliere ogni opportunità di limitare l’apporto di materia ed energia in ingresso e di minimizzare scarti e perdite, ponendo attenzione alla prevenzione delle esternalità ambientali negative e alla realizzazione di nuovo valore sociale e territoriale” (<https://www.economicircular.com>¹⁸).

L’economia circolare, sempre secondo la Ellen MacArthur Foundation, si fonda su tre principi (<https://www.ellenmacarthurfoundation.org>¹⁹):

1. Eco-progettazione: progettare i prodotti pensando fin da subito al loro uso a fine vita
2. Mantenere prodotti e materiali in uso: sviluppare l’abilità di progettare prodotti e componenti che possano essere riutilizzati, riparati e rigenerati. Fare prodotti che durino per sempre non è tuttavia l’unica soluzione; quando si parla di alcuni prodotti, come ad esempio gli imballaggi o il cibo, si deve essere in grado di recuperare i materiali in modo che non finiscano in discarica
3. Rigenerare il capitale naturale: bisogna essere in grado non solo di proteggere il capitale naturale, ma riuscire a sfruttarlo nel miglior modo possibile, aumentando il controllo sulle scorte limitate e bilanciando i flussi delle risorse rinnovabili

¹⁸ <https://www.economicircular.com/cose-leconomia-circolare/>

¹⁹ <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/what-is-the-circular-economy>

Nella *Figura 2.6* (<https://www.ellenmacarthurfoundation.org>²⁰) viene rappresentato uno schema di funzionamento dell'economia circolare: nella parte centrale sono presenti i flussi tecnici (a destra) e quelli biologici (a sinistra), nella parte superiore si fa riferimento all'utilizzo delle risorse rinnovabili e al controllo sulle scorte finite, nella parte inferiore, infine, alla minimizzazione delle perdite e delle conseguenze negative attraverso un'accurata progettazione dei prodotti

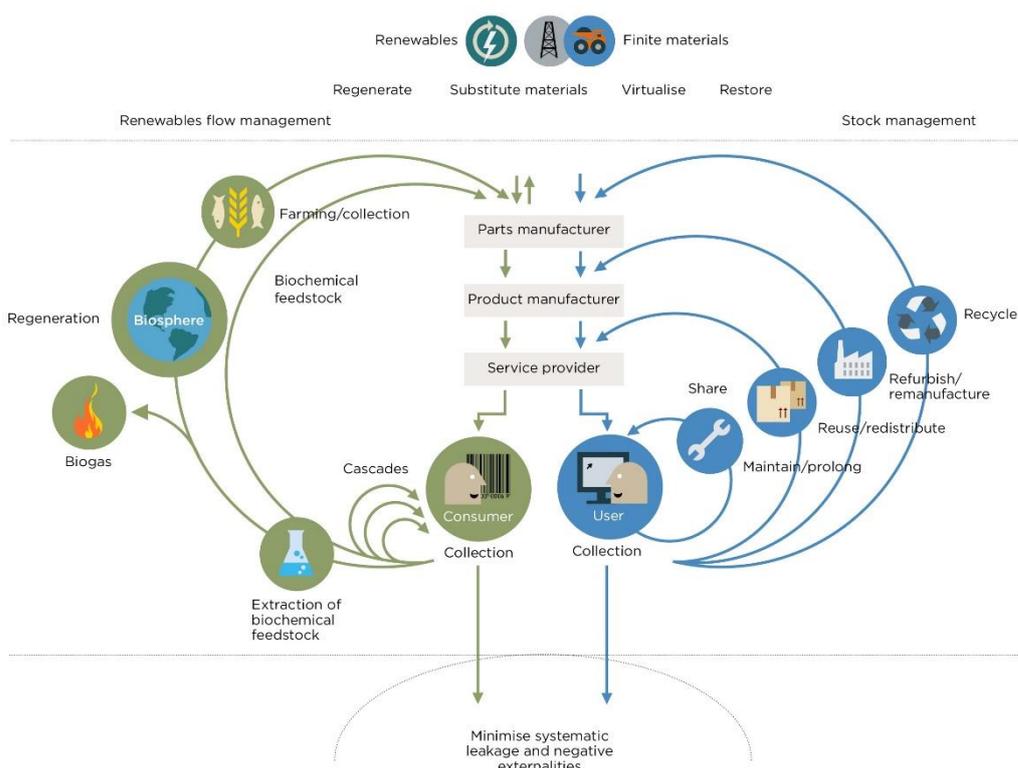


Figura 2.6 – Schema di funzionamento dell'economia circolare

²⁰ <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/infographic>

2.2.2 Gli Elementi del Green Manufacturing

Il GM fa uso di una serie di strumenti ed elementi (Minhaj, 2013) che vengono riportati in *Figura 2.7* nel cosiddetto “GM Tree”.

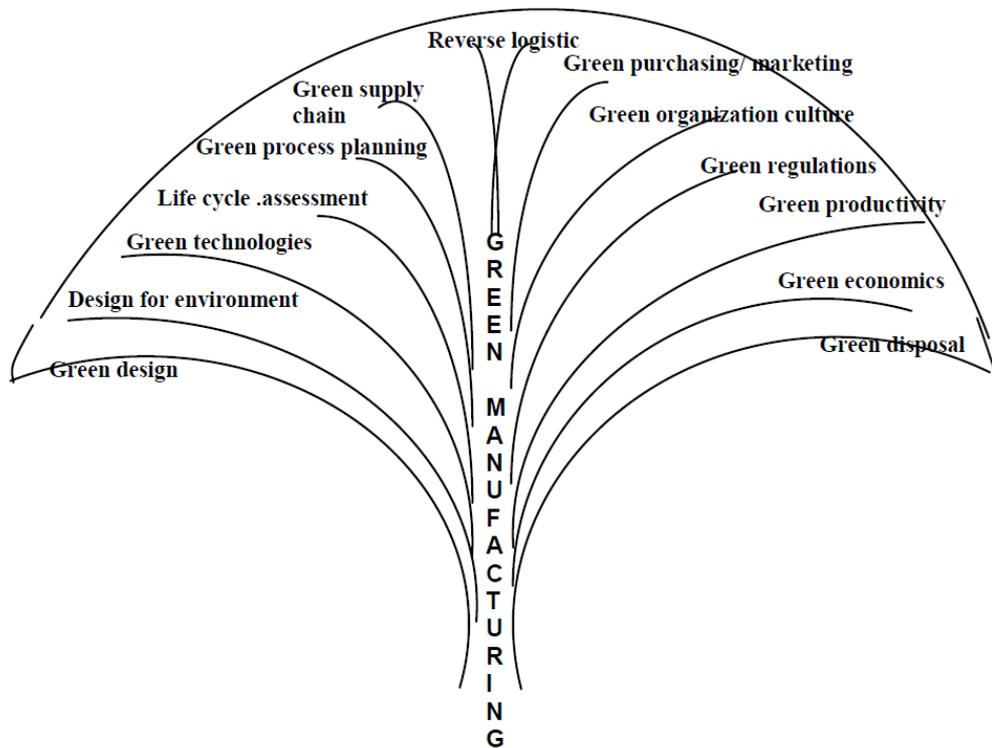


Figura 2.7 – GM Tree (Minhaj, 2013)

Questi elementi sono:

- Green Design (o DFE): si tratta di un approccio che prevede di progettare un prodotto, processo o servizio che vada a ridurre l'impatto sull'ambiente e sulla salute dell'uomo. È necessario supportare la fase di progettazione con degli strumenti e metodologie di valutazione delle conseguenze ambientali in ogni fase del ciclo di vita del prodotto. Il Life Cycle Assessment (LCA) serve proprio a questo: è infatti un processo di valutazione di quali effetti può avere un prodotto, attraverso le sue fasi di vita, sull'ambiente. Lo scopo dell'LCA è quindi “tracciare tutti i flussi di materiali ed energia di un prodotto dall'estrazione delle materie prime fino al suo smaltimento e avrà come output una serie di dati relativi all'ambiente”

(Minhaj, 2013). Questi due strumenti andrebbero utilizzati in modo integrato (*Figura 2.8*), in quanto il DFE dovrebbe essere basato sui dati ottenuti dall'LCA

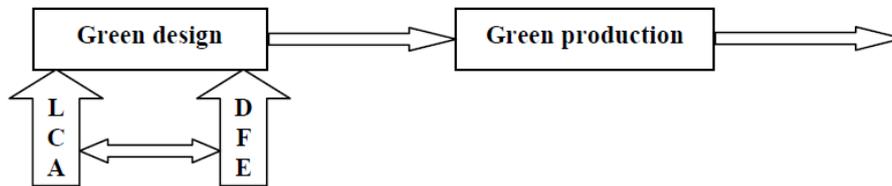


Figura 2.8 – Integrazione di LCA e DFE (Minhaj, 2013)

- Green process planning: la pianificazione di processi Green è un metodo di supporto per migliorare i processi di produzione tradizionali. Lo scopo è quello di migliorare gli aspetti eco-sostenibili di un processo produttivo ottimizzandone i singoli elementi
- Green Supply Chain Management (GSCM): prevede l'integrazione tra i concetti legati all'eco-sostenibilità e il SCM classico. In questo approccio gestionale lo scopo è sempre quello di ridurre l'impatto ambientale del prodotto/servizio lungo il suo ciclo di vita ma "il focus si sposta dall'azienda al sistema di relazioni e di attori che concorrono, assieme ad essa, alla creazione di valore e di opportunità e alla minimizzazione degli impatti ambientali" (<http://www.focus-lab.it>²¹)
- Logistica inversa (Reverse logistic, RL): il Reverse Logistics Executive Council (1998) la definisce come "il processo di pianificazione, implementazione e controllo dell'efficienza (da un punto di vista di costi delle materie prime, gestione del prodotto finito e relative informazioni) dal luogo di consumo del prodotto al suo punto di origine, con lo scopo di recuperare il valore del prodotto o di eseguire appropriatamente lo smaltimento dei materiali". Da questa definizione è evidente come negli ultimi anni il concetto di logistica inversa si sia ampliato passando dalla semplice gestione del reso da parte dei consumatori all'inclusione delle attività di smaltimento, gestione dei rifiuti e recupero dei materiali

²¹ <http://www.focus-lab.it/green-supply-chain/>

- Green purchasing: si riferisce all'approvvigionamento di prodotti e servizi che hanno un minor impatto sull'ambiente e sulla salute dell'uomo rispetto a quelli dei concorrenti
- Green marketing: le aziende che producono secondo i criteri di sostenibilità possono fare leva su questo aspetto per incrementare il valore percepito dai clienti e differenziarsi dai competitors. Gli acquirenti attenti ai temi della sostenibilità, infatti, saranno più inclini ad acquistare un prodotto che rispetti l'ambiente
- Green productivity: è legata ad un uso più efficiente ed efficace delle risorse, andando a produrre dei prodotti migliori con minori scarti di processo
- Green disposal: per un corretto smaltimento eco-sostenibile è necessario che non venga rilasciata nessuna sostanza tossica durante il ciclo di vita del prodotto e si deve ricorrere all'utilizzo di materiali biodegradabili sia per il prodotto che per il suo imballaggio, in modo che il suo smaltimento avvenga nel rispetto dell'ambiente
- Green regulations: la globalizzazione ha spinto molte aziende a migliorare le performance ambientali ed esistono delle normative che, oltre a migliorare la competitività delle aziende, contribuiscono a garantire un ambiente più pulito. I governi locali, inoltre, hanno un ruolo sempre più importante nello spingere le aziende ad implementare sistemi sostenibili

2.2.3 Modello di Implementazione per il Green Manufacturing

Abbiamo visto finora come il GM si ponga come un modello gestionale volto alla riduzione del consumo di materiali ed energia, all'utilizzo di materiali eco-compatibili, alla riduzione degli scarti di processo, al riciclo e quali sono gli elementi e strumenti che possono aiutare le aziende nel processo di implementazione di un sistema Green. Ciò che non abbiamo ancora visto è un modello, che verrà presentato di seguito, che permetta alle aziende di valutare il loro attuale livello di

eco-sostenibilità e che offra un piano di trasformazione per migliorare tale livello (Deif, 2011²²). Il modello è composto da due moduli (*Figura 2.9*):

- Progettazione e pianificazione
- Controllo: si basa sulla misurazione delle performance che riflettono gli obiettivi e i vincoli dati dai manager dell'azienda

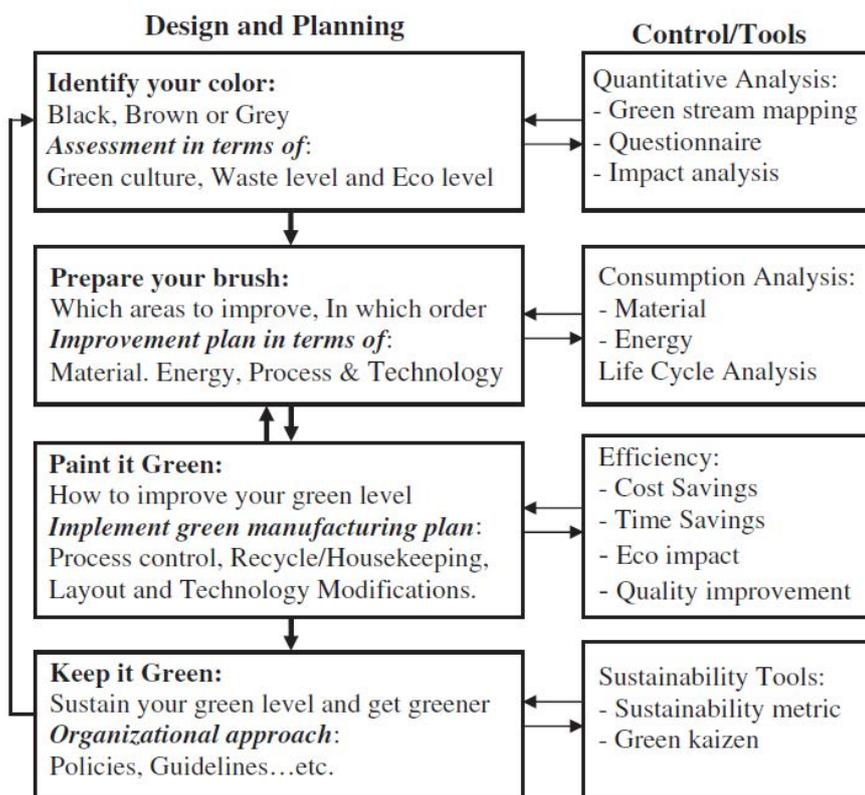


Figura 2.9 – Moduli e Fasi del modello di implementazione per il GM (Deif, 2011)

Le quattro fasi in cui si articola sono:

1. Identify your color (Valutazione delle performance): il processo di miglioramento parte con la valutazione dello stato attuale. L'obiettivo di questa fase è capire qual è il livello di eco-sostenibilità dell'azienda. In base quindi alla valutazione effettuata, e al benchmark con gli standard dello specifico settore, viene associato un colore per valutare il sistema. Ad ogni

²² Deif A.M., 2011, A system model for green manufacturing, *Journal of Cleaner Production*, vol. 19, pp. 1553-1559.

colore è attribuito un valore quantitativo/metrica che verrà utilizzato come target per il miglioramento

2. Prepare your brush (Pianificazione): in seguito alla valutazione deve essere proposto un piano di implementazione a tre livelli (macchina, processo, sistema) in cui verranno espone le decisioni riguardo al tipo e consumo di energia e materiali, le modifiche da apportare al processo e quali tecnologie sarà necessario implementare e/o migliorare
3. Paint it green (Implementazione): è necessario sviluppare una metodologia strutturata per l'implementazione, in modo tale da mantenere uno stato di equilibrio tra la configurazione corrente e quella futura, così da garantire una transizione graduale che non impatti negativamente sulla produttività. Durante l'implementazione dovrebbe essere effettuata una rivalutazione per capire se si sta andando nella direzione giusta
4. Keep it green (Monitoraggio e sostenibilità): una volta raggiunto il risultato bisogna continuare a monitorare la situazione e sostenere i miglioramenti effettuati

2.2.4 Legame tra Lean Manufacturing e Green Manufacturing

Da quello che abbiamo detto finora è evidente che esistono delle connessioni tra le pratiche Lean e quelle Green; semplicemente applicando i principi e gli strumenti del Lean Thinking, infatti, le aziende tendono ad avere migliori performance ambientali: “gli obiettivi Lean fanno da catalizzatori per implementare con successo le pratiche Green” (Dües et al., 2012²³). È stato rilevato inoltre che includendo pratiche Green, le aziende che hanno già implementato un sistema Lean riescono a raggiungere migliori risultati anche su questo versante. Questa connessione, quindi, può essere elevata ad un nuovo livello: implementando in maniera sinergica le due pratiche si ottiene un miglior beneficio rispetto ad un'implementazione disgiunta. In una sinergia, infatti, entrambe le parti sono influenzate in maniera positiva l'una dall'altra: si può dire quindi che, implementandole simultaneamente, queste due

²³ Dües C.M., Lim M., Tan K.H., 2013, Green as the new Lean: how to use Lean practices as a catalyst to greening your supply chain, *Journal of Cleaner Production*, vol. 40, pp. 93-100.

pratiche raggiungono il loro pieno potenziale. Passiamo ora a vedere in quali aree le pratiche Lean e Green si sovrappongono (overlap) e in quali, invece, no (vedi *Figura 2.10*).

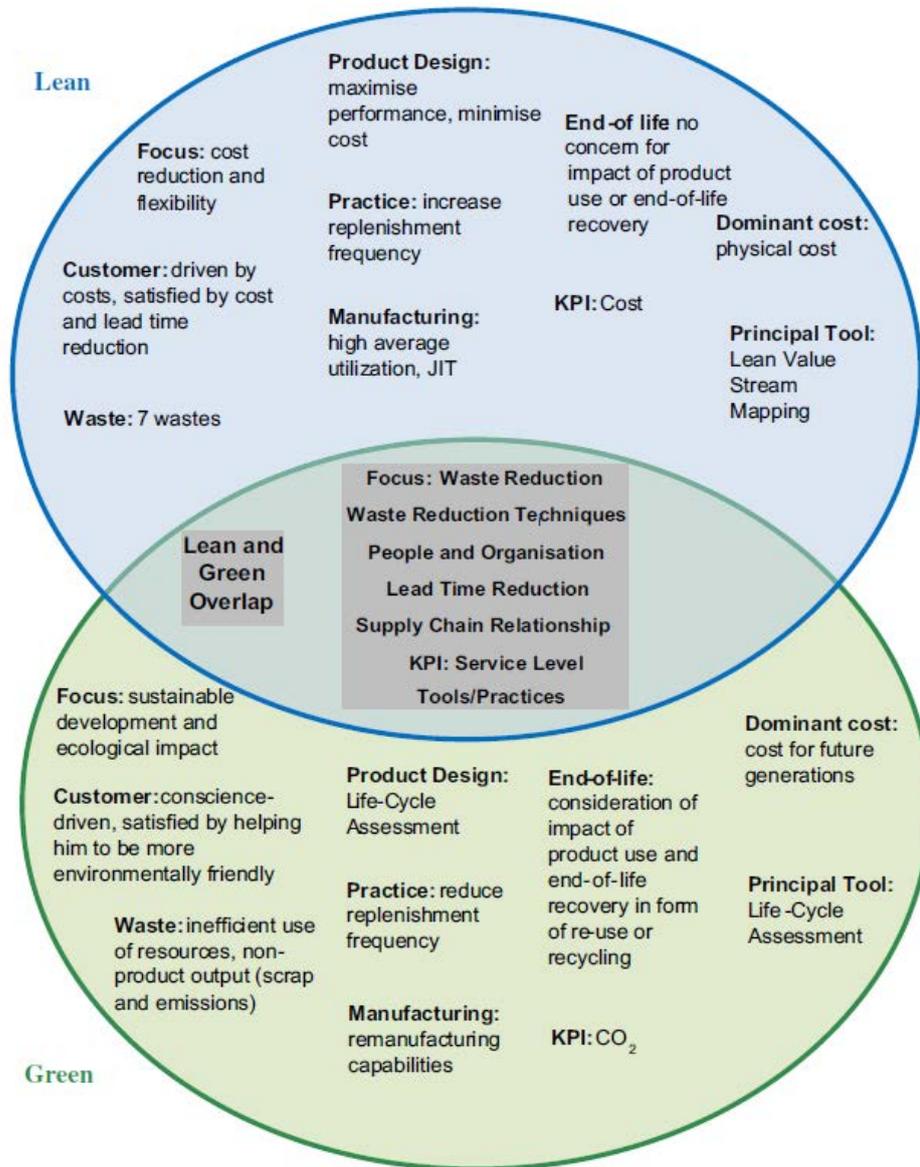


Figura 2.10 – Sovrapposizione dei paradigmi Lean e Green (Dües et al., 2012)

Per quanto riguarda i punti in comune sicuramente l'obiettivo dell'eliminazione degli sprechi è quello più facilmente intuibile. Se in Lean gli sprechi in produzione si riferiscono ad attività non a valore aggiunto, nel GM troviamo gli sprechi ambientali, rappresentati da un uso inefficiente delle risorse e dalla produzione di scarti di processo. Un'altra fonte di spreco è rappresentata dai magazzini in quanto

sono di fatto capitale trattenuto; in relazione alle pratiche Green costituiscono uno spreco in quanto necessitano di spazio e di energia per l'illuminazione, il riscaldamento o il raffreddamento. Per quanto riguarda i trasporti, andandoli a diminuire, si potranno ridurre costi ed emissioni, oltre che il consumo di energia e il LT di produzione/consegna.

Un altro importante punto in comune è rappresentato dall'importanza delle risorse umane: la comunicazione, la formazione di team di lavoro per affrontare i problemi e le possibili soluzioni e la guida di un leader sono fondamentali per l'implementazione sia delle pratiche Lean, sia di quelle Green

Per quanto riguarda le relazioni nella SC entrambi i paradigmi si fondano sulla stretta collaborazione tra i partner, questa permette infatti un miglior scambio di informazioni portando ad una riduzione del LT. Le pratiche Green permettono di ampliare lo spettro dei possibili benefici, andando a ridurre l'impatto ambientale sull'intero ciclo di vita del prodotto.

Il KPI che le due pratiche condividono è il livello di servizio. Introdurre pratiche Green, oltre a quelle Lean, permette di accrescere il valore percepito del prodotto, e consente inoltre ad un'azienda di distinguersi dai suoi competitor, raggiungere nuovi segmenti di clienti e introdursi quindi in nuovi mercati.

Lo strumento che le due pratiche condividono è la Sustainable Value Stream Map, una VSM tradizionale a cui saranno aggiunti indicatori di sostenibilità ambientale, economica e sociale. Tale strumento verrà trattato nel dettaglio nei capitoli 4 e 5.

Passiamo ora all'analisi di quali sono le differenze tra questi due paradigmi ed in quale modo si possa estendere il campo di sovrapposizione tra di essi. Per prima cosa il focus dei due paradigmi è diverso: se da una parte abbiamo la riduzione dei costi ed un incremento della flessibilità (Lean), dall'altra parte il focus è sullo sviluppo sostenibile e l'impatto ambientale. Nonostante il focus sia diverso l'implementazione di una pratica non va ad ostacolare quella dell'altra: ad esempio un miglior utilizzo delle risorse e la riduzione nell'utilizzo dei materiali, oltre a portare dei benefici a livello ambientale, porta anche ad una riduzione dei costi.

La seconda differenza sta nel tipo di cliente. Se infatti il cliente Lean è attento alla riduzione dei costi e del LT, il cliente Green è attento ai temi ecologici. Anche in

questo caso le due cose possono coesistere. Il cliente Lean non sarà influenzato negativamente, infatti, dall'integrazione di pratiche Green, che contribuiranno di fatto ad una maggiore riduzione dei costi; a sua volta il cliente Green non si lamenterà del minor costo del prodotto, purché sia il risultato di una produzione attenta ai problemi ambientali.

Per la progettazione del prodotto le pratiche Lean prevedono una massimizzazione delle performance ed una minimizzazione dei costi mentre quelle Green si basano sull'applicazione dell'LCA. Come già spiegato in precedenza l'LCA, assieme al DFE, possono andare a ridurre l'impatto ambientale del prodotto durante il suo ciclo di vita e questo sicuramente non avrà un impatto negativo sugli obiettivi di performance e costo.

Il maggior punto di conflitto tra le due filosofie produttive sta nella frequenza di rifornimento. Nel Lean Manufacturing, infatti, il Just-In-Time (JIT) richiede rifornimenti frequenti ed in piccole quantità, tuttavia questo è in forte contrasto con le pratiche Green, in quanto rifornimenti frequenti significa un aumento dei trasporti con conseguente aumento delle emissioni di CO₂. Una possibile soluzione per ovviare a questo problema è quella di adottare il metodo di consegna del "giro del latte", che prevede di consegnare la merce con un solo viaggio a più di un cliente (può essere applicato anche ai fornitori, andando a ritirare la merce da più fornitori per poi consegnarla ad un unico cliente) e di migliorare i percorsi di consegna. Se questo risulta possibile nel caso di SC non eccessivamente lunghe, contenute quindi in un'area limitata, le cose cambiano se la SC si estende su un'area molto vasta.

Per quanto riguarda il costo, infine, se in Lean è misurato in termini monetari, per le pratiche Green risulta difficile esprimere il costo per le generazioni future in termini economici: è necessario, quindi, stabilire delle normative e degli standard che aiutino a tradurre questo costo in termini finanziari, permettendo quindi il confronto tra le aziende.

2.3 La Produzione Sostenibile

Il Dipartimento di Commercio degli Stati Uniti definisce la produzione sostenibile come “la creazione di prodotti attraverso processi produttivi che minimizzano l’impatto ambientale, conservano l’energia e le risorse naturali, sono sicuri per i dipendenti, le comunità ed i clienti, e sono economicamente sani” (Badurdeen e Huang, 2018²⁴). Questa definizione non è completa in quanto parlare di sostenibilità significa parlare non solo di processi produttivi, ma anche di prodotti e di sistema: per promuovere la sostenibilità in produzione, quindi, è richiesta una visione olistica che non sia limitata al prodotto e ai processi produttivi ma al sistema, la cui portata va dalla linea produttiva, all’impianto, all’azienda e, infine, alla supply chain (Badurdeen e Huang, 2018).

Dalla definizione di produzione sostenibile è chiaro che questa filosofia produttiva trovi nelle tre dimensioni della sostenibilità (ambientale, economica e sociale) uno dei suoi pilastri fondamentali. Spostando ora il focus sul prodotto, come già detto nel corso del capitolo, questo deve essere pensato considerando l’impatto sull’intero ciclo di vita (comprendente le fasi di pre-produzione, produzione, utilizzo e post-utilizzo) ed eventualmente cicli di vita multipli, per garantire un flusso di materiali perpetuo, in accordo con i principi dell’economia circolare e del GM. Se il GM si fonda sulla metodologia 3R, alle fondamenta della produzione sostenibile troviamo un’estensione di questo approccio, ovvero la metodologia 6R, basata su sei azioni che vengono riportate di seguito (Bradley e Jawahir, 2016²⁵):

1. **Ridurre:** si fa riferimento alla riduzione nell’utilizzo delle risorse nella fase di pre-produzione, il ridotto utilizzo di energia, materiali ed altre risorse in produzione e, infine, la riduzione delle emissioni e dei rifiuti nella fase di utilizzo
2. **Riutilizzare:** riferito al riutilizzo del prodotto nel suo insieme o nelle sue componenti, dopo il primo ciclo di vita, per successivi cicli, in modo tale da

²⁴ Badurdeen F., Huang A., 2018, Metrics-based approach to evaluate sustainable manufacturing performance at the production line and plant levels, *Journal of Cleaner Production*, vol. 192, pp. 462-476.

²⁵ Bradley R., Jawahir I.S., 2016, Technological Elements of Circular Economy and the Principles of 6R-Based Closed-loop Material Flow in Sustainable Manufacturing, *Procedia CIRP*, vol. 40, pp. 103-108.

ridurre l'utilizzo di materiali vergini per produrre nuovi prodotti e/o componenti

3. Riciclare: si intende la conversione in nuovi materiali o prodotti
4. Recuperare: fase di recupero dei prodotti (dopo la fase di utilizzo), disassemblaggio, smistamento e pulizia per l'utilizzo in cicli di vita successivi
5. Riprogettare: attività che consiste nella riprogettazione del prodotto per la generazione successiva, che dovrebbe utilizzare componenti, materiali, e risorse recuperate da prodotti vecchi
6. Rilavorare: riprocessare prodotti già usati per riportarli al loro stato originale, o come nuovi, attraverso il riutilizzo di più parti possibili senza perdite di funzionalità

In *Figura 2.11* viene riportata la sequenza di applicazione della metodologia 6R in funzione del ciclo di vita del prodotto: vengono mostrati diversi punti decisionali e le opzioni per cicli ad anello chiuso multipli.

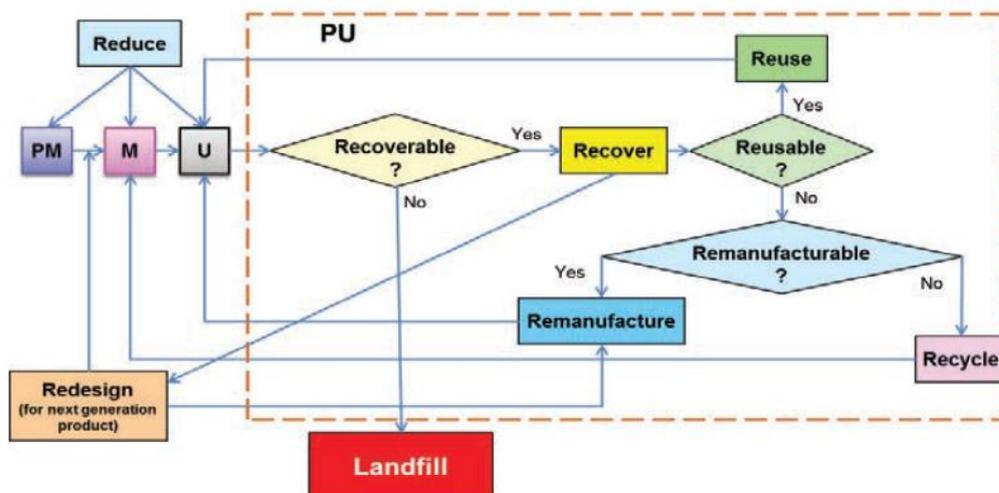


Figura 2.11 – Applicazione della metodologia 6R (Bradley e Jawahir, 2016)

Da quanto detto finora, quindi, è chiaro che se l'enfasi sulle tre dimensioni della sostenibilità è uno dei pilastri fondamentali della produzione sostenibile, gli altri due pilastri risultano essere la metodologia 6R ed il focus sull'intero ciclo di vita dei prodotti.

Finora abbiamo parlato di quali sono i principi sui quali si fonda la produzione sostenibile, bisogna ora capire come misurare le performance di sostenibilità del

sistema. Le metriche di prodotto (Product Sustainability Index, o ProdSI) e le metriche di processo (Process Sustainability Index, o ProcSI), che verranno approfondite nel Capitolo 4 e nella parte conclusiva dell'elaborato, saranno proprio le due colonne portanti su cui sviluppare gli indicatori di sostenibilità relativi al sistema. In *Figura 2.12* viene riportata la “sustainability performance measurement house” (Badurdeen e Huang, 2018) che riassume e chiarisce quanto detto finora. Troviamo infatti alla base il concetto di produzione sostenibile con i tre pilastri principali, nel mezzo, invece, è presente il framework di misurazione e valutazione delle performance di sostenibilità. Il centro della casa rappresenta l'insieme degli stakeholder, ovvero “individui o gruppi di persone che hanno un interesse legittimo nei confronti dell'impresa e delle sue attività, passate, presenti e future, e il cui contributo (volontario o involontario) è essenziale al suo successo” (<https://www.glossariomarketing.it>²⁶). Le attività dell'azienda, inoltre, potranno avere un impatto positivo o negativo sugli stakeholder stessi. Le metriche di prodotto e di processo, quindi, dovranno essere sviluppate prendendo in considerazione tutti gli aspetti legati alla produzione sostenibile e contribuiranno alla definizione delle metriche di sistema, rappresentate dal tetto di questa casa.

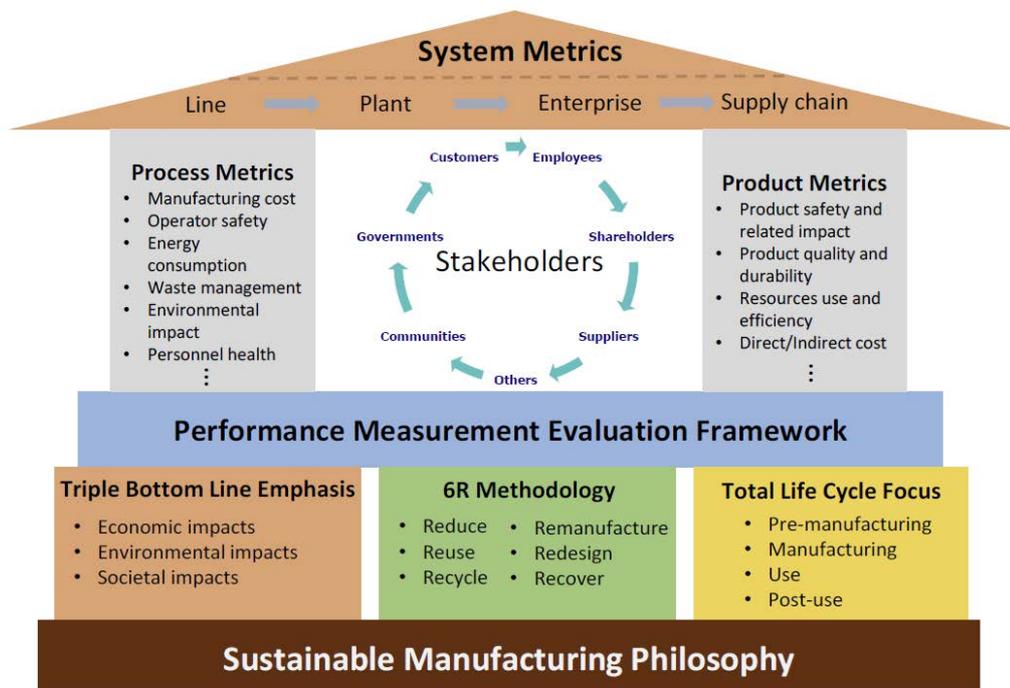


Figura 2.12 – Sustainability performance measurement house (Badurdeen e Huang, 2018)

²⁶ <https://www.glossariomarketing.it/significato/stakeholder/>

Capitolo 3

La Value Stream Map Tradizionale

Questo capitolo ha lo scopo di presentare la metodologia classica della Value Stream Map (VSM), basata su tre principi del Lean thinking (ovvero il secondo, il terzo ed il quarto). Partendo dalla definizione di value stream e dalle caratteristiche principali della VSM, si vedrà quali sono i passi necessari per costruire la current-state map e quali azioni saranno necessarie per rendere il flusso di valore “snello”, per poi passare alla stesura della future-state map e infine vedere in che modo implementare i cambiamenti per raggiungere il future-state precedentemente disegnato.

3.1 Le Caratteristiche di una Value Stream Map

La VSM è uno strumento visivo, utilizzato per mappare il flusso di valore, identificando uno stato corrente e ipotizzando uno stato futuro, o ideale, per il quale verrà proposto un piano di implementazione. Prima di continuare è bene chiarire il concetto di “value stream”, o “flusso di valore”: con questo termine si intende “l’insieme di tutte le azioni, sia a valore aggiunto che non a valore aggiunto,

necessarie a creare valore nel prodotto/servizio offerto al cliente” (Rother e Shook, 1999²⁷). Lavorare in logica di value stream significa operare sull’insieme, non sui singoli processi, per cui si deve cercare di migliorare l’intero sistema, e non le sue singole parti. È importante capire in quali contesti è possibile applicare la VSM. Per quanto riguarda i flussi, è bene distinguere tra:

- Flusso produttivo: dalla materia prima al cliente finale
- Flusso progettuale: dall’idea al lancio sul mercato di un prodotto

In ambito produttivo possiamo trovare tre flussi: il flusso del materiale, quello delle informazioni e quello delle persone. In questo capitolo la VSM verrà applicata ad un impianto produttivo ed i flussi in essa mappati saranno quello del materiale e quello delle informazioni. La VSM si può applicare tuttavia non solo a livello di impianto produttivo ma a tre livelli, ovvero:

- Processo singolo
- Impianto produttivo
- Supply chain

È importante sottolineare come la VSM non si applichi a tutti i prodotti ma piuttosto ad una famiglia, definita come un “gruppo di prodotti che passa attraverso step produttivi simili e attraverso attrezzature comuni nei processi a valle” (Rother e Shook, 1999). Tra gli approcci per valutare su quale famiglia di prodotti applicare la VSM ci sono:

- La PQ Analysis: basata sull’ipotesi che i primi processi da analizzare sono quelli che riguardano le famiglie con volumi maggiori di produzione
- La PR Analysis: in questo caso le famiglie vengono identificate analizzando le similitudini nei processi produttivi mediante la costruzione di una matrice prodotti-processi

Poiché il primo metodo non risulta essere sempre corretto, si preferisce utilizzare la PR Analysis. Attraverso degli algoritmi di clusterizzazione, che utilizzano in input

²⁷ Rother M., Shook J., 1999, *Learning to See: Value Stream Mapping to Create Value and Eliminate Muda*, Lean Enterprise Institute, Cambridge.

la matrice prodotti–processi, è possibile verificare se si può ottenere una matrice perfettamente diagonalizzata a blocchi (cosa che non si verificherà mai). I blocchi ottenuti evidenzieranno sulle righe un insieme di prodotti, le famiglie, e sulle colonne un sottoinsieme dei processi. Si può quindi pensare ad una riconfigurazione del layout interno dell’azienda, passando magari da un layout per reparti ad uno a celle. Un esempio di matrice già diagonalizzata è riportato in *Figura 3.1*.

		Assembly Steps and 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 3.1 – Matrice prodotti-processi (Rother e Shook, 1999)

Spesso l’incarico di stendere la value stream map viene assegnato ad un responsabile di processo della catena produttiva, tuttavia questo è un approccio sbagliato in quanto molto probabilmente i responsabili di processo spenderanno maggiori risorse per migliorare l’efficienza del proprio processo piuttosto che per migliorare l’efficienza dell’intero sistema. È corretto quindi assegnare la responsabilità di tale incarico ad un value stream manager, il cui interesse sia rivolto non ad un solo processo, ma alla value stream di una famiglia di prodotti.

Essendo uno strumento visivo la VSM fa uso di una serie di icone codificate, riportate in *Figura 3.2* (<http://my.liuc.it²⁸>). Riassumendo, quindi, la VSM risulta uno strumento essenziale in quanto:

- Aiuta a visualizzare l'intero impianto produttivo, non solo i singoli processi, ed i flussi che avvengono al suo interno
- Aiuta non solo a vedere quali sono gli sprechi ma anche capire qual è la loro origine
- Rappresenta un linguaggio comune per parlare di processi produttivi
- Unisce diversi strumenti e tecniche Lean
- Forma la base per un piano di implementazione
- Mostra il legame tra il flusso di informazioni e quello di materiale
- È uno strumento qualitativo che descrive nel dettaglio come l'impianto dovrebbe operare per creare un flusso continuo

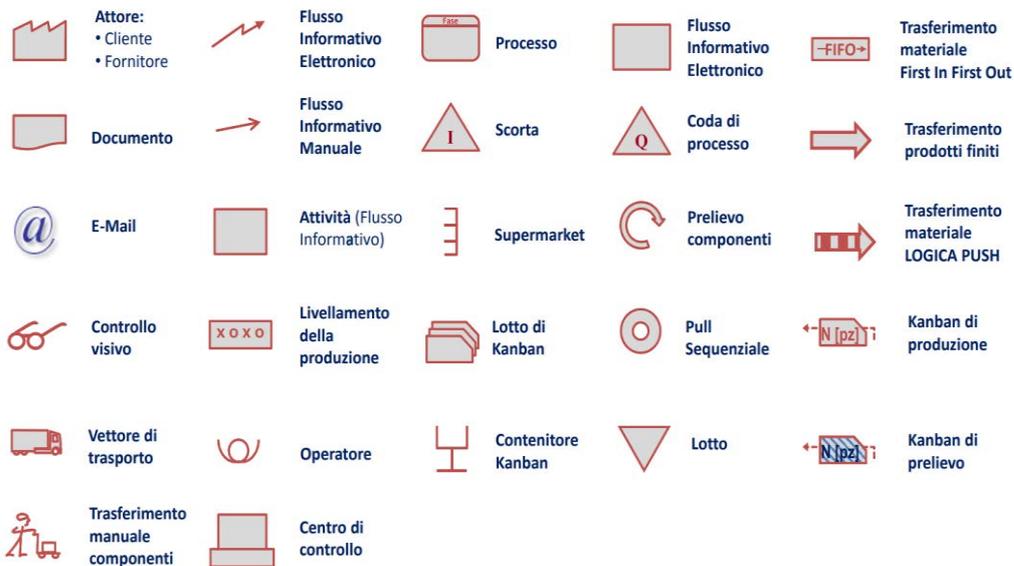


Figura 3.2 – Icone della VSM

²⁸ <http://my.liuc.it/MatSup/2014/N90301/Secondo%20giorno.pdf>

3.2 La Current-State Map

Come già detto nel paragrafo precedente la stesura della VSM è affidata al value stream manager, il quale può seguire le seguenti regole generali:

- Raccogliere le informazioni per la current-state map mentre si attraversa il flusso dei materiali e quello delle informazioni
- Iniziare con una breve camminata nello stabilimento produttivo per avere un'idea su quale sia il flusso e la sequenza dei processi
- Partire dal processo più a valle per poi risalire a monte
- Raccogliere personalmente i tempi con un cronometro
- Mappare l'intera value stream da solo
- Mappare sempre con carta e penna

Detto questo il punto di partenza per la costruzione della current-state map è capire quali sono i requisiti del cliente.

Il cliente sarà rappresentato con l'icona di una fabbrica, posta in alto a destra nella mappa, sotto la quale sarà disegnato un data box. I tipici dati contenuti in un data box sono:

- Tempo ciclo (C/T)
- Tempo di attrezzaggio (C/O)
- Uptime: percentuale di tempo in cui la macchina è stata ininterrottamente accesa e correttamente funzionante
- EPEX: misura la dimensione del lotto di produzione
- Numero di operatori
- Numero di varianti di prodotto
- Dimensione confezione
- Tempo di lavoro (senza le fermate)
- Tasso di scarto

Nell'esempio di *Figura 3.3* vengono riportati i fabbisogni mensili, la dimensione della confezione e i turni lavorativi.

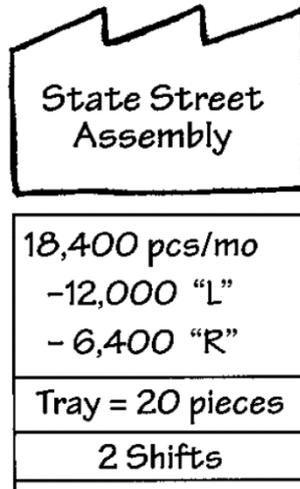


Figura 3.3 – Icona che rappresenta il cliente con relativo data box (Rother e Shook, 1999)

Il passo successivo è quello di mappare i processi produttivi, rappresentati con un process box, il quale indica un'area in cui il materiale scorre idealmente in un flusso continuo. Il flusso di materiali è rappresentato nella parte inferiore della mappa e nell'ordine in cui avvengono i processi di trasformazione, non secondo il layout fisico dello stabilimento. Sotto ogni process box ci sarà un data box come nell'esempio riportato in *Figura 3.4*.

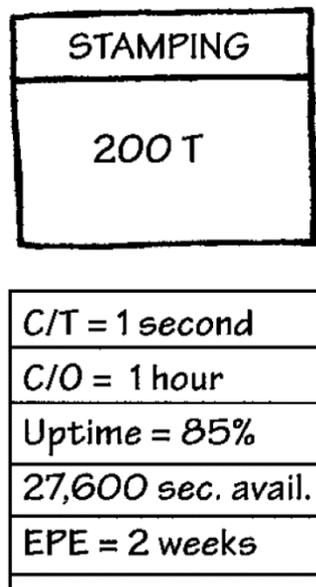


Figura 3.4 – Process box con relativo data box (Rother e Shook, 1999)

Nello stabilimento produttivo ci saranno dei punti in cui si accumulano giacenze, e dove quindi il flusso di materiale si ferma. Per rappresentare questi punti viene utilizzato un “triangolo di segnalazione”, che indicherà dove si trovano tali accumuli e la loro quantità (un esempio è riportato nella *Figura 3.5*).

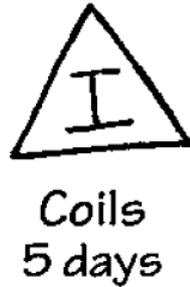


Figura 3.5 – Triangolo di segnalazione (Rother e Shook, 1999)

Per rappresentare i trasporti, incluse la frequenza con i quali avvengono e la quantità trasportata, si utilizza l'icona di un camion e una freccia larga (vedi *Figura 3.6*). Si utilizza la stessa simbologia sia per indicare il trasporto della materia prima dal fornitore allo stabilimento produttivo, sia per indicare il trasporto del prodotto finito al cliente.

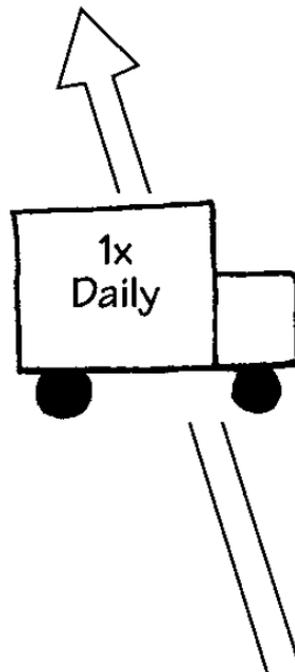


Figura 3.6 – Trasporto esterno (Rother e Shook, 1999)

L'icona utilizzata per rappresentare il fornitore è sempre una fabbrica, e verrà posizionata in alto a sinistra nella mappa.

Passiamo ora alla mappatura del secondo flusso rappresentato nella VSM, quello relativo alle informazioni. Si utilizza una freccia stretta (*Figura 3.7 a sinistra*) per indicare il flusso di informazioni; se il flusso è elettronico viene utilizzata invece una freccia a forma di saetta (*Figura 3.7 a destra*). Le frecce sono accompagnate da un piccolo box che riporta quale informazione viene trasmessa.



Figura 3.7 – Freccie utilizzate per indicare il flusso di informazioni (Rother e Shook, 1999)

Il sistema di pianificazione e controllo della produzione è rappresentato in alto al centro con un process box.

Per quanto riguarda il flusso dei materiali tra i processi, tipicamente si tratta di un flusso di tipo push, il che significa che “un processo produce qualcosa senza considerare il reale bisogno del cliente a valle, spingendo il suo prodotto avanti” (Rother e Shook, 1999). Questo tipo di movimentazione è il risultato di una schedulazione che prevede le necessità del processo successivo, tuttavia è un approccio sbagliato poiché in questo modo ogni processo opera come un’isola a sé stante, lavorando ad un ritmo ottimale dal suo punto di vista ma non in ottica di value stream, producendo parti che non servono subito al cliente a valle e che quindi si accumuleranno, provocando un aumento del lead time di produzione. Per indicare questa tipologia di movimentazione viene utilizzata una freccia a strisce come in *Figura 3.8*.



Figura 3.8 – Movimentazione push (Rother e Shook, 1999)

Poiché in alcuni casi si tende a confondere un sistema che lavora in logica push con un sistema che lavora in logica pull è meglio fare un po' di chiarezza. Per essere qualificato come pull, le parti devono essere prodotte e movimentate solamente in presenza di kanban (che sarà spiegato nel dettaglio nel paragrafo successivo), e nelle quantità in esso riportate. Se la produzione di ogni processo, quindi, viene schedulata dal sistema di pianificazione e controllo, in realtà non si può parlare di sistema pull, in quanto le quantità da produrre saranno basate su una previsione, e non sul reale bisogno dei processi più a valle.

A completare la current-state map è la timeline. Si tratta di una linea che si trova nella parte inferiore della mappa e serve a calcolare il lead time di produzione (LT_{prod}). Il LT per le giacenze viene calcolato come segue:

$$LT_{giacenze} = \frac{\text{quantità a magazzino}}{\text{domanda giornaliera del cliente}}$$

Sommando i lead time di ogni processo e quelli di ogni giacenza si ottiene il LT_{prod} . Se sommiamo ora solo il tempo a valore aggiunto (VA time) di ogni processo e confrontiamo questo numero con il LT_{prod} , il risultato potrebbe risultare scioccante. Nella pagina successiva viene riportato un esempio di current-state map completa (*Figura 3.9*), nella quale il VA time è di solo 188 secondi mentre il LT_{prod} è di ben 23.6 giorni, il che significa che esistono molte possibilità di miglioramento.

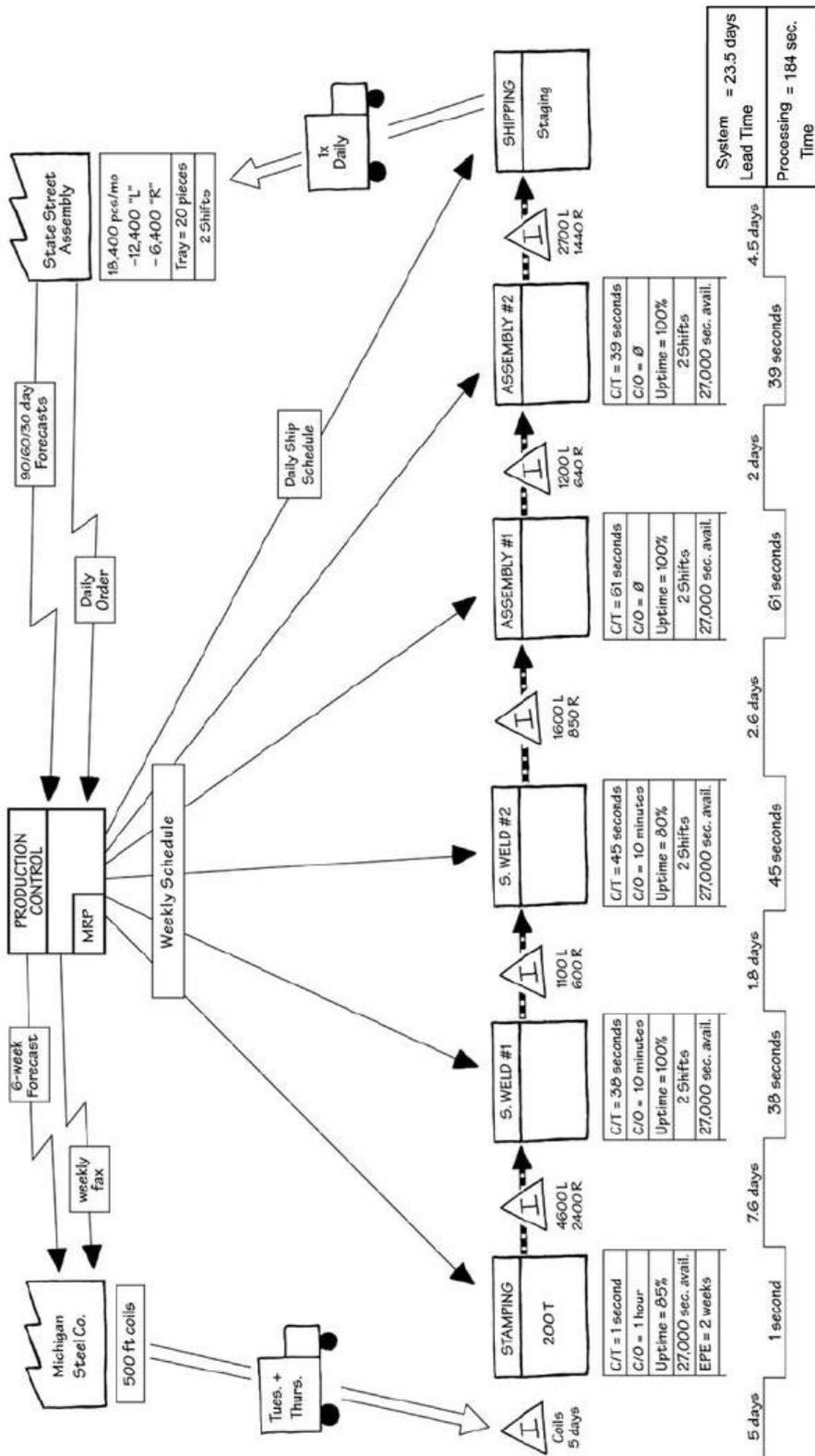


Figura 3.9 – Esempio di current-state map (Rother e Shook, 1999)

3.3 La Future-State Map

Come già detto precedentemente, tra gli obiettivi della produzione snella ci sono quello di produrre esattamente ciò che necessitano i processi a valle e quello di legare questi processi in un flusso continuo che garantisca il più breve LT possibile. Ma quali interventi sono necessari per raggiungere questi obiettivi?

Il primo possibile intervento è quello di produrre al proprio takt time. Il takt time, ricordiamolo, altro non è che il rapporto tra il tempo lavorativo disponibile al giorno e la domanda giornaliera del cliente. Lavorare al takt time significa sincronizzare il ritmo della produzione con quello delle vendite, ed è un numero che aiuta a capire come si sta operando e cosa serve per migliorare. Produrre al takt time potrebbe risultare semplice, tuttavia richiede degli sforzi per:

- Fornire una rapida risposta ai problemi
- Eliminare le cause di fermi macchina non previsti
- Eliminare i tempi di attrezzaggio

Nella future-state map il takt time viene riportato nei data box.

Il passo successivo è cercare di introdurre il flusso continuo dove possibile, facendo questo si potranno unire due o più processi in un'unica cella. L'icona utilizzata per rappresentare il flusso continuo è un semplice process box. Nella future-state map ogni process box rappresenterà quindi un'area di flusso. In alcuni casi, si preferisce limitare l'uso di un puro flusso continuo in quanto connettendo i processi si andranno ad incorporare anche i loro lead time e i fermi macchina. Si può pensare quindi di usare una combinazione di flusso continuo e sistema pull. Quando l'affidabilità dei processi migliora, e i tempi di attrezzaggio tendono a zero allora si può estendere il range di applicazione del flusso continuo.

Ci sono perciò dei punti nella value stream nei quali il flusso continuo è impraticabile e risulta necessario lavorare con lotti di produzione. Le ragioni possono essere le seguenti:

- Alcuni processi sono progettati per lavorare ad un ritmo elevato, con tempi ciclo molto brevi e hanno bisogno di attrezzaggi in quanto servono diverse famiglie di prodotti
- Il fornitore può trovarsi lontano e quindi la spedizione di un solo pezzo risulta insensata
- Alcuni processi hanno dei lead time troppo lunghi o sono troppo inaffidabili per poter essere accorpati direttamente con altri processi in un flusso continuo

Per controllare la produzione di questi processi si può utilizzare un sistema pull basato sul supermarket (SUMA) il cui schema di funzionamento è riportato nella *Figura 3.10*.

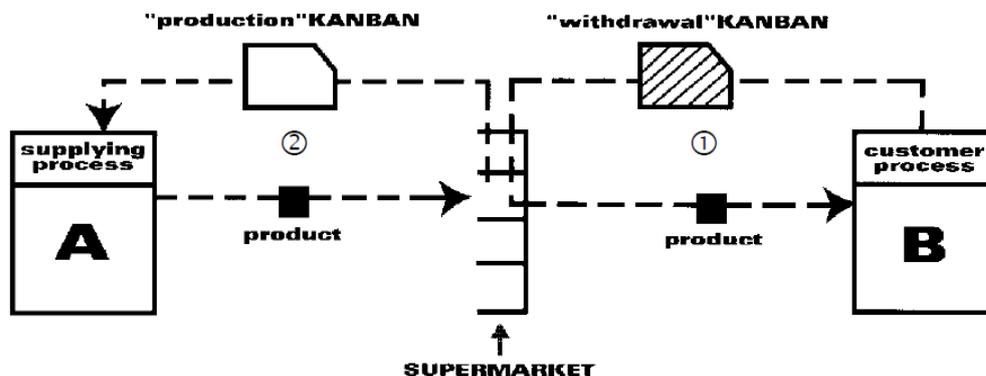


Figura 3.10 – Sistema pull supermarket (Rother e Shook, 1999)

Lo scopo di introdurre un sistema pull tra due processi è quello di dare al processo a monte (processo A in figura) precise istruzioni su ciò che deve produrre e in quali quantità, senza il bisogno né di schedulare tale processo né di fare delle previsioni sulla domanda del processo a valle (processo B in figura). Il SUMA è posizionato il più vicino possibile al processo a monte in quanto, oltre a servire da unica istruzione su ciò che deve produrre, in questo modo il processo A ha una buona visibilità sui reali bisogni del processo B. Il funzionamento è molto semplice: i pezzi prodotti sono raccolti in dei contenitori, che una volta prelevati dal SUMA avranno un kanban di prelievo attaccato; quando l'operatore del processo a valle comincia a prelevare pezzi da un nuovo contenitore, il suo kanban di prelievo sarà dato all'addetto alle movimentazioni il quale si dirigerà verso il SUMA per prelevare un

nuovo contenitore, al quale attaccherà il kanban di prelievo. Un kanban di produzione è attaccato ad ogni contenitore contenuto nel SUMA, e ogni volta che ne viene prelevato uno il suo kanban di produzione verrà inviato al processo A; questo darà l'istruzione di produrre un certo numero di parti, di metterle in un contenitore per poi portarlo in una specifica area del supermarket. Al supermarket sono associate una serie di icone riportate in *Figura 3.11*.

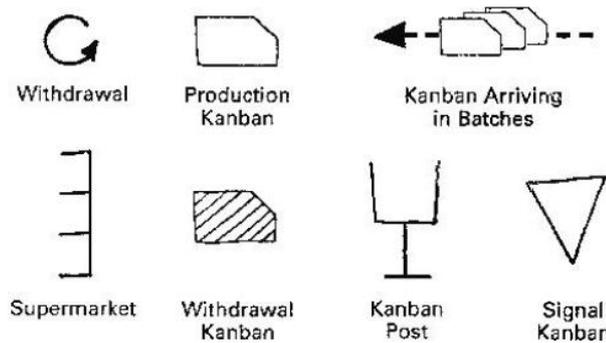


Figura 3.11 – Icone associate al supermarket (Rother e Shook, 1999)

In alternativa al SUMA, che in alcune situazioni non è applicabile, si possono utilizzare due alternative:

- La corsia FIFO: è una corsia che può contenere solo un certo numero di pezzi; se la linea si riempie allora il fornitore deve smettere di produrre finché il cliente non preleverà dei nuovi pezzi (vedi *Figura 3.12*)

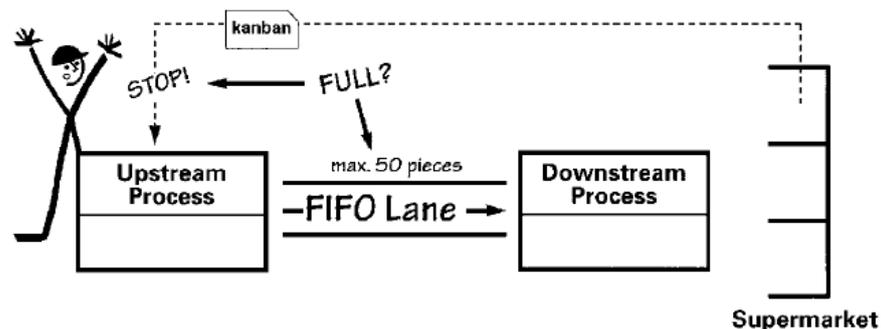


Figura 3.12 – Corsia FIFO (Rother e Shook, 1999)

- Il “pull sequenziato”: il fornitore produce una determinata quantità su ordine del cliente. Questo funziona solo se il LT del fornitore è abbastanza

basso da permettere una produzione su ordine e se il cliente segue rigide regole sugli ordini

Abbiamo visto come l'introduzione di un sistema pull permetta di eliminare la schedulazione del processo che si trova a monte del SUMA, tuttavia ci sarà il bisogno di andare a schedulare un singolo punto della value stream il quale detterà il ritmo dei processi a monte e questo punto è il cosiddetto processo "pacemaker". Il flusso di materiale dal processo pacemaker fino al prodotto finito deve avvenire in un flusso continuo quindi, solitamente, il pacemaker è il processo più a valle che opera con un flusso continuo (vedi *Figura 3.13*). Nella future-state map il pacemaker è il processo produttivo controllato dagli ordini del cliente esterno.

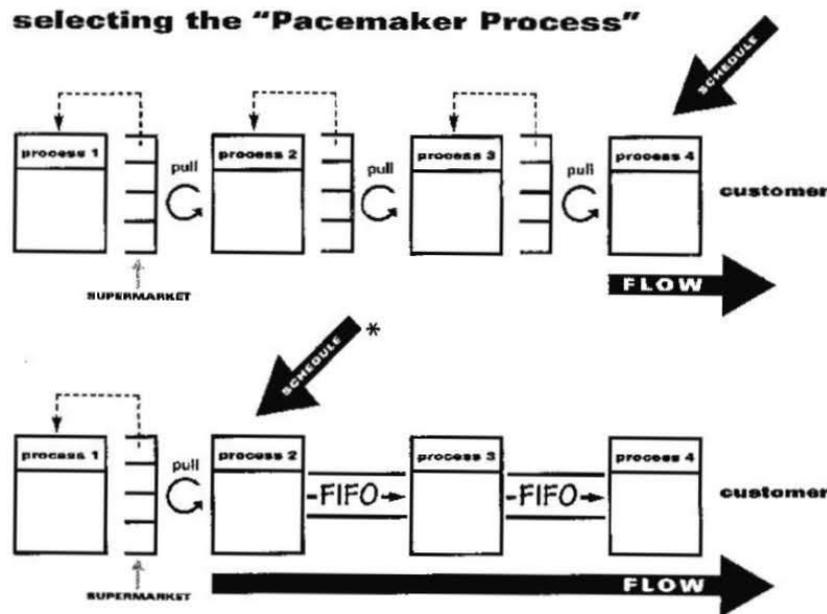


Figura 3.13 – Selezione del processo pacemaker (Rother e Shook, 1999)

Un'altra importante questione riguarda il livellamento del mix produttivo. Molte aziende tendono a produrre lotti molto grandi dello stesso prodotto per evitare gli attrezzaggi ma questo crea un serie di problemi in ottica di value stream. La produzione in grandi lotti, infatti, non rispecchia le reali richieste del cliente, perciò si avranno delle giacenze elevate e dei lead time più lunghi per l'evasione di un ordine. Poiché le parti saranno consumate in lotti ci sarà un rigonfiamento dei

magazzini inter-operazionali ed inoltre, muovendosi verso quelli più a monte, per effetto Forrester, le giacenze saranno ancora più elevate a causa della variabilità della domanda. Livellare il mix produttivo significa perciò distribuire la produzione di prodotti diversi su un certo periodo di tempo. Più si riesce a livellare il mix di produzione più si sarà in grado di rispondere alle richieste dei clienti con un lead time più breve e riducendo le giacenze di prodotti finiti. Tutto questo avviene non senza incontrare delle difficoltà: introdurre il livellamento del mix, infatti, richiede attrezzaggi più veloci e più frequenti, il grande vantaggio sarà però l'eliminazione di una grande quantità di sprechi lungo la value stream. Il simbolo utilizzato per indicare il livellamento è riportato in *Figura 3.14* e verrà inserito in una freccia del flusso di informazioni (l'icona è la stessa anche per il livellamento del volume produttivo che vedremo più avanti in quanto un prerequisito del Lean Manufacturing è che sia il mix, sia i volumi, siano livellati).



Figura 3.14 – Load leveling box (Rother e Shook, 1999)

Le dimensioni elevate dei lotti portano una serie di problemi:

- Non c'è il senso di takt time e di sistema pull
- Il carico di lavoro non è uniforme nel tempo, perciò si avranno dei massimi e dei minimi che graveranno su macchinari, persone e SUMA
- La situazione diventa difficile da monitorare
- C'è il rischio di mescolare gli ordini
- Rispondere ai cambiamenti nelle richieste dei clienti sarà difficile

Bisogna perciò stabilire un ritmo di produzione che permetta di riconoscere i problemi e di prendere delle misure correttive tempestivamente. Un buon punto di partenza è quello di rilasciare una piccola quantità di lavoro al processo pacemaker e simultaneamente prelevare la stessa quantità (si tratta di un “prelievo ritmato”, vedi *Figura 3.15* a pagina seguente). Poiché il cliente non ordina pezzi singoli, ma

lotti, si introduce il concetto di “Pitch”, cioè il tempo necessario a produrre il lotto minimo, definito come:

$$\text{Pitch} = \text{Takt Time} \times \text{Dimensione Lotto}$$

In altre parole, se il pitch è pari, ad esempio, a dieci minuti significa che ogni dieci minuti si dovrà:

- Dare al processo pacemaker l’istruzione di produrre la quantità del lotto minimo
- Prelevare un lotto

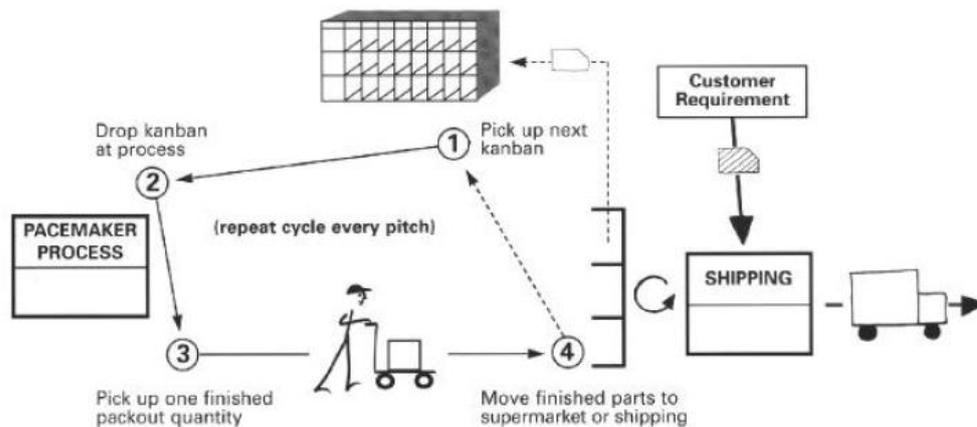


Figura 3.15 – Prelievo ritmato (Rother e Shook, 1999)

Uno strumento utile a livellare il mix produttivo ed il volume di produzione è il “box heijunka” (vedi Figura 3.16 a pagina seguente). Questo box ha una colonna per ogni intervallo di pitch e una riga per ogni tipologia di prodotto e all’interno ci sono degli slot per i kanban. Il kanban, in questo sistema, oltre a indicare la quantità da produrre indica anche quanto tempo ci vuole per produrla. Sarà l’addetto alla movimentazione del materiale a prelevare i kanban dal box heijunka e a portarli al processo pacemaker.

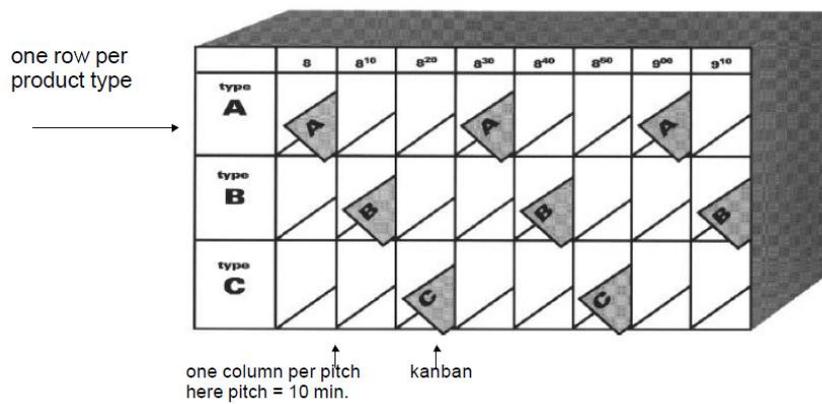


Figura 3.16 – Box heijunka (Rother e Shook, 1999)

Con l'acronimo EPEX (every part every x) dove la x può rappresentare una settimana, un giorno, un turno, un'ora o un pitch, si intende la frequenza con la quale cambia un processo per produrre tutte le varianti di prodotto. Attraverso tutti gli interventi visti in precedenza e altri progetti kaizen futuri, questa frequenza può aumentare considerevolmente, migliorando l'abilità di rispondere più reattivamente ai cambiamenti della domanda dei processi a valle e riducendo il livello delle giacenze nei SUMA.

Nella Figura 3.17 a pagina seguente viene riportato un esempio di future-state map relativa ai possibili miglioramenti rispetto alla current-state di Figura 3.9 a pag. 50. I principali interventi migliorativi sono stati l'introduzione di un flusso continuo per quanto riguarda i processi di saldatura e assemblaggio, che ora si trovano in un'unica cella, l'introduzione di due SUMA e la generale semplificazione del flusso di informazioni per quanto riguarda la pianificazione della produzione, interventi che hanno comportato una drastica riduzione del lead time (da 23,6 giorni si passa 4,5 giorni).

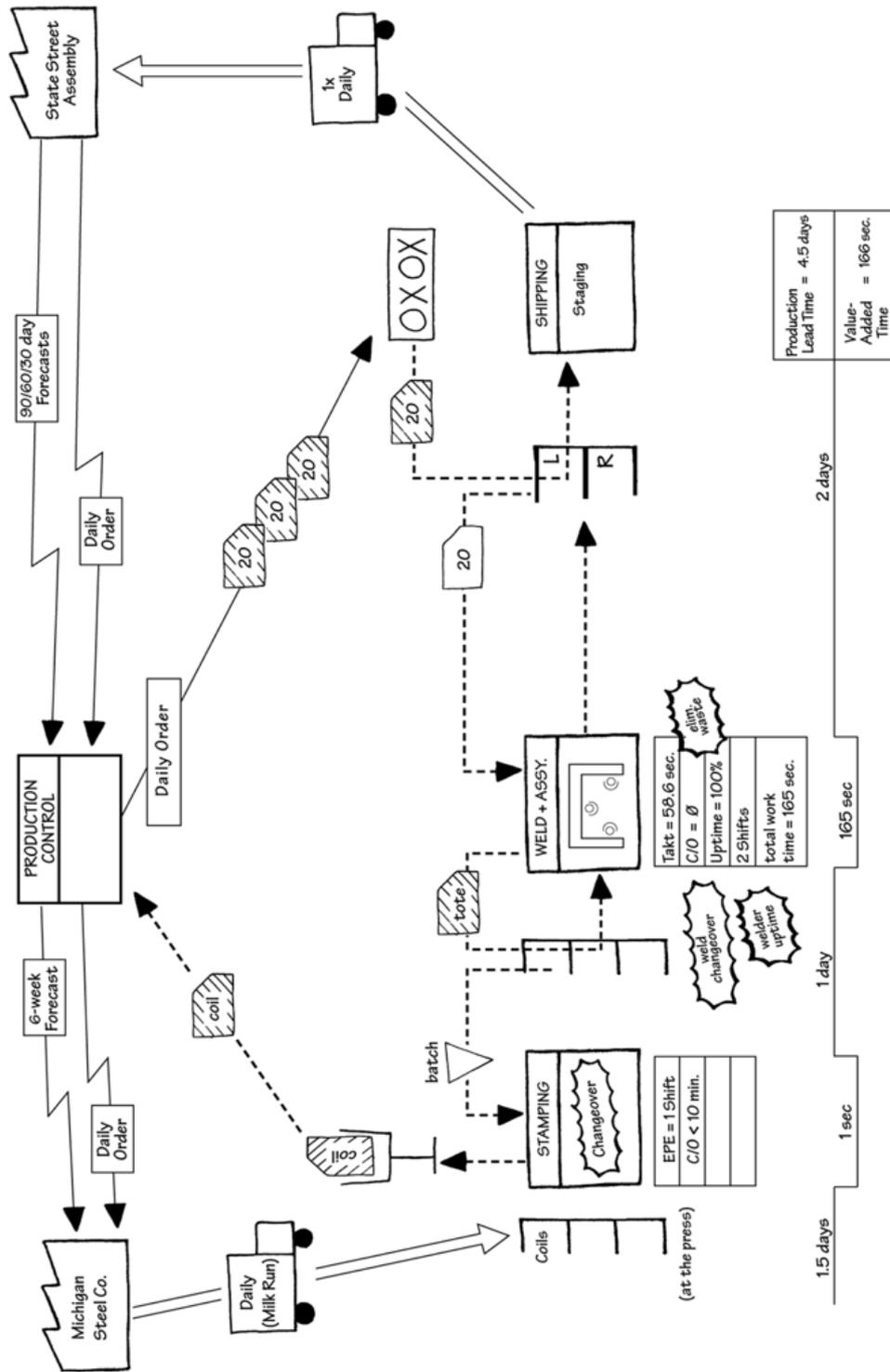


Figura 3.17 – Esempio di future-state map (Rothen e Shook, 1999)

Nella mappa si possono osservare anche delle icone come quelle riportate nella *Figura 3.18* che rappresentano dei possibili miglioramenti da implementare in futuro.



Figura 3.18 – Kaizen burst (Rother e Shook, 1999)

3.4 La Realizzazione del Future-State

Nel paragrafo precedente abbiamo visto una serie di interventi per rendere snella la value stream, ora c'è da chiedersi in quale modo poterli implementare affinché si possa realizzare il future-state che abbiamo disegnato; senza implementazione, infatti, la VSM risulterebbe uno strumento inutile. Si può pensare di suddividere l'implementazione in piccoli passi, in quanto nella maggior parte dei casi risulta impossibile implementare subito il future-state. La logica, quindi, è quella di suddividere la future-state map in segmenti, o loops. Si possono distinguere:

- Il loop del processo pacemaker: questo loop contiene il flusso di materiali e di informazioni tra il cliente e il processo pacemaker. È il loop più a valle della mappa e la gestione dello stesso va ad impattare sui processi più a monte della value stream
- Loops addizionali: sono quelli che si trovano tra i sistemi pull a monte del processo pacemaker

I loop appena descritti verranno evidenziati nella future state map (Figura 3.19).

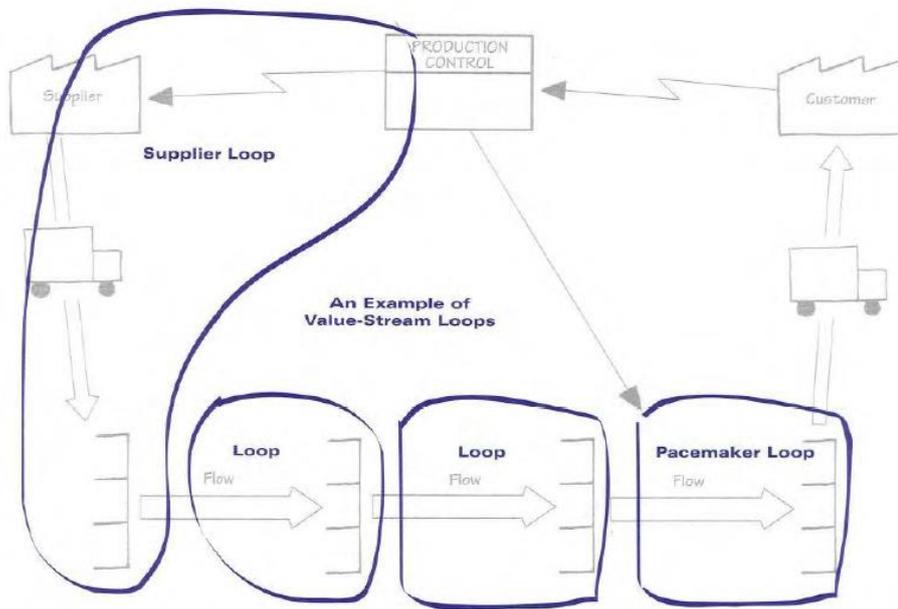


Figura 3.19 – Loops cerchiati nella future-state map (Rother e Shook, 1999)

Bisogna ora capire quale sarà il punto di partenza per l'implementazione. Per sceglierlo dobbiamo guardare ai loop per i quali:

- Il processo è ben compreso dagli operatori
- La probabilità di successo dell'implementazione risulta elevata
- Posso ottenere il miglior risultato con il minimo sforzo

Si andranno perciò a numerare i loop precedentemente evidenziati nella future-state map nell'ordine in cui si vuole intervenire. Una buona strategia potrebbe essere quella di iniziare l'implementazione dal processo pacemaker, per poi procedere con gli interventi sui processi più a monte, strategia che non preclude comunque la possibilità di intervenire simultaneamente su più di un loop.

Una volta che si ha in mente in quale ordine si vogliono implementare i miglioramenti della future-state map il value stream manager dovrà inserirli nel piano annuale, mostrato in Figura 3.20 a pag. 62. In questo piano viene riportato:

- Ciò che è stato pianificato di fare e in quale momento

- Obiettivi misurabili
- Checkpoints con reali scadenze

Solitamente il piano annuale è accompagnato da una valutazione delle performance (value-stream review, esempio in *Figura 3.21* a pag. 63). In questo foglio il value-stream manager indicherà con dei simboli se gli obiettivi prefissati sono stati raggiunti totalmente, solo parzialmente o se non sono stati raggiunti affatto (i simboli sono rispettivamente cerchio, triangolo e x). La chiave per un'efficace revisione dei progressi è quella di gestire le eccezioni, il che significa non focalizzarsi sugli obiettivi già raggiunti ma su quelli non ancora raggiunti e quelli che lo sono parzialmente.

Capitolo 4

Sustainable Value Stream Mapping

Questo capitolo ha come scopo quello di presentare la Sustainable Value Stream Mapping (Sus-VSM), metodologia Lean che unisce la VSM tradizionale ai concetti legati alla produzione sostenibile. Il capitolo è suddiviso in due parti: la prima, dedicata ad una revisione della letteratura, mostra il contributo di vari autori allo sviluppo di questa metodologia, la seconda, invece, è dedicata allo studio di Badurdeen e Faulkner del 2014, il quale rappresenta, per molti aspetti, un punto di riferimento per gli studiosi di questo argomento.

4.1 Revisione della Letteratura

In questa prima parte, come appena detto, andremo a fare una rassegna della letteratura, per vedere quali studi hanno contribuito allo sviluppo della Sus-VSM. Tutti gli studi verranno presentati in ordine cronologico e per ognuno di essi verrà esposta una breve analisi personale sulle caratteristiche ed i limiti.

4.1.1 Valutazione di uno Scenario Ipotetico con la Sustainable Value Stream Map (SVSM)

Mason e Simon sono i primi autori ad introdurre il concetto di Sustainable Value Stream Mapping (SVSM). La metodologia fu utilizzata per valutare l'impatto ambientale lungo un'ipotetica Supply Chain (SC), con l'obiettivo primario di massimizzare due metriche in parallelo (Mason e Simon, 2002²⁹):

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

$$\text{Sustainability \%} = \frac{\text{Supply Chain CO}_2}{\text{Weight of Product}}$$

L'intento degli autori era quello di creare una mappatura olistica della SC, prendendo perciò in considerazione l'interazione tra il paradigma Lean ed il sovra-sistema rappresentato dall'ambiente e dalle sue risorse. Vista l'importanza ricoperta dalle risorse ambientali, gli autori propongono una metrica climatica complementare, ovvero la percentuale di CO₂ a valore aggiunto (Value Added CO₂ percentage) che va ad aumentare l'impatto olistico della mappatura. Il processo di costruzione della SVSM è molto simile a quello seguito per la costruzione della VSM tradizionale. Anche in questo caso vengono classificate le attività come a valore aggiunto (VA), necessarie ma non a valore aggiunto (NNVA), e non a valore aggiunto (NVA). I cinque passi per la sua realizzazione sono:

1. Identificazione di tutti i processi (dalla produzione fino al consumo)
2. Identificazione delle attività di trasporto tra le aziende della SC: le emissioni di CO₂ dipenderanno dal carico del veicolo e dal veicolo stesso
3. Identificazione del flusso di informazioni innescato quando un cliente effettua la domanda, dal punto di vendita fino alle materie prime

²⁹ Mason R., Simons D., 2002, Environmental and transport supply chain evaluation with Sustainable Value Stream Mapping, *7th Logistics Research Network Conference*, Birmingham, Regno Unito.

4. Per ogni processo quantificazione del tempo e della quantità di CO₂ a valore aggiunto (VA Time, VA CO₂); per ogni trasporto quantificazione del tempo e della quantità di CO₂ necessari ma non a valore aggiunto (NNVA Time, NNVA CO₂)
5. Somma del tempo totale (Lead Time) e del consumo di CO₂

Nella SVSM saranno quindi presenti dei plant box, la cui funzione è la stessa dei process box ma sono riferiti alle aziende che compongono la SC, e non ai singoli processi produttivi. In ogni plant box viene riportato il LT di produzione (indicato con “Time” all’interno del plant box) e la relativa percentuale a valore aggiunto (VA %). Per ogni unità prodotta viene indicata la quantità di CO₂ emessa, e la VA %, connessa alle attività di trasformazione fisica del prodotto; il resto è considerato spreco (stoccaggio, illuminazione, etc.). Sotto i plant box viene riportato il tempo a valore aggiunto in ore, calcolato tramite il prodotto del LT di produzione e la VA %, e la quantità di CO₂ a valore aggiunto, calcolata tramite il prodotto della quantità di CO₂ emessa e la VA %. Per quanto riguarda le attività di trasporto vengono riportati in un data box, oltre al tempo e alla distanza percorsa, la “2 Way %” che rappresenta l’abilità di caricare merci per il viaggio di ritorno (una percentuale del 50% indica un ritorno a vuoto), le emissioni di CO₂, dipendenti dal tipo di veicolo, ed espresse in [g/km], il numero di unità trasportate e, infine, il rapporto tra emissioni di CO₂ e unità trasportate, calcolato come segue:

$$\text{CO}_2/\text{Unit} = \frac{\text{Emissioni di CO}_2 \times \text{Distanza Percorsa}}{\text{Numero di unità trasportate} \times 2 \text{ Way } \%}$$

Nella *Figura 4.1*, riportata a pagina seguente, viene raffigurato il current-state della SVSM presentata da Mason e Simon. Nelle due tabelle in grigio, in basso, vengono riportati i dati aggregati per il tempo e le emissioni di CO₂. Le due metriche introdotte all’inizio vengono quindi utilizzate per calcolare il tempo a valore aggiunto all’interno della SC, come rapporto tra il tempo totale (416 h) ed il tempo a valore aggiunto (22,2 h), e la percentuale di sostenibilità, ottenuta tramite il rapporto tra le emissioni totali di CO₂ (142 + 26,5 + 395 = 564 g) ed il peso unitario del prodotto (500g). I valori assunti dalle due metriche sono pari al 5,6%, per quanto riguarda il tempo a valore aggiunto, e 112% per la percentuale di sostenibilità.

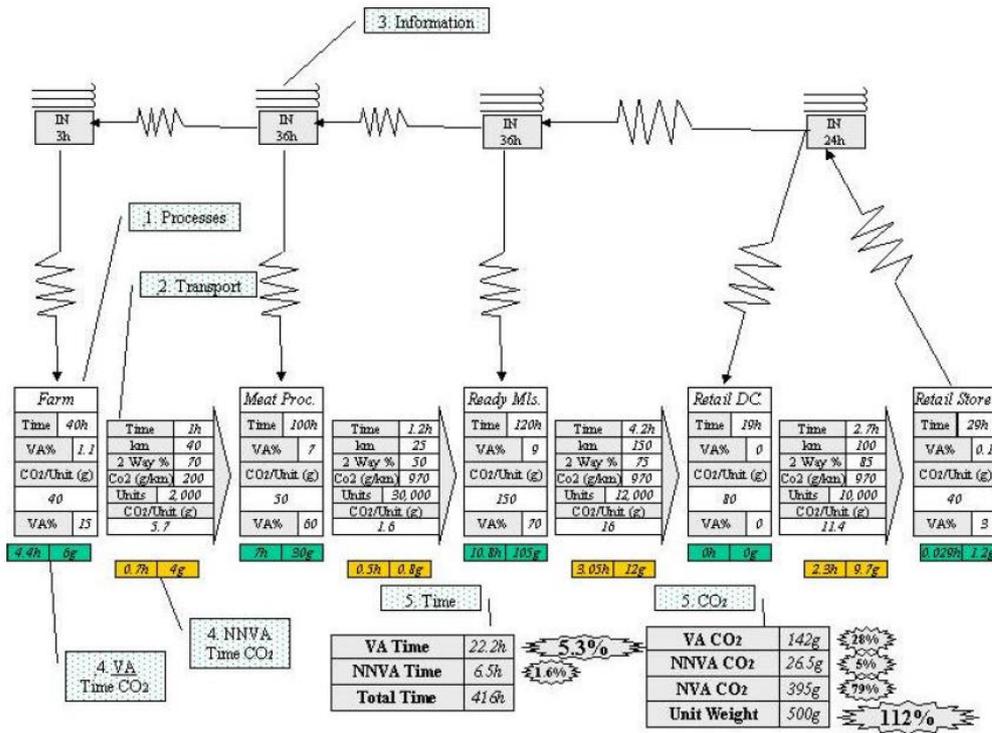


Figura 4.1 – Current-state della SVSM (Mason e Simon, 2002)

Mason e Simon sono i primi ad includere concetti legati alla sostenibilità all'interno della VSM, tuttavia questa versione primordiale di Sustainable Value Stream Mapping presenta grossi limiti: nonostante si faccia riferimento alla sostenibilità anche nel nome della metodologia, infatti, per quanto riguarda le metriche ambientali vengono prese in considerazione solamente le emissioni di CO₂ e mancano del tutto degli indicatori relativi alla sostenibilità sociale ed economica.

4.1.2 US EPA Toolkit

Qualche anno più tardi rispetto al lavoro di Mason e Simon, la United States Environmental Protection Agency (US EPA) propose due toolkit con lo scopo di integrare i paradigmi Lean e Green nella VSM. Il primo di questi toolkit è il “Lean and Environmental Toolkit”. Lo scopo del toolkit è quello di sviluppare una strategia e delle tecniche per migliorare i risultati Lean e allo stesso tempo raggiungere gli obiettivi di performance ambientali. All'interno del toolkit viene

introdotto il concetto di spreco ambientale, definito come “ogni uso non necessario di risorse o sostanze che vengono rilasciate nell’aria, nell’acqua o sulla terra e che possono danneggiare la salute umana o l’ambiente” (US EPA, 2007a³⁰).

Tra gli sprechi ambientali troviamo:

- Energia, acqua o materie prime consumate in eccesso
- Inquinanti e rifiuti materiali rilasciati nell’ambiente
- Sostanze pericolose che possono danneggiare la salute dell’uomo o l’ambiente durante il loro utilizzo

L’US EPA individua una serie di metriche, da integrare a quelle Lean, per poter riconoscere e misurare gli sprechi ambientali. Le metriche vengono riportate nella *Figura 4.2*.

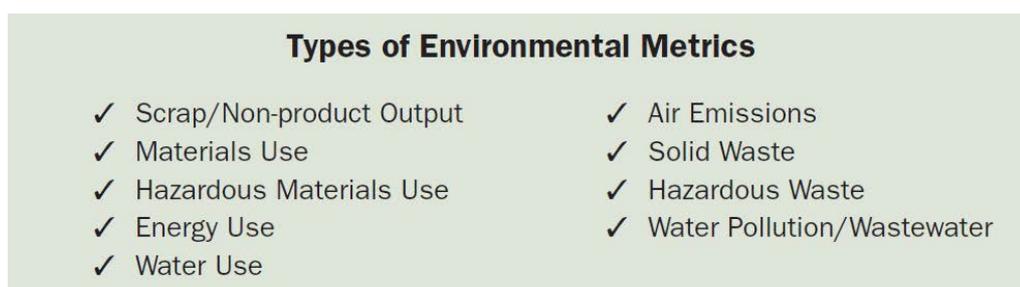


Figura 4.2 – Le metriche ambientali (US EPA, 2007a)

Nel toolkit vengono presentate delle linee guida per capire come integrare gli aspetti legati alla sostenibilità ambientale all’interno della VSM, ovvero:

- Utilizzo di un’icona per identificare i processi con opportunità di miglioramento EHS (Environmental, Health and Security)
- Raccolta dei dati relativi alle performance ambientali
- Analisi del consumo di materiale attraverso la “material line”: misura per ogni processo l’ammontare di materia prima utilizzata e la quantità di materiale aggiunto (vedi *Figura 4.3* a pagina seguente)
- Si può espandere l’utilizzo della VSM per valutare altri flussi di risorse naturali

³⁰ US EPA, 2007a, *The Lean and Environment Toolkit*, United States Environmental Protection Agency.

- Stesura della future-state map e individuazione delle opportunità di miglioramento

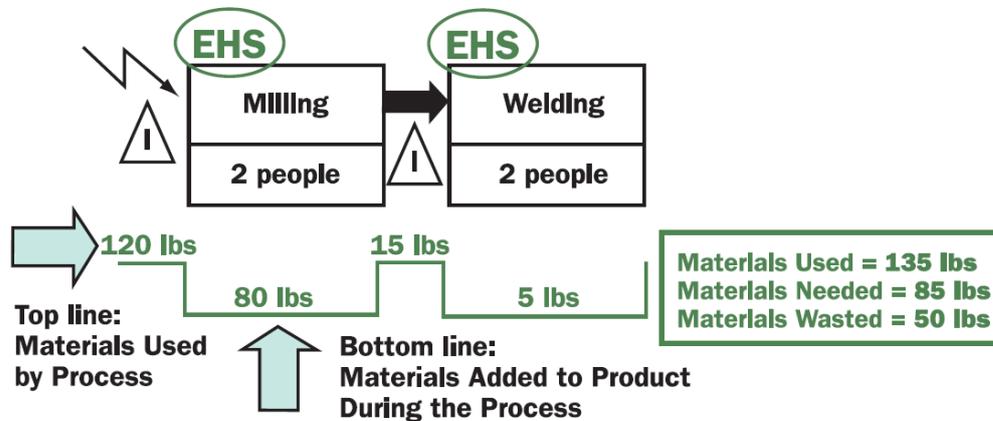


Figura 4.3 – Esempio di utilizzo della material line e dell'icona EHS (US EPA, 2007a)

In Figura 4.3 l'icona EHS inserita è utilizzata solo a titolo esemplificativo; per quanto riguarda l'utilizzo di materiale, invece, vediamo che il materiale consumato dai due processi è pari a 135 libbre ($120 + 15$), ma il materiale necessario, e quindi a valore aggiunto per il prodotto, è pari a 85 libbre ($80 + 5$). Abbiamo quindi uno spreco di materiale pari a 50 libbre ($135 - 85$).

Questo primo studio, centrato sugli sprechi ambientali e la loro riduzione, venne ampliato nello stesso anno attraverso un secondo toolkit, ovvero il “Lean and Energy Toolkit”, incentrato sull'ottimizzazione del consumo di energia. Nello studio viene esplicitato come la combinazione di tecniche Lean ed una corretta gestione dell'energia possano migliorare, oltre alle performance finanziarie delle aziende, la qualità dell'ambiente. Lo scopo, perciò, è quello di gestire al meglio l'energia, identificando tutte le possibili opportunità di miglioramento, tra le quali (US EPA, 2007b³¹):

- Il miglioramento dell'efficienza energetica delle attrezzature
- Passaggio a carburanti meno inquinanti
- Progettazione di nuovi stabilimenti con una gestione più smart dell'energia
- Incremento dell'efficienza energetica della flotta di veicoli

³¹ US EPA, 2007b, *The Lean and Energy Toolkit*, United States Environmental Protection Agency.

- Progettazione di prodotti che consumino meno energia

Il consumo energetico, nella VSM, viene riportato all'interno dei data box (Figura 4.4) ed è misurato in kWh su peso in output, espresso in libbre (“pound” in inglese).

Milling
2 people
C/T= 2 min C/O = 2 hr Uptime = 74% Energy/pound output = 1 kWh

Figura 4.4 – Data box contenente il dato sul consumo energetico (US EPA, 2007b)

Una volta mappato il consumo di energia sarà necessario individuare delle opportunità per ridurlo: per fare ciò è bene domandarsi se un determinato utilizzo è veramente necessario, ed in caso affermativo, se è possibile fornirlo in modo più efficiente.

I due toolkit presentati dall'US EPA si focalizzano sull'identificazione e l'utilizzo degli indicatori di performance ambientali all'interno della VSM tradizionale. I toolkit presentano alcuni limiti: nonostante le numerose metriche ambientali individuate dall'EPA, la loro rappresentazione nella VSM è limitata ad una soltanto. Nello studio mancano inoltre indicatori sulla sostenibilità sociale ed economica.

4.1.3 Environmental Value Stream Mapping (E-VSM)

Gati e Torres, nel 2009, decidono di applicare il modello presentato dall'US EPA nel primo toolkit, ad un caso studio in cui venne analizzato il consumo d'acqua di un impianto di produzione di zucchero ed alcol. La metodologia per mappare il consumo d'acqua è basata su un particolare metodo di ricerca, ovvero la “action-

research”, con la quale “si intende un modo di concepire la ricerca che si pone l’obiettivo non tanto di approfondire determinate conoscenze teoriche, ma di analizzare una pratica relativa ad un campo di esperienza da parte di un attore sociale con lo scopo di introdurre, nella pratica stessa, dei cambiamenti migliorativi” (<https://it.wikipedia.org>³²). Lo studio è stato suddiviso in quattro fasi (Gati e Torres, 2009³³):

1. Fase esplorativa: diagnosi dei processi produttivi e analisi degli indicatori ambientali
2. Pianificazione: interviste ai manager e supervisor dell’area produttiva usando questionari semi-strutturati che hanno portato alla costruzione della VSM per una successiva valutazione, identificando i punti di forza e di debolezza
3. Azione: decidere gli obiettivi per il miglioramento dei processi e implementazione dei cambiamenti. Viene creata la future-state
4. Valutazione: fase di verifica dei risultati ottenuti nella fase precedente e delle conseguenze sul breve/medio termine, dalla quale trarre delle lezioni utili per la continuazione dell’esperienza e per le applicazioni future

L’icona utilizzata per mappare il consumo d’acqua (*Figura 4.5*) è del tutto simile alla material line presentata nel toolkit dell’US EPA; in questo caso vengono riportate le quantità di acqua attivata, utilizzata e aggregata.

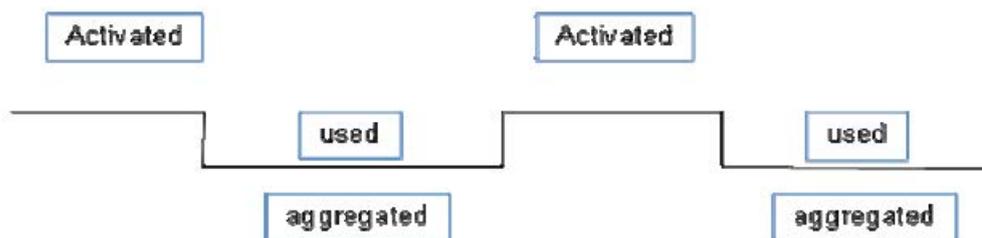


Figura 4.5 – Icona utilizzata per il consumo d’acqua (Gati e Torres, 2009)

³² https://it.wikipedia.org/wiki/Ricerca_-_azione

³³ Gati A., Torres A., 2009, Environmental value stream mapping (EVSM) as sustainability management tool, *Proceedings of Portland International Center for Management of Engineering and Technology Conference*, Portland, Oregon.

L'acqua attivata è composta in parte da acqua utilizzata, ovvero quella necessaria alla produzione per poter operare, ed in parte dalle perdite di processo. In particolare, per la realizzazione del prodotto, parte dell'acqua utilizzata verrà aggregata al prodotto stesso, mentre una quantità, definita “perdita latente”, data dalla differenza tra acqua utilizzata ed acqua aggregata, se non trattata in modo adeguato, potrà diventare parzialmente o totalmente una “perdita reale”. Per quanto riguarda le perdite di processo troviamo la “perdita funzionale latente/reale”, dovuta all'attivazione dell'acqua per il processo, che subirà il trattamento, e che potrà costituire una vera e propria perdita se, dopo il trattamento, non andrà più bene per il processo. L'altro tipo di perdita è quella “intrinseca funzionale”, dovuta a perdite, evaporazione, trasferimento e viene calcolata come la differenza tra la quantità di acqua attivata e la somma tra acqua utilizzata e perdita latente funzionale. In *Figura 4.6* viene riportato uno schema delle perdite.

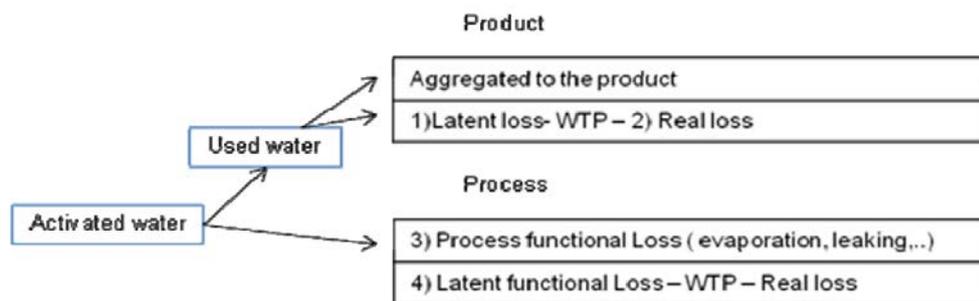


Figura 4.6 – Schema delle perdite (Gati e Torres, 2009)

Gati e Torres si rifanno al primo toolkit dell'US EPA, utilizzando l'Environmental Value Stream Mapping (E-VSM) in un caso studio dimostrandone perciò l'applicabilità. I limiti di tale metodologia sono i medesimi di quella presentata dall'US EPA.

4.1.4 Sustainable Value Chain Map (SVCM)

Fearne e Norton, nel 2009, prendono spunto dalla SVSM proposta da Mason e Simons, che come abbiamo già visto si focalizzava sulle emissioni di CO₂ lungo la SC, e la estendono per includere altri indicatori di performance ambientale (Environmental Performance Indicators, EPI), creando la Sustainable Value Chain Map (SVCM). La metodologia viene applicata ad un caso studio dove vennero analizzati gli sprechi nella fornitura e imballaggio di un prodotto alimentare. Gli autori hanno categorizzato gli EPI in (Fearne e Norton, 2009³⁴):

- Indicatori di base: utilizzabili come punto di partenza da ogni azienda; comprendono i rifiuti solidi, le emissioni di CO₂ e i rifiuti liquidi
- Altri indicatori: specifici in base al tipo di azienda

Entrando più nel dettaglio sugli indicatori di base, per quanto riguarda i rifiuti solidi questi vengono selezionati in modo specifico per il caso studio, e vengono classificati in:

- Rifiuti alimentari
- Rifiuti di imballaggi biodegradabili
- Rifiuti di imballaggi in plastica
- Rifiuti metallici

Le emissioni di CO₂ vengono suddivise in base alla loro sorgente. Troviamo perciò:

- Le emissioni derivanti dai processi produttivi
- Le emissioni derivanti dallo stoccaggio
- Le emissioni derivanti dal trasporto e dalla distribuzione

Infine, per quanto riguarda i rifiuti liquidi, troviamo:

- Consumo di acqua
- La domanda chimica/biochimica di Ossigeno (Biochemical/Chemical Oxygen Demand, BOD/COD). Il BOD è un parametro usato per

³⁴ Fearne A., Norton A., 2009, Sustainable value stream mapping in the food industry, *Handbook of Waste Management and Co-product Recovery in Food Processing*, Woodhead Publishing, Cambridge.

“stimare il carico inquinante delle acque reflue” (<https://it.wikipedia.org>³⁵), il COD, invece, misura la “concentrazione di sostanze organiche e inorganiche chimicamente ossidabili presenti in un’acqua, sia naturale, sia industriale o di scarico” (<https://online.scuola.zanichelli.it>³⁶)

L’obiettivo della metodologia era quello di minimizzare lo scarto di cibo lungo la SC, espresso come:

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

La *Figura 4.7*, riportata nella pagina successiva, mostra la current-state map costruita dai due autori. Nella mappa vengono riportate le quantità annuali e le tipologie di sprechi di ogni attività, espresse in kg: sono visibili gli sprechi relativi al prodotto (ovvero il pomodoro), agli imballaggi in cartone (paper waste), quelli in polietilene tereftalato (PET waste) e quelli in polipropilene (PP waste). I dati relativi alle emissioni di CO₂ e al consumo d’acqua non furono registrati all’interno della SVCM.

Nel loro studio Fearne e Norton estendono il lavoro di Mason e Simon del 2002 introducendo nuove metriche, selezionate in modo specifico per il caso studio. Per quanto questo studio risulti più completo rispetto a quello di Mason e Simon dal punto di vista degli indicatori sulla sostenibilità ambientale, non vengono ancora introdotti indicatori sulla sostenibilità sociale ed economica e mancano inoltre una vera e propria rappresentazione visiva delle metriche (che vengono semplicemente riportate all’interno dei data box), oltre che ad un metodo per la misurazione degli EPI; mancano inoltre totalmente nella mappa i dati sulle emissioni di CO₂ e sul consumo d’acqua.

³⁵ https://it.wikipedia.org/wiki/Domanda_biochimica_di_ossigeno

³⁶ <https://online.scuola.zanichelli.it/cozzianalitica/files/2012/05/Testo-chimica-di-ossigeno.pdf>

4.1.5 Sustainable Manufacturing Mapping (SMM)

Un anno più tardi rispetto allo studio precedentemente esposto, Heikkilä et al. presentano la Sustainable Manufacturing Mapping (SMM), metodologia basata sull'utilizzo congiunto di tre strumenti (Heikkilä et al., 2010³⁷):

- Value Stream Map (VSM)
- Life Cycle Assessment (LCA)
- Discrete Event Simulation (DES)

L'LCA e la VSM sono già stati spiegati nei capitoli precedenti. Il DES non è altro che un software dedicato alla modellazione di una sequenza di operazioni che permette un'analisi dinamica, cosa che l'LCA e la VSM non possono fare in quanto basate su dati medi. Nella *Tabella 4.1*, a pagina seguente, vengono riportati i tre strumenti e le loro caratteristiche a confronto.

La metodologia per la costruzione della SMM segue tre passi. Il primo riguarda la definizione degli obiettivi: questi devono essere il più accurati possibile, includere le tempistiche e devono essere espressi in termini monetari. Il secondo passo è la scelta degli indicatori giusti (nella *Tabella 4.2* a pagina seguente vengono riportati una serie di indicatori scelti dagli autori); in questa fase è inclusa anche la scelta dell'unità di misura: tutti i dati presentati nella mappa, infatti, devono essere riportati con l'unità di riferimento. Ogni processo deve avere un numero limitato di indicatori, che verranno riportati con delle icone sulla mappa, ed ogni processo avrà inoltre indicatori diversi. Il terzo e ultimo step consiste nell'acquisizione dei dati.

³⁷ Heikkilä A., Heilala J., Hentula M., Johansson B., Leong S., Lyons K., Paju M., 2010, Framework and indicators for a sustainable manufacturing mapping methodology, *Proceedings of the 2010 Winter Simulations Conference*, Baltimora, Maryland.

Tabella 4.1 – VSM, LCA e DES a confronto (Heikkilä et al., 2010)

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

Tabella 4.2 – Indicatori sostenibili (Heikkilä et al., 2010)

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

Nel loro studio Heikkilä et al. rivoluzionano le metodologie di mappatura, finora statiche, introducendo l'utilizzo di un software per l'analisi delle dinamiche del sistema. Le metriche proposte sono complete, comprendendo indicatori di sostenibilità ambientale, sociale ed economica; ciò che manca in questo lavoro, tuttavia, è una rappresentazione visiva delle metriche all'interno della VSM.

4.1.6 Energy & Environmental Value Stream Mapping (EE-VSM)

Chen e Kuriger, nel 2010, propongono la Energy and Environmental VSM (EE-VSM), molto simile a quella proposta dall'US EPA nel 2007, con l'obiettivo di ridurre degli sprechi in modo efficiente in termini di risparmio energetico e impatto ambientale (Chen e Kuriger, 2010³⁸). Gli autori introducono icone specifiche per rappresentare l'utilizzo energetico e la pericolosità dei materiali nei processi produttivi, in modo tale da consentire facilmente la valutazione della loro influenza sulle prestazioni di funzionamento, sull'efficienza energetica e sulla sostenibilità ambientale. Le icone rappresentanti l'utilizzo di energia, come si può osservare in *Figura 4.8*, 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 i processi (ad esempio elettricità o gas naturale), mentre la seconda si riferisce all'energia utilizzata per le attività non di processo, come ad esempio riscaldamento e illuminazione. Le icone ambientali, invece, identificano il materiale usato e le potenziali minacce per l'ambiente.

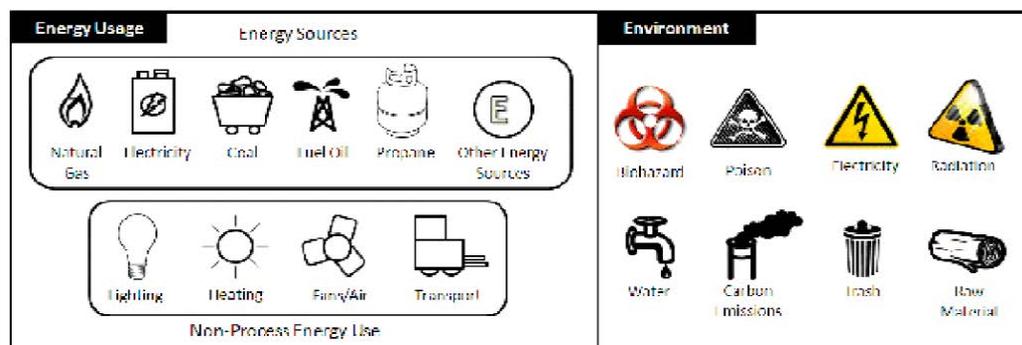


Figura 4.8 – Icone della EE-VSM (Chen e Kuriger, 2010)

Il funzionamento dello strumento, come già detto, riprende fedelmente il modello proposto dall'US EPA nel quale vengono registrati, sotto ogni processo, il materiale ed il tempo necessari per le attività a valore e non a valore. Nell'EE-VSM proposta dagli autori, a questi dati, si aggiunge il consumo di energia e

³⁸ Chen F.F., Kuriger G.W., 2010, Lean and Green: a Current State View, *Proceedings of the 2010 Industrial Engineering Research Conference*, Cancun, Messico.

l'impatto ambientale, generando una VSM nella quale è possibile individuare eventuali ottimizzazioni energetiche e ambientali a partire da quelle attività non a valore, che non portano nessun vantaggio all'azienda, ma anzi rappresentano solamente voci di costo inutili.

I due autori propongono una versione dell'EE-VSM molto simile a quella proposta tre anni prima nel toolkit dell'US EPA, introducendo però una rappresentazione grafica per l'utilizzo di energia, il materiale usato e le minacce per l'ambiente. Come nel toolkit originale mancano tuttavia le metriche sociali ed economiche ed una rappresentazione simultanea di più metriche nella mappa.

4.1.7 Green Value Stream Mapping (GVSM)

Dadashzadeh e Wharton applicano la Green Value Stream Mapping (GVSM), introdotta da Wills nel suo libro del 2009, intitolato "Green Intentions", al dipartimento IT di un'azienda per mappare le attività lungo la value stream e capire, se da un punto di vista ambientale, sono buone oppure no: in questo secondo caso saranno considerate spreco e dovranno essere migliorate o eliminate. L'obiettivo è quello di muovere l'azienda verso la sostenibilità attraverso la riduzione dei cosiddetti sprechi "green", ovvero (Wills, 2009³⁹):

1. Energia: costo associato ad un maggior consumo di energia di quello richiesto e che impatta negativamente sull'ambiente
2. Acqua: costo associato ad un maggior consumo d'acqua rispetto a quello necessario, e costi relativi al prelievo e depurazione
3. Materiali che finiscono in discarica invece di essere riutilizzati
4. Rifiuti: pagare per qualcosa che ha un impatto negativo sull'ambiente se lo butti via, piuttosto che pagare di nuovo per smaltirlo
5. Trasporti: costi associati a viaggi eccessivi o non necessari
6. Emissioni: costi associati allo scarico di inquinanti in loco, relative multe e tasse di bonifica

³⁹ Wills B., 2009, *Green Intentions: Creating a Green Value Stream to Compete and Win*, Productivity Press, New York.

7. Biodiversità: costo associato alla distruzione della flora, fauna e organismi, risultante dalla costruzione di infrastrutture o dallo sfruttamento delle risorse naturali

I sette passi per la costruzione della GVSM sono esposti di seguito (Dadashzadeh e Wharton, 2012⁴⁰):

1. Acquisire il supporto del management, sviluppare una vision e nominare delle persone che supportino le idee green
2. Cambiare il modo di pensare: guardare alle cose dalla prospettiva dell'ambiente
3. Riuscire a stilare una lista di ogni spreco green e pensare ad un processo passo-passo per poterli eliminare
4. Creare una mappa del current-state, identificando e misurando gli sprechi green lungo la value stream
5. Creare la future-state map e implementare le soluzioni in logica di miglioramento continuo, finché non si avranno minimizzato gli sprechi il più possibile
6. Ricerca della perfezione cercando di eliminare completamente i sette sprechi green
7. Portare la GVSM a livello di supply chain

⁴⁰ Dadashzadeh M., Wharton T.J., 2012, A Value Stream Approach For Greening The IT Department, *International Journal of Management & Information Systems*, vol. 16, n. 2, pp. 125-136.

In *Figura 4.9* viene riportato il current-state della GVSM.

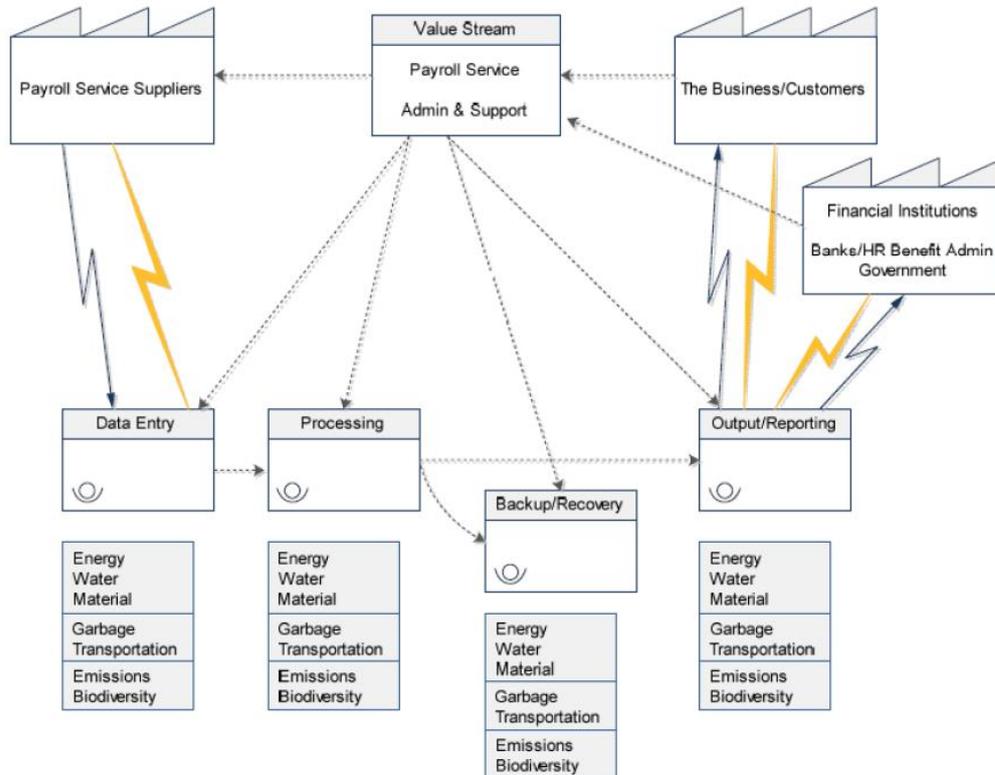


Figura 4.9 – Esempio di current-state GVSM (Dadashzadeh e Wharton, 2012)

Come è possibile osservare dalla figura riportata sopra, la rappresentazione visiva nella mappa è limitata semplicemente ad un data box, ed inoltre non vengono riportati nello studio dei due autori dei valori numerici per i sette sprechi green, per cui non è possibile conoscere nemmeno l'unità di misura. Non vi è infine nessun riferimento alle metriche sociali ed economiche.

4.2 La Sustainable Value Stream Map (Sus-VSM)

Lo studio presentato nel 2014 da Badurdeen e Faulkner si basò su una profonda revisione della letteratura nella quale vennero analizzati tutti gli studi appena esposti. Il loro lavoro si può considerare ancora ad oggi un punto di riferimento per gli studiosi della Sustainable Value Stream Mapping (Sus-VSM). I due autori capirono che per un'analisi completa della sostenibilità non si potevano includere

nella VSM tradizionale solamente indicatori di sostenibilità ambientale, ma bisognava integrare un altro aspetto molto importante legato alla sostenibilità, ovvero quello sociale, integrando quindi nell'analisi aspetti legati ai lavoratori. In questo paragrafo, dedicato al lavoro di Badurdeen e Faulkner, verranno presentate in primis le metriche legate alla produzione sostenibile, per poi passare all'analisi delle metriche ambientali ed infine quelle sociali. Verrà infine effettuata una breve analisi critica sul lavoro dei due autori.

4.2.1 Metriche per Valutare la Sostenibilità in Produzione

Badurdeen et al. nel 2011 propongono una serie di metriche per valutare la sostenibilità dei prodotti e dei processi in ottica Triple Bottom Line (TBL). Vengono individuati sei elementi per una produzione sostenibile, suddivisi in deterministici (costo, consumo di energia e gestione degli sprechi) e non deterministici (impatto ambientale, salute del personale e sicurezza degli operatori). Nella *Figura 4.10* vengono riportati i sei elementi appena citati (Badurdeen et al., 2011a⁴¹).



Figura 4.10 – I 6 elementi della produzione sostenibile (Badurdeen et al., 2011a)

⁴¹ Badurdeen F., Dillion O.W., Feng S.C., Jawahir I.S., Lu T., Rotella G., Rouch K., 2011a, Metrics-based sustainability assessment of a drilling process, *Proceedings of the Global Conference on Sustainable Manufacturing*, San Pietroburgo, Russia.

Nel loro studio gli autori distinguono le metriche in due grandi categorie (Badurdeen et al., 2011b⁴²), ovvero:

- Metriche di prodotto
- Metriche di processo

Per quanto riguarda la prima categoria gli autori si sono sforzati per classificare le metriche in base alle quattro fasi del ciclo di vita del prodotto, ovvero:

1. Pre-produzione (pre-manufacturing, PM)
2. Produzione (manufacturing, M)
3. Utilizzo (use, U)
4. Post-utilizzo (post-use, PU)

Per capire qual è l'importanza relativa delle metriche si può vedere quali sono presenti in tutte e quattro le fasi del ciclo di vita oppure si possono usare tecniche analitiche come l'Analytical Hierarchy Process (AHP). In *Tabella 4.3* (continua a pagina successiva) vengono riportate le metriche di prodotto individuate dagli autori.

Tabella 4.3 – Metriche di prodotto (Badurdeen et al, 2011b)

Metrics Clusters	Example Metrics	Unit	PM	M	U	PU
Residues	Emissions Rate (carbon-dioxide, nitrous-oxides, etc.)	mass/unit	✓	✓	✓	✓
Energy use and efficiency	Remanufactured Product Energy	kWh/unit		✓	✓	✓
	Maintenance/Repair Energy	kWh/unit			✓	
Product End-of-Life Management	Design for Environment Expenditure	-	✓			
	Ease of Sustainable Product Disposal for End Users	\$/unit				✓
Material use and efficiency	Restricted Material Usage Rate	mass/unit	✓	✓		✓
Water use and efficiency	Recycled Water Usage Rate	gallons/unit	✓	✓		✓
Cost	Product Operational Cost	\$/unit			✓	
Innovation	Average Disassembly Cost	\$/unit				✓
Profitability	Revenue	\$/unit			✓	
Product Quality	Defective Products Lost	\$/unit		✓		

⁴² Badurdeen F., Dillion O.W., Feng S.C., Gupta A., Jayal A.D., Jawahir I.S., Lu T., 2011b, A framework of products and process metrics for sustainable manufacturing, *Advances in Sustainable Manufacturing*, Springer, Berlino.

	Warranty Cost Ratio	\$/unit			✓	
Education	Employee Training	Hours/unit	✓	✓		✓
Customer Satisfaction	Repeat Customer Ratio	-			✓	
	Post-Sale Service Effectiveness	-			✓	
Product Safety and Societal Well-being	Product Processing Injury Rate	incidents/unit	✓	✓		✓
	Landfill Reduction	mass/unit	✓	✓	✓	✓

Le metriche per la valutazione della sostenibilità dei processi produttivi devono tener conto degli input e degli output del processo e sono basate sui sei elementi della sostenibilità precedentemente esposti. Gli autori propongono una struttura gerarchica a tre livelli per gli indicatori di processo:

- Operativo: le misurazioni sono focalizzate sulle singole operazioni dei processi
- Stazione di lavoro: focus su una singola macchina che esegue una o più operazioni
- Impianto/linea/cella: include le misurazioni di tutta l'unità produttiva

Nella *Tabella 4.4* sono presenti alcuni esempi di metriche di processo, classificate secondo i sei elementi della sostenibilità.

Tabella 4.4 – Metriche di processo (Badurdeen et al, 2011b)

Environmental Impact	Energy Consumption	Cost
GHG emission from energy consumption of the line (ton CO ₂ 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 ³)	Mass of disposed consumables (kg)
Exposure to high energy components (incidents/person)	Mist/dust level (mg/m ³)	Consumables reuse ratio (%)
Injury rate (injuries)	Noise level inside factory (dB)	Mass of mist generation (kg)
	Physical load index (dimensionless)	Mass of disposed chips and scraps (kg)
	Health-related absenteeism rate (%)	Ratio of recycled chips and scraps (%)

Non è sorprendente osservare che alcune metriche di prodotto e di processo sono strettamente interconnesse. La ragione fondamentale è che, durante il ciclo di vita

di un prodotto, è presente, anche se molto breve, un processo produttivo per produrlo. Dall'altra parte, se prendiamo in considerazione i materiali di consumo o le attrezzature utilizzate in produzione, la fase di utilizzo di questi prodotti corrisponde a dei processi produttivi. “Dal punto di vista del prodotto, quindi, i processi produttivi non sono altro che una piccola parte del loro ciclo di vita” (Badurdeen et al., 2011b).

Le metriche appena viste vengono utilizzate da Badurdeen e Faulkner come base per l'identificazione degli indicatori ambientali e sociali da includere all'interno della Sus-VSM. Un importante criterio per la scelta delle metriche riguarda il numero e la tipologia di queste ultime: a differenza delle metriche economiche, infatti, quelle sociali ed ambientali possono differire da settore a settore ed inoltre il numero di metriche deve essere adeguato, cercando di selezionare il minor numero di indicatori che permetta di avere il maggior beneficio. È importante, infatti, non appesantire la Sus-VSM in quanto, essendo una metodologia di rappresentazione visiva, deve risultare di facile lettura. Badurdeen e Faulkner, nel loro lavoro sulla Sustainable Value Stream Mapping, si concentrano sull'identificazione di un set di metriche generali, che vedremo nei prossimi sottoparagrafi, che possono avere applicazioni in diversi settori.

4.2.2 Le Metriche Ambientali

Per valutare la sostenibilità ambientale dei processi, i due autori selezionano tre metriche ambientali (Badurdeen e Faulkner, 2014⁴³):

- Consumo d'acqua
- Utilizzo delle materie prime
- Consumo di energia

Il consumo d'acqua misura la quantità di acqua usata durante il processo produttivo. L'acqua aggiunta al prodotto (ad esempio un prodotto chimico) non è

⁴³ Badurdeen F., Faulkner W., 2014, Sustainable Value Stream Mapping (Sus-VSM): methodology to visualize and assess manufacturing sustainability performance, *Journal of Cleaner Production*, vol. 85, pp. 8-18.

inclusa e viene considerata come risorsa/materiale usato. Le informazioni che vengono riportate sono:

- Acqua richiesta
- Acqua utilizzata
- Acqua netta (persa): rappresenta l'acqua non riutilizzata da un altro processo nella linea o riciclata all'interno dell'impianto e sostanzialmente persa nei corsi d'acqua circostanti o nell'impianto di trattamento delle acque reflue urbane

Se una linea produttiva possiede un impianto di trattamento interno che viene utilizzato per l'acqua interna allo stabilimento produttivo, quest'acqua non viene considerata come persa. Il consumo d'acqua viene rappresentato tramite un box suddiviso in tre parti: a sinistra viene riportata la quantità di acqua richiesta, al centro quella utilizzata e a destra la quantità netta. Nel box più a destra vengono riportati i dati aggregati (vedi *Figura 4.11*).

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 4.11 – Icona utilizzata per il consumo d'acqua (Badurdeen e Faulkner, 2014)

La seconda metrica ambientale riguarda l'utilizzo delle materie prime. Spesso la maggior parte degli scarti di materiale deriva dai processi di rimozione che portano ad avere materiale scartato. Il materiale scartato dovrebbe essere riciclato, tuttavia, qualsiasi trattamento subisca, porterà ad un maggiore consumo di energia e risorse che può essere considerato come scarto; è perciò importante registrare il consumo di materiale all'interno della Sus-VSM, in modo tale da intervenire per ridurlo al minimo. In produzione si può distinguere tra manifattura sottrattiva, nella quale ogni operazione richiederà la rimozione di materiale, e manifattura additiva, nella quale ci sarà un aumento del contenuto di materiale. Sarà perciò necessario registrare sia la quantità di materiale aggiunto sia quello rimosso durante ogni processo e non considerare solo la quantità di materiale iniziale. Questa metrica viene rappresentata da una linea tratteggiata, che indica la massa

del materiale di partenza (in questo caso pari a 10 libbre), le quantità di materiale aggiunto e rimosso verranno invece riportate rispettivamente sopra e sotto la linea tratteggiata (Figura 4.12); a destra vengono riportate le quantità totali di materiale aggiunto e rimosso e la massa finale, calcolata come: massa iniziale + materiale aggiunto – materiale rimosso.

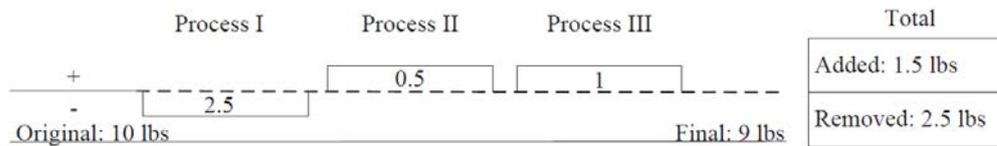


Figura 4.12 – Icona utilizzata per il consumo delle materie prime (Badurdeen e Faulkner, 2014)

Se un prodotto/componente richiede per la sua realizzazione più di una materia prima, nella Sus-VSM verrà riportato solamente il materiale principale: andando ad includere linee diverse per ogni materiale, infatti, si andrebbe a complicare la lettura della Sus-VSM.

L'ultima metrica ambientale è il consumo di energia. Questa metrica ha lo scopo di misurare il consumo di energia di ogni processo e il consumo che avviene tra i processi per il trasporto e/o lo stoccaggio. Le perdite di energia dei macchinari non vengono considerate per non complicare la lettura della mappa. Nella metrica non sono inclusi gli usi indiretti di energia, ovvero quell'energia il cui consumo non è dipendente dal numero di prodotti realizzati (ad esempio l'energia utilizzata per illuminare, riscaldare o raffreddare l'edificio). La metrica è rappresentata con delle figure ovali, che conterranno il consumo energetico di ogni processo, e con delle linee tra gli ovali, che rappresenteranno il consumo di energia tra i processi. A destra vengono riportati i consumi totali (Figura 4.13)

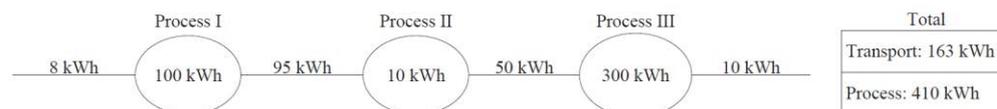


Figura 4.13 – Icona utilizzata per il consumo di energia (Badurdeen e Faulkner, 2014)

L'unità di misura deve essere comune, per identificare più facilmente le aree di miglioramento (si usa il kWh).

4.2.3 Le Metriche Sociali

Allo scopo di valutare la sostenibilità sociale, Badurdeen e Faulkner selezionano due metriche sociali:

- Lavoro fisico
- Sicurezza sul lavoro

La prima metrica ha come obiettivo non tanto quello di effettuare una valutazione ergonomica, ma piuttosto quello di identificare quali operazioni possono essere rischiose per gli operatori. A tale scopo viene utilizzato il Physical Load Index (PLI) introdotto da Hollmann et al. nel 1999, ottenuto dalle risposte ad un questionario (del quale viene riportato un esempio in *Figura 4.14* a pagina 91), che va a “misurare la forza di compressione totale che agisce sulla colonna lombare inferiore in funzione di diverse posture del corpo e carichi movimentati (Hollmann et al., 1999⁴⁴). In totale gli elementi presenti nel questionario sono diciannove: cinque per descrivere le posizioni del busto (T1 = straight upright, ..., T5 = laterally bent), tre per le posizioni delle braccia (A1÷A3), cinque per le posizioni delle gambe (L1÷L5), e, infine, tre per il sollevamento/trascinamento di un peso a busto dritto (Wu1÷Wu3) e altre tre a busto inclinato (Wi1÷Wi3). Nel questionario viene domandata agli operatori la frequenza relativa alle posizioni del corpo e alla movimentazione dei carichi, e le risposte sono fornite su una scala di valutazione a cinque punti (0÷4) dove il valore 0 significa “mai” mentre il valore 4 significa “molto spesso”. Utilizzando l'equazione riportata a pagina seguente, che è di fatto una somma pesata dei punteggi del questionario, viene calcolato il PLI, i cui valori possono variare tra 0 e 56.

⁴⁴ Hollmann S., Klimmer F., Kylian H., Schmidt K.H., 1999, Validation of a questionnaire for assessing physical work load, *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, vol. 25, n. 2, pp. 105-114.

$$\begin{aligned}
\text{PLI} = & 0,974 \times \text{score of T2} + 1,104 \times \text{score of T3} + 0,068 \times \text{score of T4} \\
& + 0,173 \times \text{score of T5} + 0,157 \times \text{score of A2} \\
& + 0,314 \times \text{score of A3} + 0,405 \times \text{score of L3} \\
& + 0,152 \times \text{score of L4} + 0,152 \times \text{score of L5} \\
& + 0,549 \times \text{score of Wu1} + 1,098 \times \text{score of Wu2} \\
& + 1,647 \times \text{score of Wu3} + 1,777 \times \text{score of Wi1} \\
& + 2,416 \times \text{score of Wi2} + 3,056 \times \text{score of Wi3}
\end{aligned}$$

Come si può osservare le posizioni T1, A1, L1 e L2 non vengono prese in considerazione per il calcolo del PLI in quanto rappresentano la forza di compressione minima. I pesi sono ricavati dalla differenza tra la forza di compressione in una certa posizione, e la forza di compressione standard sulla zona lombare. Il PLI viene calcolato per ogni processo e per ogni operazione tra i processi. Poiché ogni processo può avere più di un operatore si includono il valore massimo ed il valore medio assunti dal PLI all'interno della Sus-VSM.

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



straight, upright
slightly inclined
strongly inclined
twisted
laterally bent

never	seldom	sometimes	often	very often

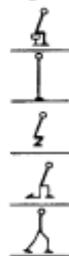
Arms



both arms below shoulder height
one arm above shoulder height
both arms above shoulder height

never	seldom	sometimes	often	very often

Legs



sitting
standing
squatting
kneeling with one knee or with both
walking, moving

never	seldom	sometimes	often	very often

Weight, lifted / carried with upright trunk



light (up to 10 kg)
medium (10 - 20 kg)
heavy (more than 20 kg)

never	seldom	sometimes	often	very often

Weight, lifted / carried with inclined trunk



light (up to 10 kg)
medium (10 - 20 kg)
heavy (more than 20 kg)

never	seldom	sometimes	often	very often

Figura 4.14 – Questionario utilizzato per il calcolo del PLI (Hollmann et al., 1999)

La seconda metrica riguarda la sicurezza sul posto di lavoro. Vengono presentate quattro categorie di rischio:

- Rischio dovuto a sistemi elettrici (E)
- Rischio dovuto all'utilizzo di materiali o sostanze chimiche pericolose (H)
- Rischio dovuto ai sistemi pressurizzati (P)
- Rischio dovuto a componenti ad elevate velocità (S)

Per ogni categoria di rischio viene attribuito un punteggio 1-5 dove il valore 1 indica che il rischio è presente ma ha un basso impatto ed una bassa probabilità di accadimento, il valore 5, invece, indica un alto impatto ed un'alta probabilità di accadimento. Questa metrica è rappresentata con un cerchio diviso in quattro parti (chiamato "EHPS circle"), nel quale vengono riportati i punteggi per ogni categoria di rischio, che viene posizionato sopra ogni process box (vedi *Figura 4.15*).

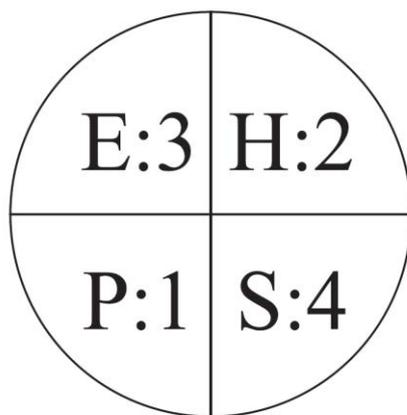


Figura 4.15 – EHPS circle (Badurdeen et al., 2014)

Oltre alle metriche appena viste gli autori ne includono un'altra, relativa al livello di rumore. Quando si considera l'impatto che un certo suono può avere sulla salute dell'uomo è importante considerare non solo il livello di tale suono, misurato in decibel (dB), ma anche la durata dell'esposizione ad un certo livello. Vengono utilizzate due formule. La prima serve a calcolare la dose giornaliera di rumore che un operatore può assorbire (<https://www.noisemeters.com>⁴⁵):

⁴⁵ <https://www.noisemeters.com/help/osha/twa/>

$$D = 100 \times \sum_i \frac{\text{Tempo di esposizione ad un certo livello di suono } i}{\text{Tempo massimo permessibile a quel livello}}$$

In *Figura 4.16* sono presenti diversi livelli di suono (indicati con L) ed i rispettivi tempi massimi permessibili (indicati con T).

L	T	L	T	L	T	L	T
80	32.0	90	8.0	100	2.0	110	0.50
81	27.9	91	7.0	101	1.7	111	0.44
82	24.3	92	6.1	102	1.5	112	0.38
83	21.1	93	5.3	103	1.3	113	0.33
84	18.4	94	4.6	104	1.1	114	0.29
85	16.0	95	4.0	105	1.0	115	0.25
86	13.9	96	3.5	106	0.87	116	0.22
87	12.1	97	3.0	107	0.76	117	0.19
88	10.6	98	2.6	108	0.66	118	0.16
89	9.2	99	2.3	109	0.57	119	0.14

Figura 4.16 – Tempi massimi permessibili a diversi livelli di suono

Perciò, se un operatore è esposto, ad esempio, per 6 ore ad un livello di 88 dB e per 2 ore ad un livello di 92 dB, utilizzando la formula precedente, la dose giornaliera sarà pari a: $100 \times (6/10,6 + 2/6,1) = 89,4\%$. Una volta calcolato questo valore si può calcolare il Time Weighted Average (TWA), valore che rappresenta il livello di suono medio ponderato sulle otto ore lavorative, e viene calcolato con la seguente formula:

$$TWA = 16,61 \log_{10} \frac{D}{100} + 90$$

In riferimento all'esempio riportato prima, quindi, otteniamo un TWA pari a 89,19 dB. Il risultato di questa operazione viene riportato nei data box di ogni processo, assieme agli altri valori, e viene modificato qualora l'operatore utilizzi protezioni.

Lo studio di Badurdeen e Faulkner risulta essere il più completo di tutti quelli che abbiamo visto. Nel loro lavoro, infatti, viene introdotto l'utilizzo delle metriche sociali, finora ignorato (eccetto che per il lavoro di Heikkilä et al. del 2010), ed inoltre vengono utilizzate delle icone specifiche per ogni metrica vista; infine,

all'interno della mappa, vengono rappresentati finalmente più indicatori contemporaneamente, senza comunque aumentarne la complessità di lettura. Nonostante abbia rappresentato, al momento dell'uscita, un punto di svolta per gli studi su tale argomento, la Sus-VSM presenta ancora un limite: sebbene lo studio sia basato profondamente sull'articolo presentato da Badurdeen et al. nel 2011, nel quale vennero presentate le metriche di prodotto e di processo in ottica TBL, nella Sus-VSM non c'è ancora traccia delle metriche relative alla sostenibilità economica (in termini di costi).

I due autori, per convalidare lo studio, hanno applicato la metodologia in una azienda produttrice di antenne paraboliche. Nella pagina successiva viene riportata in *Figura 4.17* la current-state Sus-VSM ottenuta per l'azienda in esame: all'interno dei process box, oltre ai classici dati presenti in una VSM tradizionale, troviamo il valore medio e massimo del PLI (che vengono riportati anche per le operazioni di movimentazione tra i processi) ed il TWA (indicato con Noise), sopra ogni process box è presente il cerchio EHPS per la valutazione dei rischi sul posto di lavoro e, infine, nella parte inferiore della mappa, sotto la time line, sono presenti le icone relative al consumo d'acqua, delle materie prime e dell'energia. Osservando i dati presenti nell'esempio, è possibile dire che esistono delle opportunità di miglioramento per quanto riguarda il consumo di energia del processo di lavaggio (wash), che da solo rappresenta il 60% dell'energia totale consumata, per l'acqua persa, sempre nel processo di lavaggio e, infine, per il materiale scartato, pari al 35% circa. L'impatto sulla sostenibilità sociale, espresso tramite l'EHPS circle, il PLI e il TWA non desta particolari preoccupazioni.

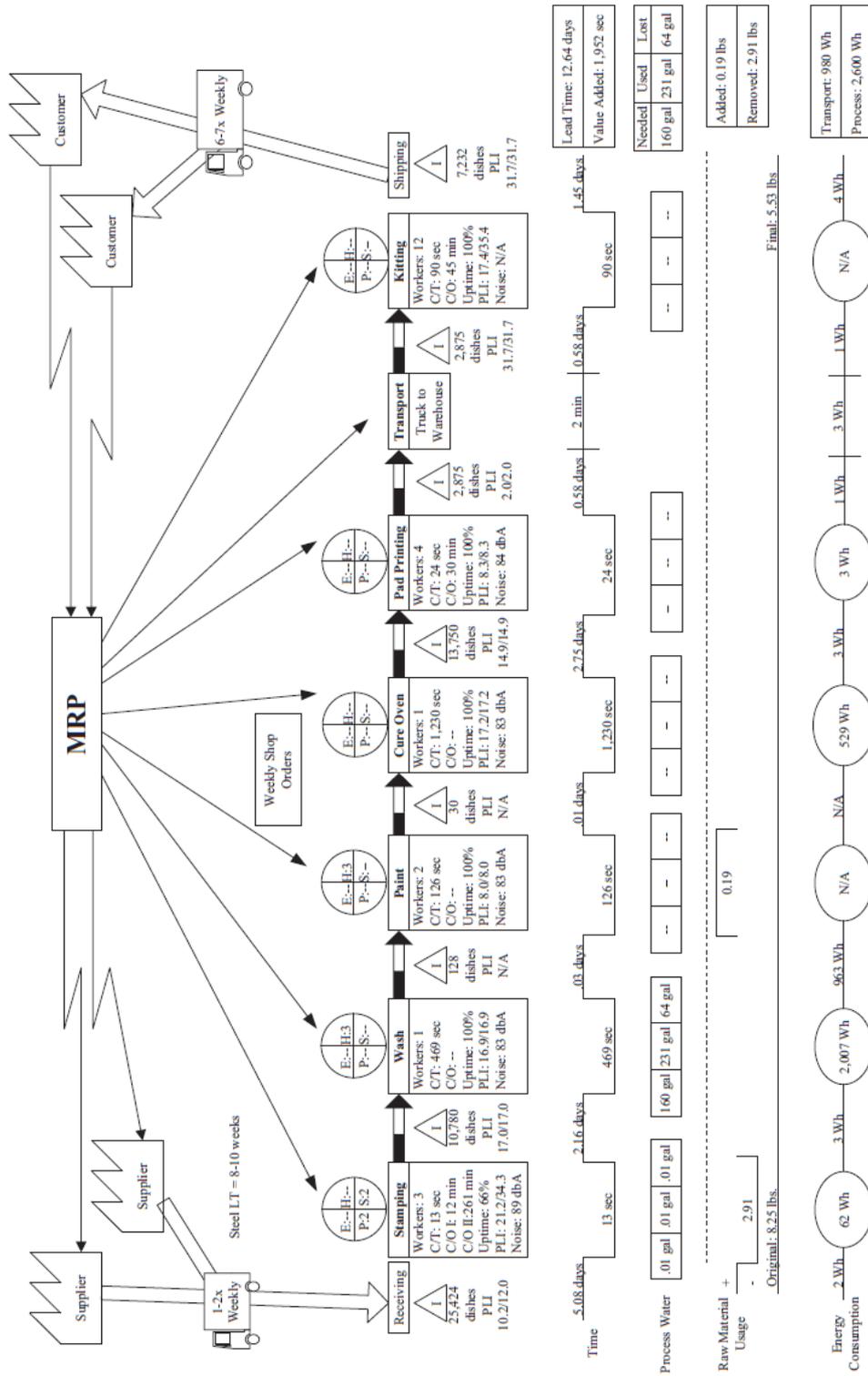


Figura 4.17 – Current-state della Sus-VSM (Badurdeen e Faulkner, 2014)

In *Tabella 4.5* viene riportato un confronto di tutti gli studi esposti durante questo capitolo, nel quale è possibile osservare, per ogni studio, le caratteristiche principali in termini di metriche contenute al suo interno e visualizzazione di tali metriche.

Tabella 4.5 – Studi a confronto

Autori	Strumento	Metriche ambientali	Metriche sociali	Metriche economiche	Visualizzazione
Mason e Simon (2002)	Sustainable VSM (SVSM)	✓ (focus: emissioni CO ₂)			✓ (parziale)
US EPA (2007a)	Lean and environmental toolkit	✓ (focus: sprechi ambientali)			✓ (parziale)
US EPA (2007b)	Lean and energy toolkit	✓ (focus: energia)			✓ (parziale)
Gati e Torres (2009)	Environmental VSM (E-VSM)	✓ (focus: consumo acqua)			✓ (parziale)
Fearne e Norton (2009)	Sustainable Value Chain Map (SVCM)	✓			✓ (parziale)
Heikkilä et al. (2010)	Sustainable Manufacturing Mapping (SMM)	✓	✓	✓	
Chen e Kuriger (2010)	Energy & Environmental VSM (EE-VSM)	✓			✓ (parziale)
Dadashzadeh e Wharton (2012)	Green VSM (GVSM)	✓			✓ (parziale)
Badurdeen e Faulkner (2014)	Sustainable VSM (Sus-VSM)	✓	✓		✓

Capitolo 5

Studi Post Sus-VSM

Questo capitolo ha lo scopo di presentare tutti gli studi che hanno seguito quello di Badurdeen e Faulkner sulla Sustainable Value Stream Mapping. Tutti i lavori verranno presentati sempre in ordine cronologico e, come per il capitolo precedente, per ognuno di essi sarà presentata un'analisi critica personale. Nella parte finale verrà effettuato un confronto tra tutte le metodologie che verranno presentate nel corso del capitolo.

5.1 La Supply Chain Sustainable Value Stream Mapping (SC Sus-VSM)

Nel suo lavoro di tesi del 2014, Daniel T. Sparks, propone un'estensione della Sus-VSM di Badurdeen e Faulkner a livello di Supply Chain (SC), che prende il nome di Supply Chain Sustainable Value Stream Mapping (SC Sus-VSM). La SC Sus-VSM viene applicata ad un caso studio ed inoltre viene utilizzato un software di Discrete Event Simulation (DES) per rendere l'analisi dinamica e per poter creare molteplici future-state maps. Nella tesi viene dedicata una prima parte alla selezione delle

metriche. Nella *Tabella 5.1* vengono riportati degli indicatori di sostenibilità ambientale, sociale ed economica; le caselle verdi rappresentano le metriche selezionate per il caso studio (Sparks, 2014⁴⁶).

Tabella 5.1 – Metriche economiche, ambientali e sociali (Sparks, 2014)

Economic	Environmental	Societal
Lead Time/Plant Time	Material Usage	Product Defect Ratio
Vale Added Time	Water Usage	Recordable Injury Rate
Transport Time/Distance	Energy Usage	Employee Training Intensity
WIP	GHG Emissions	Hazardous Chemical/Materials
Profit Generated	Total Generated Waste	Local Hiring Ratio
Government Subsidies	No. of Hazardous Spills	Diversity Ratio
Transportation Cost	Environmental Protection Expenditures	Physical Load Index
Use of Locally Based Suppliers	Fines for Non-compliance with Laws and Regulations	Electrical System Hazard
Warranty Costs	Weight of Waste by Type	Pressurized System Hazard
Equipment Uptime	Water Withdrawal by Source	High-Speed Components Hazard
Storage Costs	Energy Saved by Improvements	Noise Hazard
R & D Costs	Energy Usage by Source	Employee Hiring Rate
Packaging Cost	Mass Solid Waste Landfilled	Employee Turnover Rate

Per quanto riguarda le metriche ambientali troviamo, oltre a quelle già presenti nella Sus-VSM, le emissioni di gas serra (Greenhouse Gases, GHG). Nella SC Sus-VSM le metriche sono relative ai plant produttivi (o facility) che compongono la SC, non ai singoli processi, per cui quelli che troveremo nella mappa sono dei plant box. Detto questo, quindi, per quanto riguarda il consumo di materia prima, sotto ogni plant box verrà riportato il totale di materiale aggiunto e rimosso all'interno del plant (*Figura 5.1* a pagina seguente), per il consumo d'acqua verrà riportata la quantità di acqua richiesta, utilizzata e persa entro la facility (*Figura 5.2* a pagina seguente), per il consumo di energia, invece, verrà riportata all'interno degli ovali la somma del consumo che avviene nei processi e quello che si verifica nel trasporto

⁴⁶ Sparks D.T., 2014, Combining Sustainable Value Stream Mapping and simulation to assess manufacturing supply chain performance, *Theses and Dissertations – Mechanical Engineering*, 43.

tra processi, sopra le linee tra gli ovali ci sarà l'energia consumata durante le fasi di trasporto tra i plant (Figura 5.3).

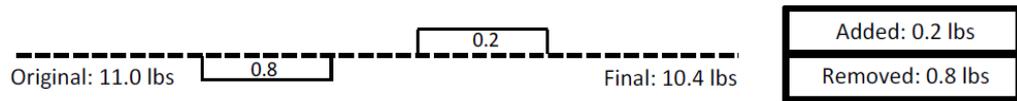


Figura 5.1 – Consumo di materia prima nella SC Sus-VSM (Sparks, 2014)

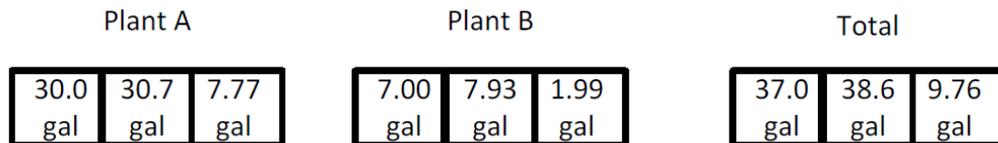


Figura 5.2 – Consumo di acqua nella SC Sus-VSM (Sparks, 2014)

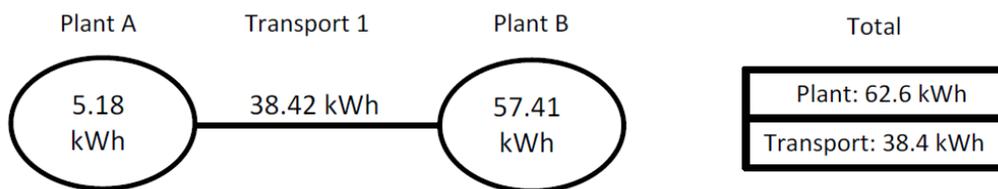


Figura 5.3 – Consumo di energia nella SC Sus-VSM (Sparks, 2014)

Le emissioni di gas serra tengono in considerazione (Chen e Johnson, 2011⁴⁷):

- Emissioni dirette: dovute, ad esempio, ai veicoli e ai macchinari
- Emissioni correlate al consumo di energia: legate al fatto che per produrre l'energia che si consuma, si utilizzano combustibili; attraverso la conoscenza dell'energia consumata, quindi, si possono ricavare indirettamente le emissioni derivanti dai combustibili
- Emissioni causate indirettamente dall'attività aziendale (ad esempio pendolarismo dei dipendenti o lo smaltimento dei rifiuti)

Nel lavoro di Sparks vengono prese in considerazione solamente le emissioni correlate al consumo di energia. La rappresentazione di questa metrica all'interno della SC Sus-VSM è simile a quella relativa al consumo di energia (vedi Figura 5.4 a pagina seguente).

⁴⁷ Chen M., Johnson O., 2011, Quantifying and Managing Supply Chain Greenhouse Gas Emissions, *Stanford Global Supply Chain Management Forum*, Stanford University, Palo Alto, California.

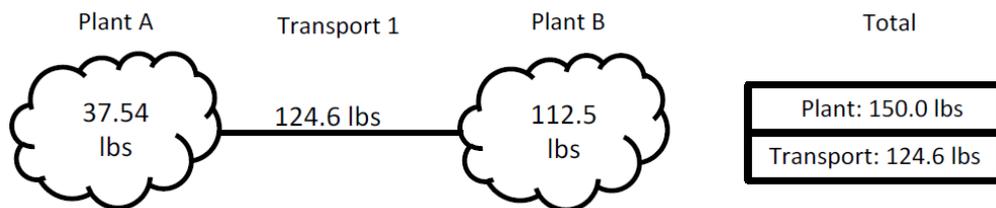


Figura 5.4 – Emissioni GHG nella SC Sus-VSM (Sparks, 2014)

Passando ora alle metriche sociali risulta necessario introdurne di nuove: quelle utilizzate nella Sus-VSM risultano infatti inappropriate in quanto riferite solamente ai dipendenti e al loro ambiente lavorativo ed inoltre potrebbero perdere significato a livello di plant in quanto risultato di una media tra i diversi processi produttivi interni all’impianto produttivo, ed in quanto tali, soggette ad una sovra/sotto-stima del problema. A livello di SC, quindi, ci sono molti stakeholder che devono essere presi in considerazione e sono state perciò selezionate le sei metriche riportate di seguito:

- Rapporto di difettosità dei prodotti: riflette l’affidabilità dei prodotti; la metrica è rappresentata in termini percentuali oppure in numero di prodotti difettosi su un determinato periodo di tempo [pt./time period]
- Indice di assunzione locale: rappresenta il numero di posti di lavoro che l’azienda porta alla comunità locale; viene rappresentata con un valore percentuale e per ogni plant viene considerata la comunità circostante alla propria area; questo dato può essere reperito dalla funzione risorse umane (Sparks, 2014)
- Indice di diversità: coglie le diversità di razza e di sesso della forza lavoro e viene rappresentata con una percentuale; anche questo dato è reso disponibile dalle risorse umane
- Tasso di infortunio: calcolato come il rapporto tra il numero di infortuni su un determinato periodo di tempo [injuries/time period]
- Materiali chimici e prodotti pericolosi: viene assegnato un punteggio 1-5 in base alla probabilità di accadimento e alla gravità dell’impatto
- Intensità di formazione dei dipendenti: misurata in ore di formazione a settimana [hrs/wk]

Tutti i dati relativi alle metriche appena esposte vengono riportati all'interno dei plant box. In *Figura 5.5* a pagina seguente viene riportato un esempio di SC Sus-VSM, nella quale è visibile la rappresentazione di tutte le metriche. Attraverso l'osservazione della mappa è possibile individuare le opportunità di miglioramento: nell'esempio riportato notiamo l'elevato Lead Time (LT) del drive train plant, e un elevato consumo energetico, più del 50% sul consumo totale, per il main plant, per cui saranno necessarie delle analisi per capire quali miglioramenti apportare.

Questo lavoro di tesi rappresenta sicuramente un'importante estensione della Sus-VSM di Badurdeen e Faulkner: oltre all'introduzione di un'ulteriore metrica ambientale, ovvero quella relativa alle emissioni GHG dovute al consumo di energia, vengono proposte delle metriche sociali che calzino meglio con la prospettiva di SC. Come per la Sus-VSM mancano le metriche per la valutazione della sostenibilità economica.

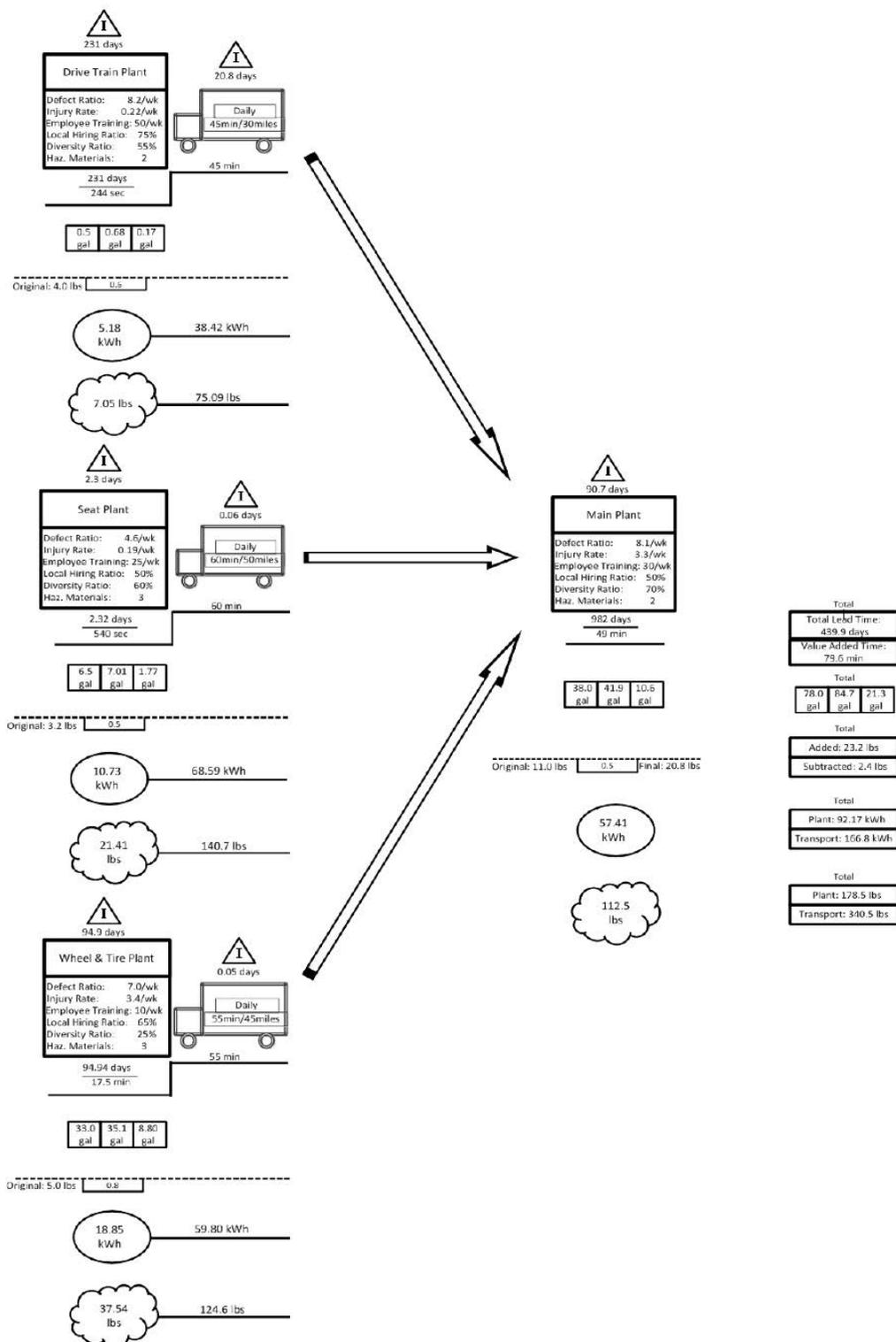


Figura 5.5 – Esempio di SC Sus-VSM (Sparks, 2014)

5.2 Integrazione di Parametri e Indicatori di Sostenibilità all'Interno della VSM

Nel 2015 Edtmayr et al. pubblicano un articolo con lo scopo di introdurre un metodo per il calcolo degli indicatori di sostenibilità. Nell'articolo viene introdotto il concetto di “ciclo di riutilizzo ideale-tipico”, il quale rappresenta la base per la valutazione degli indicatori sostenibili. Prima di approfondire il funzionamento di questo ciclo vedremo, attraverso delle formulazioni matematiche, il calcolo degli indicatori di sostenibilità.

5.2.1 Tasso di Scarto Cumulato

In ogni value stream saranno necessari una serie di processi per produrre il prodotto finito. A causa del tasso di scarto che si presenta ad ogni processo, i processi a monte dovranno produrre di più per riuscire a fornire la quantità desiderata dal cliente (Edtmayr et al., 2015⁴⁸). Il tasso di scarto, inoltre, cresce risalendo verso monte la value stream. Il tasso di scarto cumulato sarà perciò calcolato come:

$$s_{\text{cum}}(i) = 1 - \prod_{i=n}^1 (1 - s_i)$$

dove:

- s_{cum} = tasso di scarto cumulato lungo la value stream [%]
- s_i = tasso di scarto dell'i-esimo processo [%]

Lo scarto cumulato provocherà un aumento della domanda netta secondo la seguente relazione:

$$D_{\text{net},p}(i) = \frac{D_{\text{net}}}{1 - s_{\text{cum}}(i)}$$

dove:

⁴⁸ Edtmayr T., Sihm W., Sunk A., 2015, An Approach to integrate Parameters and Indicators of Sustainability Management into Value Stream Mapping, *Procedia CIRP*, vol. 41, pp. 289-294.

- $D_{net,p}(i)$ = incremento della domanda netta per processo, dovuto al tasso di scarto cumulato [pt./time period]
- D_{net} = domanda netta del cliente [pt./time period]

Queste due formule risultano necessarie per il calcolo dello scarto totale lungo la value stream. L'aumento della domanda procedendo verso monte ha un importante risvolto: il takt time non risulta costante per ogni processo, ma dovrà essere ridotto a causa di questo aumento di domanda tenendo comunque costante il tempo di lavoro netto.

5.2.2 Calcolo dello Spreco nei Singoli Processi

Lo scarto può presentarsi in tre modi. Il primo è quello dovuto a problemi di qualità (parti danneggiate o lavorate impropriamente), e viene calcolato come segue:

$$W_{nok} = (D_{net,p} - D_{net}) \cdot d_n$$

dove:

- W_{nok} = scarto dovuto al tasso di scarto cumulato [kg/time period]
- d_n = peso netto della risorsa in input [kg/pt.]

La seconda tipologia di scarto è quello dovuto al materiale aggiuntivo per il tipo di lavorazione, calcolato come:

$$W_{ok} = D_{net,p} \cdot (d_g - d_n)$$

dove:

- W_{ok} = scarto dovuto alla differenza di materiale in input [kg/time period]
- d_g = peso lordo della risorsa in input [kg/pt.]

La terza tipologia, infine, è lo scarto dovuto ai set-up, di solito prodotto in lotti, il quale può essere ricavato dalla seguente proporzione:

$$\frac{W_{set-up}(i)}{D_{net,p}} \sim \frac{W_b(i)}{b(i)}$$

dove:

- $W_{\text{set-up}}$ = scarto dovuto ai set-up [kg/time period]
- W_b = scarto per lotto [kg/batch]
- b = dimensione lotto [pt./batch]

Lo scarto totale viene semplicemente calcolato come la somma delle tre tipologie appena esposte:

$$W = W_{\text{nok}} + W_{\text{ok}} + W_{\text{set-up}}$$

Se si vuole convertire lo scarto per periodo di tempo calcolato finora, in scarto per unità, si utilizza la seguente equazione:

$$w(i) = \frac{d_g(i)}{1 - s_{\text{cum}}(i)} - d_n(i) + \frac{W_b(i)}{b(i)}$$

dove:

- $w(i)$ = scarto totale sui pezzi buoni [kg/pt. ok]

Per il calcolo dello scarto vengono considerate solo le risorse principali.

5.2.3 Cicli di Riutilizzo Ideali-Tipici

Le tre tipologie di scarto appena introdotte vengono assegnate alle categorie di riutilizzo, riciclo, recupero e smaltimento. In tutte le categorie, eccetto lo smaltimento, il materiale viene riutilizzato in qualche altro modo. Un ciclo di riutilizzo è formato da cinque attività di trasporto, tre buffer e il processo di riutilizzo stesso, ed è applicabile a qualsiasi tipologia di produzione/assemblaggio. In *Figura 5.6*, a pagina seguente, viene riportato lo schema di funzionamento del ciclo di riutilizzo ideale-tipico. Dato un generico processo (indicato semplicemente con “process” in figura), in output ci saranno sia parti buone, sia parti che vengono scartate. Le parti scartate vengono portate in un apposito buffer e da qui verranno portate ad un secondo buffer a monte del processo di riutilizzo (re-utilization

process). A valle del processo di riutilizzo ci sarà l'ultimo buffer, dal quale i pezzi potranno essere recuperati, riutilizzati, riciclati oppure smaltiti.

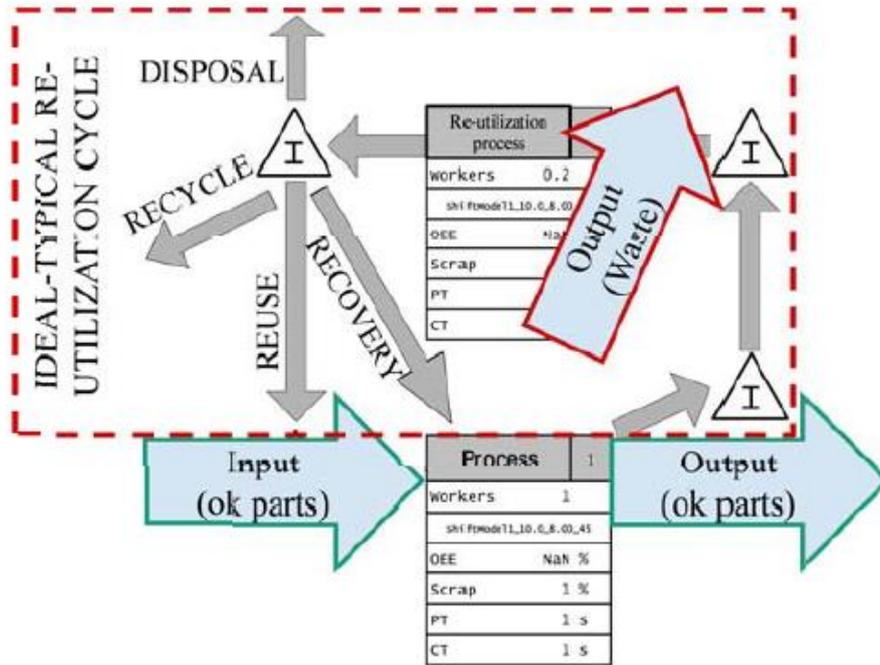


Figura 5.6 – Ciclo di riutilizzo ideale-tipico (Edtmayr et al., 2015)

Nella VSM viene introdotta la disposal line, nella quale è presente la quantità di materiale scartato sulle parti buone (espressa quindi in kg/ok parts). In Figura 5.7 a pagina seguente, in basso a destra, vengono riportati due valori: DISP è pari alla somma dei valori presenti nella disposal line, T-DISP rappresenta lo scarto totale ed è pari alla somma di DISP più altri scarti rappresentati, ad esempio, da acqua di processo, cartone per imballaggio etc., che non vengono però riportati dagli autori.

Edtmayr et al. presentano un lavoro molto interessante in quanto viene fornito un metodo per il calcolo degli sprechi delle risorse. Nonostante questo, tuttavia, non viene fatto riferimento né al consumo di energia, né alle altre due dimensioni della sostenibilità, prendendo in considerazione solamente gli aspetti ambientali e in modo parziale.

5.3 Framework per l'Integrazione di LCA e VSM

Nel 2015, Asokan et al. utilizzano l'LCA e la VSM in modo integrato per analizzare un caso studio. Vengono utilizzate delle metriche, selezionate appropriatamente per il caso studio in esame, che vengono riportate in *Tabella 5.2*.

Tabella 5.2 – Metriche scelte per il caso studio (Asokan et al., 2015)

Categories	Sustainability metrics	Measurement units
Environment	Carbon Footprint	mPt
	Water eutrophication	mPt
	Air acidification	mPt
	Water consumption	Liters (l)
Economy	VA time	Minutes (min)
	NVA time	Minutes (min)
	VA cost	Rupees (INR)
	NVA cost	Rupees (INR)
	Raw material consumption	Kilograms (kg)
	Power consumption	Kilowatt hour (kWh)
	Total energy consumption	mPt
	Oil and coolant consumption	Liters (l)
Society	Physical Load Index	NA
	Work environmental risk	NA
	Noise level	dB

La VSM proposta dagli autori è quasi del tutto simile alla Sus-VSM di Badurdeen e Faulkner vista nel capitolo precedente. Ciò che cambia è l'introduzione dei costi a valore aggiunto (VA cost) e dei costi non a valore aggiunto (NVA cost), secondo il modello già introdotto da Abuthakeer et al. nel 2010. Il costo a valore aggiunto viene determinato con la seguente formula (Asokan et al., 2015⁴⁹):

$$\text{Customer willingness to pay} = \sum_{i=1}^n m_i + \frac{CT_i (M_i + L_i)}{3600}$$

dove:

- m_i = costo del materiale per l'i-esimo processo

⁴⁹ Asokan P., Ben Ruben R., Vinodh S., 2015, Life cycle assessment integrated value stream mapping framework to ensure sustainable manufacturing: a case study, *Clean Technologies and Environmental Policy*, vol. 18, pp. 279-295.

- CT_i = tempo ciclo dell'i-esimo processo
- M_i = costo macchina dell'i-esimo processo
- L_i = costo del lavoro dell'i-esimo processo
- n = numero di processi

Per quanto riguarda, invece, il costo non a valore aggiunto viene utilizzata la seguente formula:

$$\text{Customer non willingness to pay} = \sum_{i=1}^{n+1} h_i \cdot \text{WIP}_i$$

dove:

- h_i = costi di holding
- WIP_i = magazzini inter-operazionali

Tra i costi non a valore gli autori non prendono in considerazione il costo dell'attrezzaggio.

Per l'LCA viene utilizzato SimaPro 8.1, un software nel quale vengono presi in considerazione quattro fattori:

- Impronta di carbonio (carbon footprint, C.F.)
- Eutrofizzazione delle acque (water eutrophication, W.E.)
- Acidificazione dell'aria (air acidification, A.A.)
- Consumo totale di energia (total energy consumption, T.E.C.)

L'impatto ambientale può essere visto come un singolo valore che comprende l'impatto sulla salute umana, la qualità dell'ecosistema e le risorse. I dati inseriti all'interno del software vengono visualizzati in quattro categorie:

- Valutazione danno
- Normalizzazione
- Peso
- Punteggio singolo

Il risultato ottenuto dopo la normalizzazione dei dati all'interno del software è espresso in milli-point [mPt], un numero adimensionale, che esprime l'impatto di

un processo sui quattro fattori presentati nella pagina precedente (impronta di carbonio, eutrofizzazione delle acque, acidificazione dell'aria e consumo totale di energia). Questo valore viene riportato per ognuno dei quattro fattori, e per ogni processo, all'interno di un box nella parte inferiore della Sus-VSM (*Figura 5.8*, a pagina seguente). Per fare un esempio, se prendiamo in considerazione il processo di tornitura (Turning) vediamo che questo avrà l'impatto maggiore sull'impronta di carbonio (640 mPt), a seguire ci saranno gli impatti sul consumo totale di energia (220 mPt), sull'eutrofizzazione delle acque (140 mPt) e, infine, sull'acidificazione dell'aria (25 mPt). Per quanto riguarda le altre metriche la rappresentazione è identica a quella presente nella Sus-VSM di Badurdeen e Faulkner, viene tuttavia aggiunta un'ulteriore linea per rappresentare i costi a valore aggiunto e quelli non a valore aggiunto.

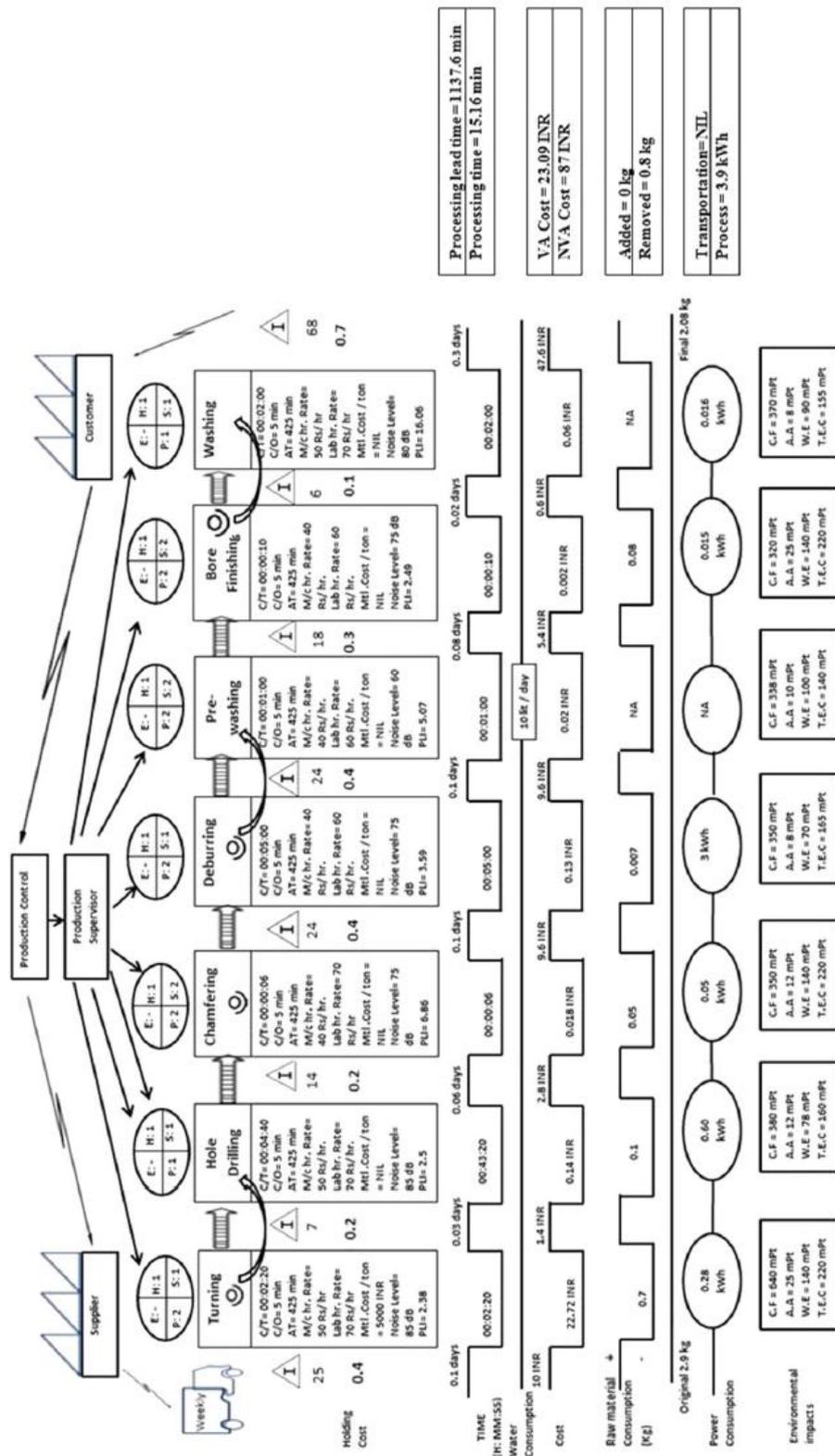


Figura 5.8 – Sus-VSM con gli indicatori ricavati dall'ICA (Asokan et al., 2015)

5.4 Sustainable Transport Value Stream Map (STVSM)

Garza-Reyes et al., nel 2016, presentano una metodologia, applicata ad un caso studio, per migliorare l'efficienza e l'impatto ambientale dei trasporti. Lo studio è basato su un lavoro di Villarreal del 2012, dove venne introdotta la Transportation Value Stream Map (TVSM) per identificare gli sprechi di efficienza ma nella quale, tuttavia, non veniva considerata la dimensione ambientale. Nella TVSM viene introdotto un indice per il calcolo dell'efficienza dei trasporti, ovvero il Transportation Overall Vehicle Effectiveness (TOVE). Molto simile all'OEE per il miglioramento dell'efficienza delle attrezzature, il TOVE è il risultato del prodotto di quattro componenti (Villarreal, 2012⁵⁰):

- **Disponibilità amministrativa:** è il risultato di politiche e strategie amministrative relative alle decisioni sulla capacità o sulla manutenzione. Comprende due voci, ovvero l'orario non schedulato, con cui si intende l'utilizzo parziale del tempo disponibile in un giorno per il lavoro (ad esempio un solo turno di otto ore) ed il tempo richiesto per la manutenzione preventiva
- **Disponibilità operativa:** comprende il tempo non in transito (non-in-transit, NIT), le pause dell'autista, la manutenzione non programmata ed il tempo in eccesso speso per servire il cliente
- **Performance:** tiene conto delle perdite dovute al parziale riempimento del veicolo, le perdite di velocità e l'eccessiva distanza percorsa
- **Qualità:** considera la percentuale di clienti non serviti, la percentuale di domanda non soddisfatta e la percentuale di prodotti difettosi

Garza-Reyes et al., oltre al TOVE, includono nel loro lavoro anche gli sprechi ambientali: la metodologia prende perciò il nome di Sustainable Transport Value Stream Map (STVSM). Gli indicatori ambientali da includere nella STVSM scelti dagli autori sono quelli associati alla qualità dell'aria, al cambiamento climatico e allo spreco di materiali derivante dal packaging. Per quanto riguarda i valori assunti da

⁵⁰ Villarreal B., 2012, The transportation value stream map (TVSM), *European Journal of Industrial Engineering*, vol. 6, n. 2, pp. 216-233.

questi indicatori gli autori fanno riferimento ai limiti imposti dal governo. Detto ciò, i passi seguiti per la costruzione della STVSM sono (Garza-Reyes et al, 2016⁵¹):

1. Mappatura del processo di trasporto: fase in cui è prevista la costruzione del current-state della STVSM e il calcolo del TOVE
2. Analisi delle cause di inefficienza e definizione della strategia di miglioramento: attraverso l'analisi della STVSM e del TOVE si possono capire quali sono i miglioramenti in termini di efficienza; il TOVE inoltre permette di prioritizzare le iniziative di miglioramento
3. Analisi delle cause degli sprechi ambientali
4. Test pilota ed implementazione: fase di test per l'implementazione delle strategie di miglioramento e costruzione della future-state map

In *Figura 5.9* a pag. 115 viene riportato il current-state della STVSM. L'azienda presa in considerazione è leader mondiale nel settore della logistica, ed offre trasporti via camion. Nel caso in esame viene preso in considerazione lo stabilimento di Monterrey in Messico. Nella mappa è possibile osservare le attività che avvengono nel centro operativo di Monterrey (carico, scarico e definizione delle rotte dei camion) e le attività di consegna delle merci ai clienti (il numero di clienti serviti in media su una rotta è pari a 61 quindi, per ovvi motivi, non vengono rappresentati tutti nella STVSM). Il tempo medio per la distribuzione dei beni è pari a 10,8 ore, delle quali 7,6 sono costituite dalle operazioni in transito (tempo riportato in basso a destra nella mappa) mentre 3,2 sono le ore per le operazioni NIT che avvengono all'interno del centro operativo (dato riportato in basso a sinistra nella mappa). Le operazioni NIT, quindi, costituiscono il 30% circa del tempo totale di un viaggio, per cui saranno necessari dei provvedimenti per ridurre questo tempo. Il TOVE, riportato in alto sulla destra assieme ai suoi componenti, è pari a 5,8% e le componenti con il maggior margine di miglioramento sono le performance e la disponibilità amministrativa. In particolare, il basso valore di performance è dovuto ai viaggi non a pieno carico e all'eccessiva distanza percorsa, dovuta sia alla non ottimizzazione delle rotte effettuate, sia ad uno scorretto sequenziamento dei clienti da servire. In alto a destra, infine, vengono riportati gli sprechi ambientali: i dati

⁵¹ Garza-Reyes J.A., Kumar V., Ruiz P.M., Villarreal B., 2016, Lean and green in transport and logistics sector – a case study of simultaneous deployment, *Production Planning & Control*, vol. 27, n. 15, pp. 1221-1232.

sulla qualità dell'aria e sulle emissioni di gas serra sono stati ottenuti tramite uno studio condotto dal governo sulla qualità dell'aria della zona metropolitana di Monterrey, mentre i livelli di packaging e di materiale in PET sono stati monitorati e stimati per un periodo di un mese. I valori trovati sono stati presi come riferimento e come limite superiore, dai quali definire le strategie di miglioramento.

Lo studio di Garza-Reyes et al. offre un metodo per capire quali sono i potenziali miglioramenti in termini di efficienza e di eco-sostenibilità nell'ambito dei trasporti. Nonostante non siano presenti indicatori di sostenibilità sociale ed economica il lavoro risulta utile per capire quali metodi adottare per l'eliminazione degli sprechi nelle attività di trasporto.

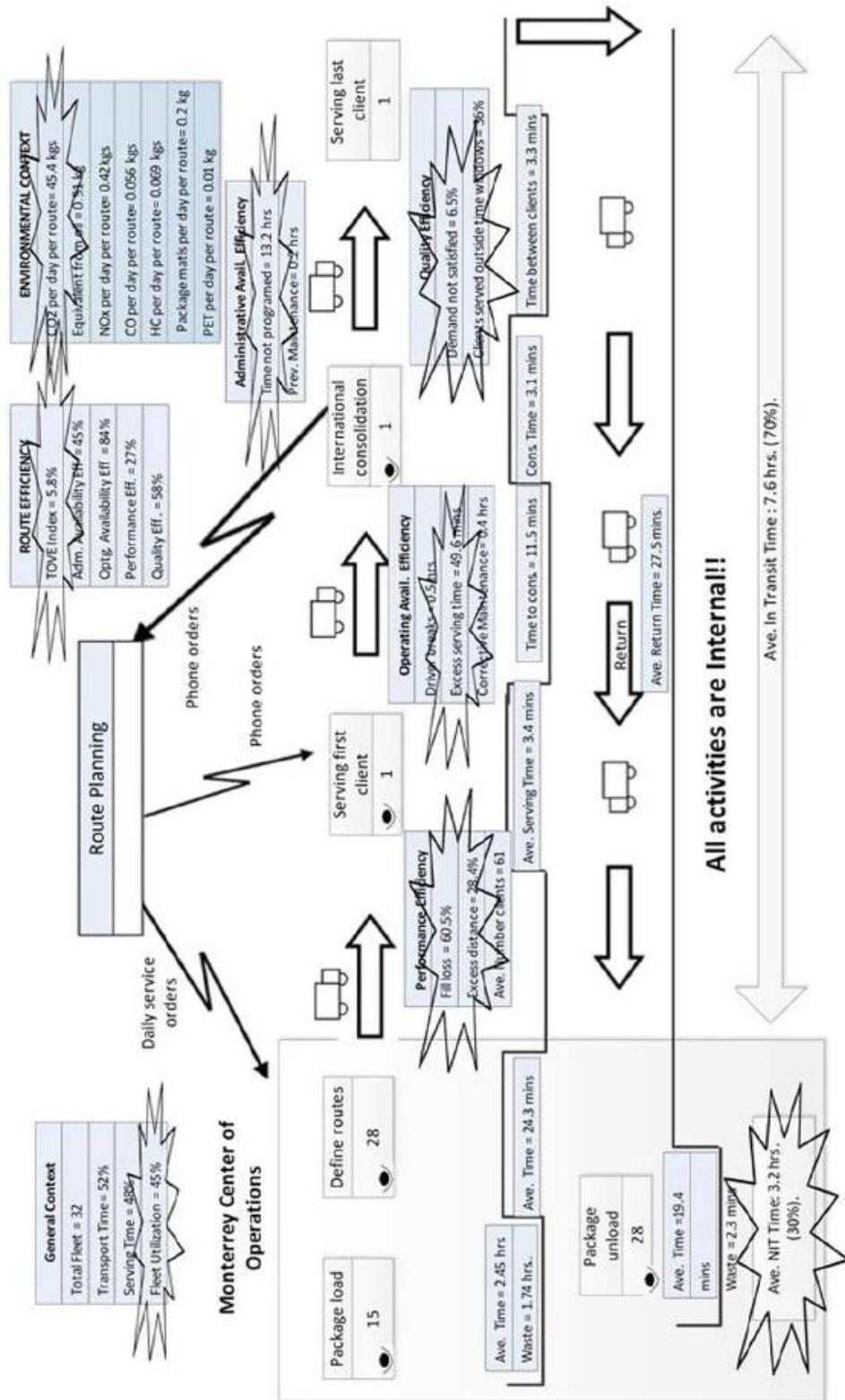


Figura 5.9 – Current-state della STVSM (Garza-Reyes et al., 2016)

5.5 Un Approccio PDCA per l'Environmental Value Stream Mapping (E-VSM)

In un lavoro del 2018, Cherrafi et al., propongono l'approccio PDCA per sviluppare l'Environmental Value Stream Mapping (E-VSM). La metodologia viene applicata ad un caso studio, presso un'azienda produttrice di strumenti per la macinazione, attraverso la action-research, già utilizzata da Gati e Torres nel loro studio del 2009 visto nel capitolo precedente. Le quattro fasi del ciclo di Deming saranno caratterizzate dalle seguenti attività (Cherrafi et al., 2018⁵²):

1. Plan: in questa fase vengono definiti gli obiettivi strategici, comunicata l'importanza dell'implementazione della E-VSM allo staff e definita la metodologia di raccolta dati
2. Do: formazione del team di lavoro e nomina del leader, selezione della famiglia di prodotti da prendere in esame, identificazione e misurazione degli sprechi green lungo la value stream e creazione della current state map
3. Check: analisi ed eliminazione/minimizzazione degli sprechi green, creazione della future-state map
4. Act: formulazione di un piano di implementazione per la future state E-VSM e implementazione del piano

In *Figura 5.10* viene riportato il ciclo PDCA con le relative fasi.

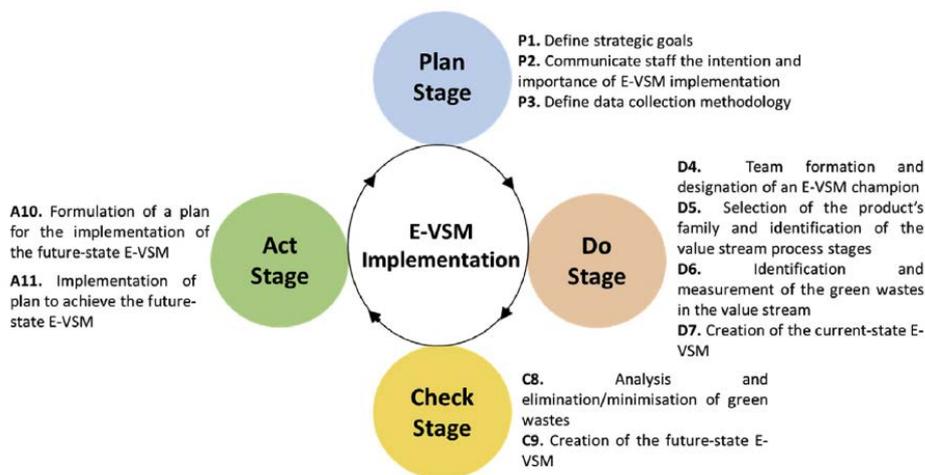


Figura 5.10 – Attività del ciclo PDCA applicato all'E-VSM (Cherrafi et al., 2018)

⁵² Cherrafi A., Garza-Reyes J.A., Govindan K., Ramanathan U., Romero J.T., 2018, A PDCA-based approach to Environmental Value Stream Mapping (E-VSM), *Journal of Cleaner Production*, vol. 180, pp. 335-348.

Nell'E-VSM vengono riportati gli sprechi green (Wills, 2009), già visti nel capitolo precedente, all'interno di un data box, posto sotto ogni process box (Figura 5.12 a pagina seguente). Per il caso studio in esame la raccolta dei dati è stata effettuata seguendo un piano prestabilito che includeva la raccolta di dati sugli sprechi green riguardante le diverse caratteristiche della value stream studiata. In particolare, i dati raccolti sono stati: il consumo di acqua e di energia, il tasso di utilizzo delle attrezzature per ogni processo (con il fine di identificare quelle con elevati consumi e ridurre quindi l'utilizzo), il livello di tossicità e il grado di impurità dell'acqua (con il fine di adottare il metodo di depurazione più adatto), il grado di riciclabilità e biodegradabilità dei materiali e delle sostanze (con lo scopo di capire quali poter riutilizzare e quale può essere il danno di un materiale) e, infine, la quantità e la fonte delle emissioni generate dai processi. Il metodo sistematico per la raccolta dati viene riportato in Figura 5.11.

<p>Identification and Measurement of Energy Waste</p> <ol style="list-style-type: none"> I. Identification of machinery, equipment, or installation whose operation involves the consumption of energy in the form of either electricity or fuel. II. Gathering of the values of energy either electricity or fuel consumed in each of the identified operations. III. Measurement of the usage rate for each operation identified. IV. Calculation of the total energy consumption for each operation during a period of time. This is a simple multiplication of the energies values consumed per the usage rate. V. Calculation of the cost of using the energy. For this, it is necessary to know the price of energy fixed by the provider. 	<p>Identification and Measurement of Water Waste</p> <ol style="list-style-type: none"> I. Identification of any equipment or activity in the value stream whose operation consumes water. II. Determine the flow rate of water per equipment. III. Determine the usage rate during a period of time. IV. Calculation of the total consumption of water during a period of time. This is a simple multiplication of the quantity of water consumed per the usage rate. V. If the system employed retains water, then the difference between the quantity of water consumed and the quantity of water retained would be the water discharged. Otherwise, if the system does not retain water, the quantity of water discharged would be equal to the water consumed. VI. Measure the toxicity of the water discharged. 								
<p>Identification and Measurement of Materials Waste</p> <ol style="list-style-type: none"> I. Identification of the input materials in the process stage. II. Assignment of the input material makeup with its chemical composition. III. Identification of the output materials in the process stage. IV. Specify whether the input material is made up of recycled or biodegradable materials. If so, note the percentage of recycled or biodegradable material. V. Specify whether the output materials may be recycled or may be biodegradable after the end of its lifecycle. If so, note the percentage of recyclability or biodegradability. VI. Classification of the output materials either technical nutrient (recyclable), biological nutrient (biodegradable), or landfill (waste). VII. Assessment of the environmental and human health impact that represents the output materials. 	<p>Identification and Measurement of Garbage Waste</p> <ol style="list-style-type: none"> I. Finding out the garbage bins, cans, or bags situated in the area where each process stage takes place. II. Identification of the composition of the garbage containers and its material makeup. III. Measurement of the quantity or weight of garbage items dumped during a time frame. IV. Classification of the environmental and human health impact that represents the garbage items found. Such classification is done according to the criterion shown in the following figure <table border="1" data-bbox="874 1541 1246 1704"> <tbody> <tr> <td style="background-color: #90EE90;">Green</td> <td>Little or no risk to the environment or human health.</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #FFFF00;">Yellow</td> <td>Low or moderate risk. It is acceptable for use at least it can be substituted with one rated</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #FF0000;">Red</td> <td>High impact and risk. Phasing out and replacing it with a green or yellow rated.</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #808080;">Grey</td> <td>Risk data unknown or incomplete. Further investigation is needed to rate the material.</td> </tr> </tbody> </table>	Green	Little or no risk to the environment or human health.	Yellow	Low or moderate risk. It is acceptable for use at least it can be substituted with one rated	Red	High impact and risk. Phasing out and replacing it with a green or yellow rated.	Grey	Risk data unknown or incomplete. Further investigation is needed to rate the material.
Green	Little or no risk to the environment or human health.								
Yellow	Low or moderate risk. It is acceptable for use at least it can be substituted with one rated								
Red	High impact and risk. Phasing out and replacing it with a green or yellow rated.								
Grey	Risk data unknown or incomplete. Further investigation is needed to rate the material.								
<p>Identification and Measurement of Transportation Waste</p> <ol style="list-style-type: none"> I. Identification of the activities in the value stream requiring transportation for either raw material, WIP, or finished goods. II. Identification of the mode of transportation employed. III. Measurement of the distances travelled. 	<p>Identification and Measurement of Emissions Waste</p> <ol style="list-style-type: none"> I. Find out the sources of emissions and effluents in the value stream. II. Identification of the type of emissions and effluents coming from each source found out. III. Measure the amount of emission or effluent during a time frame. 								

Figura 5.11 – Metodo per la raccolta dei dati relativi agli sprechi green (Cherrafi et al., 2018)

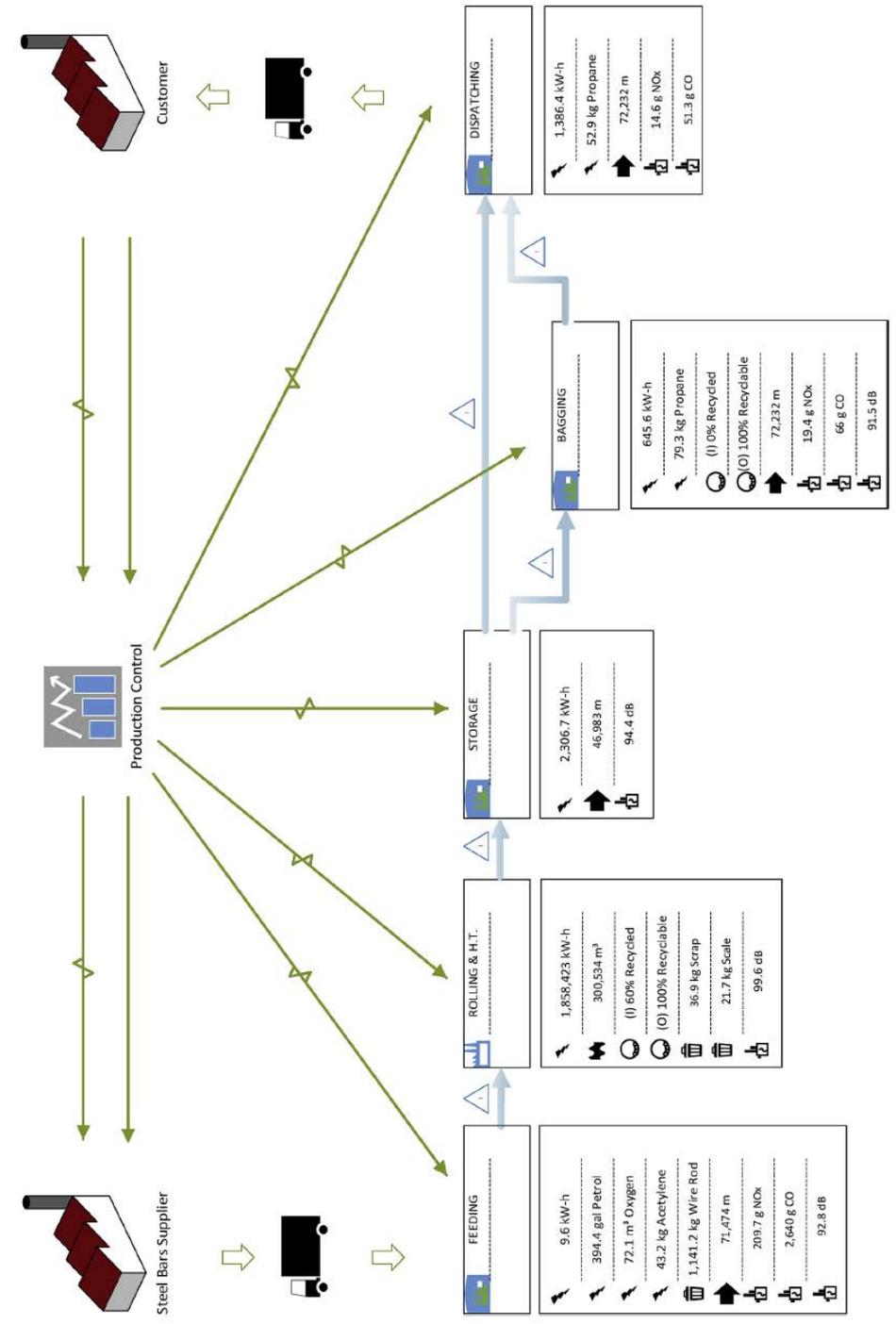


Figura 5.12 – E-VSM (Cherraji et al., 2018)

Tra gli sprechi green è possibile notare che manca quello relativo alla biodiversità. Questo spreco, infatti, richiede dati storici sulla biodiversità esistente prima della costruzione della struttura, tuttavia questi dati non erano disponibili. È inoltre assente la valutazione delle performance operative tipica della VSM.

Nonostante Cherrafi et al. si limitino ad includere nella VSM solo gli aspetti legati alla sostenibilità ambientale, essi forniscono un metodo strutturato per la costruzione dell'E-VSM e l'implementazione dei miglioramenti, che si rifà a uno degli strumenti principali del Lean Management dedicati alla ricerca della perfezione.

5.6 Sustainable Value Stream Mapping e Industria 4.0

In uno studio del 2018, Guidat e Phuong, applicano la Sustainable VSM ad un caso studio. Le metriche ambientali prese in considerazione dagli autori sono il consumo di acqua, il consumo di energia e la generazione di scarti (Guidat e Phuong, 2018⁵³). Viene introdotta una relazione per il calcolo del consumo d'acqua (water consumption rate, wcr) riportata di seguito:

$$wcr = \frac{wc}{NB}$$

dove:

- wc = quantità d'acqua consumata come pianificata/utilizzata/persa in un singolo processo
- NB = numero di unità prodotte da un singolo processo

La formula misura quindi il consumo di acqua su unità prodotte. La metrica assume una rappresentazione diversa all'interno della Sus-VSM rispetto a quella proposta da Badurdeen e Faulkner (vedi *Figura 5.13* a pagina seguente)

⁵³ Guidat T., Phuong N.A., 2018, Sustainable value stream mapping and technologies of Industry 4.0 in manufacturing process re-configuration: A case study in an apparel company, *2018 IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics (SOLI)*, Singapore, Singapore.

Planned	Used	
100	116	
	0	Lost

Figura 5.13 – Icona rappresentate il consumo d'acqua (Guidat e Phuong, 2018)

Il consumo di energia è dovuto alle attrezzature (calcolato con l'“electricity consumption rate by equipment per day in a single process”, o ecre) e ai trasporti (calcolato con l'“electricity consumption rate by transport per day in a single process”, o ecrt). Il calcolo dei due consumi è riportato di seguito:

$$ecre = \frac{ece}{NB}$$

$$ecrt = \frac{ect}{NBT}$$

dove:

- ece = consumo giornaliero di elettricità da parte dei macchinari per un singolo processo
- ect = consumo giornaliero di elettricità da parte dei mezzi di trasporto per un singolo processo
- NBT = numero di unità trasportate giornalmente dai mezzi per un singolo processo

La rappresentazione dell'utilizzo di energia è riportata in *Figura 5.14*.

Energy consumption	4.48	0
---------------------------	------	---

Figura 5.14 – Icona rappresentante il consumo di energia (Guidat e Phuong, 2018)

Al posto del consumo di materia prima viene presa in considerazione la generazione di scarto, suddivisa in rifiuti solidi (misurati in kg), materiale riciclato (parte dei rifiuti solidi che può essere riutilizzata per altri scopi), fumi di scarico (misurati con tre

livelli riportati nella legenda di *Figura 5.15*) e polveri (misurata in $[mg/m^3]$ secondo le normative nazionali).

Solid waste	Recycled	Legend	
200	157		Dangerous
Exhausted fumes	Dust		Alert
			Safe

Figura 5.15 – Icona utilizzata per rappresentare la generazione di scarto (Guidat e Phuong, 2018)

Per quanto riguarda, infine, le metriche sociali, vengono utilizzate le stesse della Sus-VSM ma cambia la rappresentazione (*Figura 5.16*): E, H, P e S rappresentano le quattro dimensioni del rischio dell'ambiente di lavoro, PLI è il Physical Load Index mentre N è il livello di rumore.

E	H
P	S
PLI	N

Figura 5.16 – Rappresentazione delle metriche sociali (Guidat e Phuong, 2018)

Nella parte finale dello studio viene mostrato come l'utilizzo di etichette RFID (Radio Frequency Identification) possa essere un buon punto di partenza per l'implementazione di tecnologie in ambito di industria 4.0. L'utilizzo di questo tipo di etichette, assieme a computer e software dedicati, permetterebbe di tracciare una serie di dati sulla produzione in real-time permettendo la costruzione di una Sus-VSM in tempo reale. Gli autori non considerano le metriche legate alla sostenibilità economica.

5.7 Sustainable Value Stream Mapping Applicata all'Industria del Mobile

Anityasari et al., in uno studio del 2018, utilizzano la Sus-VSM in un caso studio nel settore del mobile. A pagina seguente, in *Figura 5.17*, viene riportato lo schema seguito per la selezione delle metriche: il punto di partenza è stato quello di creare un database contenente un insieme di indicatori sulla produzione snella e sostenibile, per poi passare alla selezione di quelli che più si adattano all'industria del mobile attraverso un questionario. Il processo di selezione ha quindi individuato 41 metriche dal mondo Lean e altri 77 indicatori relativi alla produzione sostenibile, dei quali 26 rilevanti per l'industria del mobile. Tra queste 67 metriche totali, attraverso il questionario, sono state selezionate quelle appropriate per il caso studio. Nella *Tabella 5.3* a pag. 124 vengono riportati gli indicatori suddivisi in (Anityasari et al., 2018⁵⁴):

- Metriche basate sul Lean Manufacturing
- Metriche basate sulla produzione sostenibile
- Progettazione delle metriche utilizzate nella Sus-VSM basate sul Lean Manufacturing e sulla produzione sostenibile (evidenziate in verde)

⁵⁴ Anityasari M., Ciptomulyono U., Hartini S., Pudjotomo D., Sriyanto, 2018, Sustainable-value stream mapping to evaluate sustainability performance: a case study in an Indonesian furniture company, *MATEC Web of Conferences*, vol. 154.

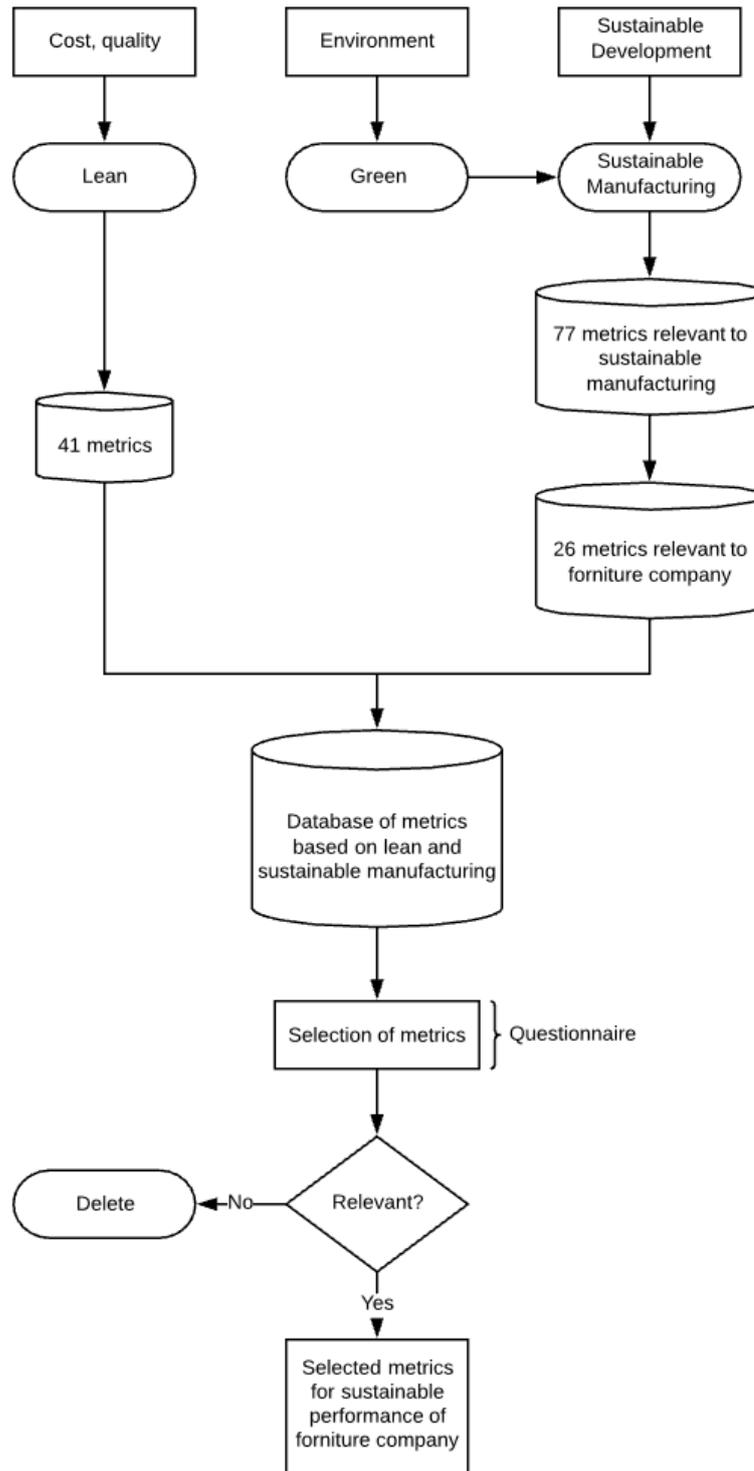


Figura 5.17 – Schema seguito per la selezione delle metriche (Anityasari et al., 2018)

Tabella 5.3 – Metriche selezionate per il caso studio in esame (Anityasari et al., 2018)

Initial metrics from lean and sustainable manufacturing	Selected metrics
<p>Metrics in value stream mapping for ensure sustainable manufacturing:</p> <p>Economic: time, work in process, cost, defect</p> <p>Environment: CO₂ emission, energy consumption, hazard waste, material waste, Packaging waste, waste metal container, water waste, food waste, material consumption, water consumption</p> <p>Social: biodiversity, number of man hour, environment healthy safety, absence day, physical load index, noise, local community, sickness rate, employee training, hazard material</p>	<p>Economic: time, work in process, cost, product defect</p> <p>Environment: energy consumption, material waste and consumption</p> <p>Social: environment health & safety, physical load index, sickness rate, Employee training, hazard material</p>
<p>Design of metrics in sustainable-value stream mapping for furniture company based on lean and sustainable manufacturing</p>	<p>Economic: time, work in process, cost, product defect</p> <p>Environment: energy consumption, material waste and material consumption, recycling of waste</p> <p>Social: health rate of employee, safety rate of employee, satisfaction rate of employee, training of employee</p>
<p>Metrics for measuring sustainability in furniture industries:</p> <p>Economic: revenue, operating profit, net profit, tax payments, operational costs, comparison of the wages with the value set by the market, local suppliers</p> <p>Environment: generation of dangerous waste, waste disposal, effluent treatment, recycling of waste, atmospheric emissions, recycling of products, reuse of products, renewable energy consumption, efficiency of energy consumed, consuming renewable materials, adherence to environmental standards, water consumption</p> <p>Social: employee satisfaction, employee training and development, serious and fatal accidents (frequency and number), employee health evaluation, child labor, complaints of dust, business ethics</p>	<p>Economic: revenue, operational costs</p> <p>Environment: recycling of waste, energy efficiency, material consumption</p> <p>Social: employee satisfaction, accidents rate (frequency and number), employee health evaluation, local supplier</p>

Nella pagina seguente viene riportato in *Figura 5.18* un esempio di Sustainable Value Stream Mapping proposta dagli autori: troviamo, oltre alla time line, la material line per valutare l'efficienza nell'utilizzo dei materiali, la energy line per valutare l'efficienza dell'energia, la linea dove vengono riportate le quantità di prodotti difettosi e quelli buoni per la valutazione della qualità, la linea dei costi e, infine, la linea per la valutazione della salute e sicurezza degli operatori.

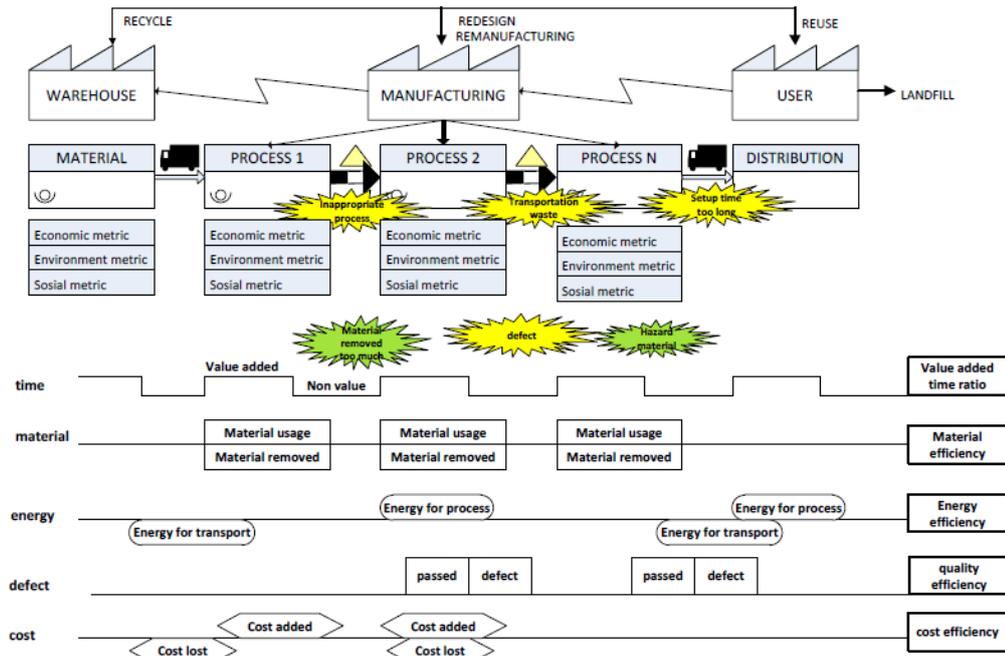


Figura 5.18 – Sus-VSM con gli indicatori per l'industria del mobile (Anityasari et al., 2018)

Il lavoro di Anityasari et al. è interessante in quanto viene mostrata per la prima volta una metodologia per la scelta delle metriche in uno specifico settore ed inoltre viene effettuata una classificazione più precisa delle metriche. La Sus-VSM presentata dagli autori risulta essere completa nella valutazione della sostenibilità, prendendo in esame tutte e tre le sue dimensioni.

5.8 Ergonomic Value Stream Mapping (Ergo-VSM)

Il lavoro di Arce et al. del 2018, ha lo scopo di inserire all'interno della VSM aspetti legati all'ambiente di lavoro fisico e psicosociale. Tutto lo studio si basa sul concetto di "carico di lavoro mentale soggettivo" (Subjective Mental Workload, SMWL), definito come lo sforzo compiuto dalla mente durante una prestazione individuale e correlato alla capacità mentale di un individuo. Per calcolarlo ci sono diverse tecniche; nel loro studio gli autori decidono di utilizzare il Task Load Index (TLX)

sviluppato dalla NASA, che valuta il carico mentale in base a sei dimensioni (Arce et al., 2018⁵⁵):

- Domanda mentale
- Domanda fisica
- Domanda temporale
- Performance
- Sforzo
- Frustrazione

Attraverso un questionario (*Figura 5.19*) i soggetti studiati daranno un punteggio da 0 a 100 per ogni dimensione, successivamente verrà assegnato un peso, da 0 a 5, ad ognuna di esse determinato dalla scelta degli individui della dimensione più rilevante (a livello soggettivo) tramite un confronto a coppie delle dimensioni. I punteggi e i pesi vengono quindi combinati per calcolare una media pesata in un unico punteggio complessivo del carico di lavoro mentale. Il punteggio viene riportato all'interno di ogni process box (*Figura 5.20*, a pagina seguente).

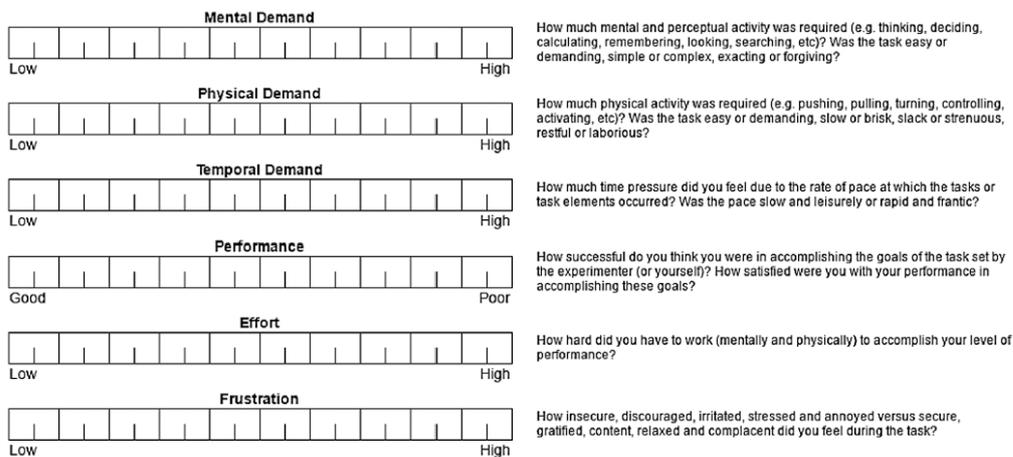


Figura 5.19 – Questionario utilizzato per il calcolo del SMWL, (Arce et al., 2018)

⁵⁵ Arce A., Leon-Duarte J.A., Romero-Dessens L.F., 2018, Ergonomic Value Stream Mapping: A Novel Approach to Reduce Subjective Mental Workload, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 605, pp. 307-317.

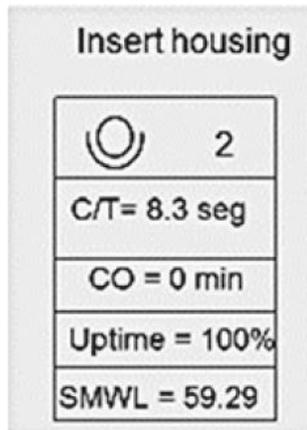


Figura 5.20 – Process box con SMWL

Il lavoro di Arce et al. prende in considerazione solo aspetti legati alla sostenibilità sociale, focalizzandosi sull'impatto che può avere il carico di lavoro non solo a livello fisico, ma anche a livello mentale. Nonostante quindi non si tratti di uno studio volto alla valutazione completa della sostenibilità, risulta sicuramente utile in quanto si può pensare di utilizzare il SMWL come nuova metrica da inserire nella Sus-VSM.

5.9 Life Cycle Value Stream Mapping (LC-VSM)

Il lavoro del 2019 di Anityasari et al. ha l'obiettivo di ampliare lo spettro di valutazione della sostenibilità oltre i confini aziendali. Quando si va a valutare la sostenibilità produttiva, infatti, è necessario estendere l'analisi a tutto il ciclo di vita del prodotto, comprendente le quattro fasi di pre-produzione, produzione, utilizzo e post-utilizzo (Anityasari et al., 2019⁵⁶). A questo scopo gli autori introducono la Life Cycle Value Stream Mapping (LC-VSM), nella quale saranno presenti indicatori di sostenibilità economica, sociale e ambientale. Le metriche dovranno essere selezionate per ogni fase, in quanto ognuna di esse sarà caratterizzata da diverse attività:

⁵⁶ Anityasari M., Ciptomulyono U., Hartini S., 2019, Life Cycle – Value Stream Mapping: Evaluating Sustainability Using Lean Manufacturing Tools in The Life Cycle Perspective, *AIP Conference Proceedings*, vol. 2114, pp. 030024-1 - 030024-8.

- Pre-produzione: è la fase di preparazione delle materie prime, le attività principali, quindi, riguarderanno la loro natura e l'approvvigionamento
- Produzione: comprende tutte quelle attività che precedono la distribuzione del prodotto finito; le metriche saranno perciò relative al tempo, consumo di materiale/energia/acqua, i costi e la forza lavoro
- Utilizzo: metriche relative al tempo, energia ed altre risorse necessarie all'utilizzo del prodotto
- Post-utilizzo: fase in cui il prodotto viene smaltito, riutilizzato, riutilizzato dopo un trattamento oppure riciclato

Nella *Figura 5.21*, riportata a pagina seguente, viene mostrato un esempio di LC-VSM in cui è possibile vedere, oltre alle possibili metriche che possono essere incorporate al suo interno, anche le quattro fasi del ciclo di vita del prodotto.

Lo studio di Anityasari et al. sposta il focus dai processi aziendali a tutto il ciclo di vita del prodotto. La LC-VSM, inoltre, per come è stata concepita dagli autori, comprende tutti gli aspetti della sostenibilità. Nonostante ciò, gli autori non scendono nei particolari per quanto riguarda le possibili metriche da selezionare e la loro rappresentazione all'interno della mappa.

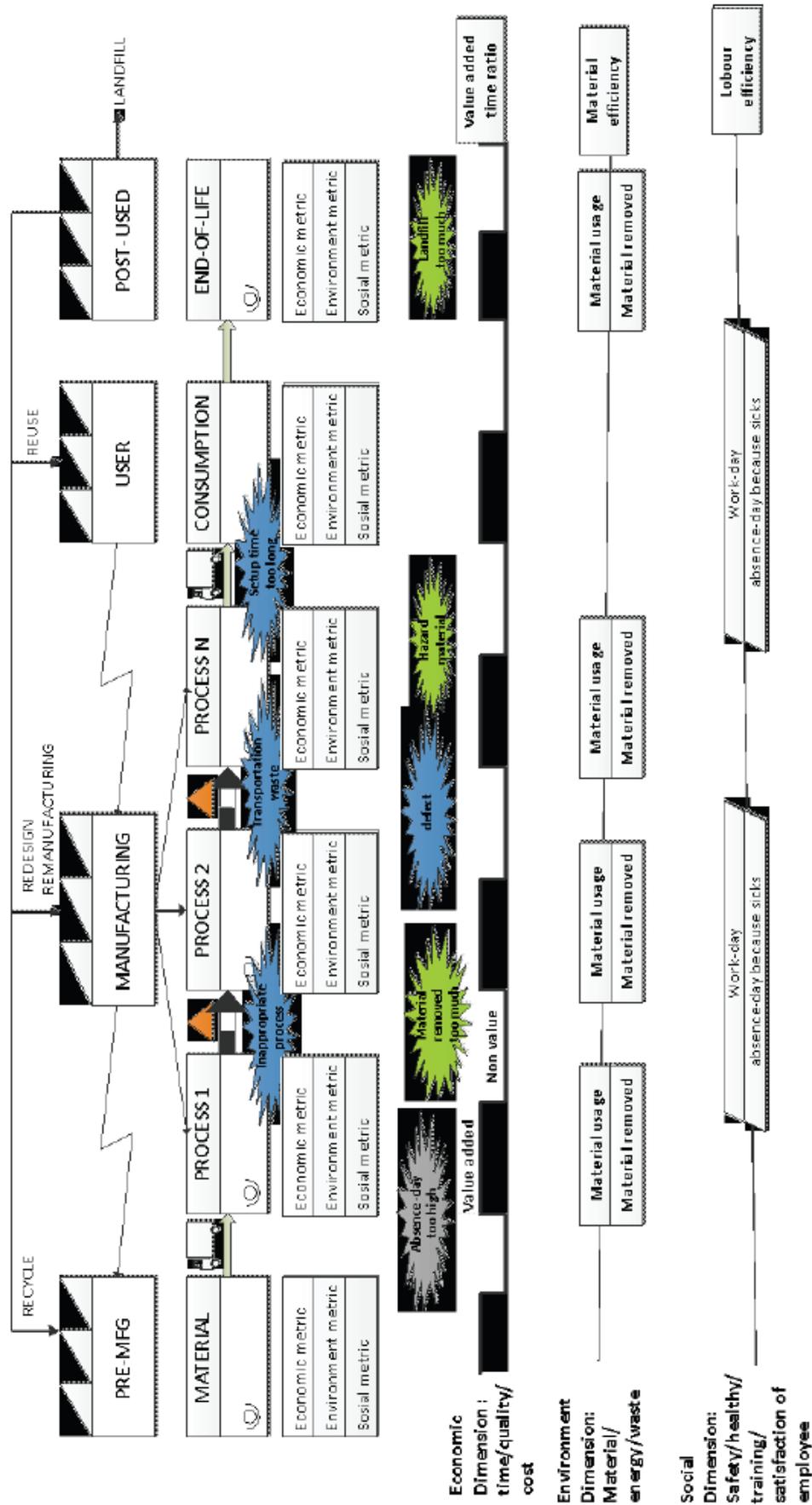


Figura 5.21 – LC-VSM (Amipusari et al. 2019)

5.10 Social Value Stream Mapping (Socio-VSM)

Awang et al. nel 2019 propongono la metodologia Social Value Stream Mapping (Socio-VSM), con il focus sulla dimensione sociale della sostenibilità. Le metriche sociali sono divise in lavoro fisico e ambiente lavorativo, esattamente come nella Sus-VSM di Badurdeen e Faulkner ed in particolare, per quanto riguarda la seconda categoria, le metriche sono le medesime, ovvero il livello di rumore e l'EHPS circle. Per quanto concerne il lavoro fisico, invece, gli autori propongono di scegliere tra una serie di tecniche in base allo scopo (Awang et al., 2019⁵⁷). Le tecniche vengono riportate di seguito (poiché per ognuna verrà fornita solamente una breve descrizione, lascio un riferimento bibliografico per chi volesse fare un approfondimento):

- Rapid Entire Body Assessment (REBA): valutazione rapida di tutto il corpo, che tiene in considerazione il cambio veloce tra posture. Viene utilizzata prevalentemente nel settore dei servizi (Hignett e McAtamney, 2000⁵⁸)
- Rapid Upper Limb Assessment (RULA): valutazione rapida della parte superiore del corpo (Corlett e McAtamney, 1993⁵⁹)
- Ovako Working Posture Analysing System (OWAS): si focalizza sui disturbi legati al lavoro per quattro porzioni del corpo, senza dettagli sugli arti superiori, verificando la frequenza e il tempo speso per ogni postura (Kansi et al., 1977⁶⁰)

⁵⁷ Awang S.R., Gholami H., Jamil N., Mat Saman M.Z., Sharif S., Sulaiman Z., Zakuan N., 2019, Social Value Stream Mapping (Socio-VSM): Methodology to Societal Sustainability Visualization and Assessment in the Manufacturing System, *IEEE Access*, vol. 7, pp. 131638-131648.

⁵⁸ Hignett S., McAtamney L., 2000, Rapid entire body assessment (REBA), *Applied Ergonomics*, vol. 31, n. 2, pp. 201-205.

⁵⁹ Corlett E.N., McAtamney L., 1993, RULA: A survey method for the investigation of work-related upper limb disorders, *Applied Ergonomics*, vol. 24, n. 2, pp. 91-99.

⁶⁰ Kansi P., Karhu O., Kuorinka I., 1977, Correcting working postures in industry: A practical method for analysis, *Applied Ergonomics*, vol. 8, n. 4, pp. 199-201.

- Revised NIOSH Lifting Equation (RNLE): utilizzata per prevenire o mitigare il mal di schiena lombare dovuto al sollevamento manuale dei carichi (Anderson et al., 1994⁶¹)
- Physical Load Index (PLI)

Per convalidare questa metodologia, la Socio-VSM è stata applicata ad un caso studio in un'azienda produttrice di substrati per hard disk, dove è stato utilizzato il REBA come indicatore per il lavoro fisico. In *Figura 5.22* viene riportata parte della current-state Socio-VSM: è possibile osservare nella mappa, oltre ai dati classici della VSM, il cerchio EHPS (sopra i process box), il livello di rumore (riportato sia all'interno del process box, sia in una linea posizionata nella parte inferiore della mappa, dove viene riportato il livello di rumore anche per i buffer inter-operazionali) e, infine, il punteggio REBA (anche questo riportato sia all'interno del process box, sia nella linea sottostante a quella utilizzata per il livello di rumore).

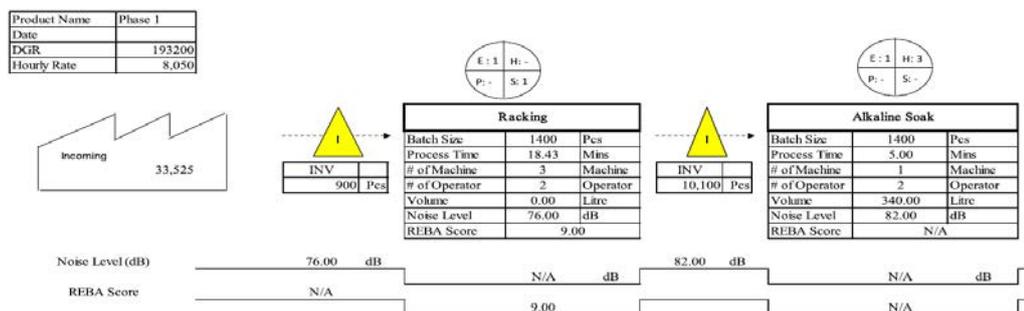


Figura 5.22 – Socio-VSM parziale (Awang et al., 2019)

Gli autori propongono nel loro studio di scegliere la tecnica più appropriata, in base allo scopo, ma anche al settore, per valutare il lavoro fisico. Le tecniche citate nell'articolo non sono complete, in quanto mancano altri importanti metodi come l'OCRA e Snook-Ciriello, tuttavia può costituire un'integrazione per quanto riguarda le possibili metriche sociali, relative al lavoro fisico, da utilizzare per la costruzione della Sus-VSM.

⁶¹ Anderson V., Gang A., Water T., 1994, *Applications manual for the revised NIOSH lifting equation*, United States Department of Health and Human Services, National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati, Ohio, U.S.A.

Nella *Tabella 5.4* vengono riportati tutti gli studi presi in esame in questo capitolo. Come si può osservare, nei cinque anni che hanno seguito la pubblicazione dell'articolo di Badurdeen e Faulkner sulla Sus-VSM, gli studiosi hanno cominciato a prendere in considerazione maggiormente la dimensione sociale della sostenibilità (due dei lavori visti, in particolare, si concentrano esclusivamente su tale dimensione).

Tabella 5.4 – Studi post Sus-VSM a confronto

Autori	Strumento	Metriche ambientali	Metriche sociali	Metriche economiche	Visualizzazione
Sparks (2014)	Supply Chain Sus-VSM (SC Sus-VSM)	✓	✓		✓
Edtmayr et al. (2015)	“E-VSM”	✓ (focus: scarti di processo)			✓ (parziale)
Asokan et al. (2015)	LCA integrated VSM Framework	✓	✓	✓	✓
Garza-Reyes et al. (2016)	Sustainable Transport VSM (STVSM)	✓			✓
Cherrafi et al. (2018)	PDCA-based approach to E-VSM	✓			✓ (parziale)
Guidat e Phuong (2018)	Sus-VSM	✓	✓		✓
Anityasari et al. (2018)	Sus-VSM	✓	✓	✓	✓
Arce et al. (2018)	Ergonomic VSM (Ergo-VSM)		✓		✓
Anityasari et al. (2019)	Life Cycle VSM (LC-VSM)	✓	✓	✓	✓
Awang et al. (2019)	Social VSM (Socio VSM)		✓		✓

Conclusioni

Questa parte conclusiva dell'elaborato è dedicata a delle considerazioni finali riguardo alla metodologia della Sustainable Value Stream Mapping, alla luce degli studi analizzati, e alla presentazione di un approccio, tratto da uno studio di Fazleena Badurdeen e Aihua Huang del 2018, per valutare la sostenibilità dei processi produttivi, in ottica triple bottom line, attraverso l'utilizzo delle metriche, con l'obiettivo di adattarlo alla Sus-VSM. Nella *Tabella C1* viene riportato un confronto (basato sulle metriche ambientali, sociali ed economiche) di tutti gli studi visti nei Capitoli 4 e 5, inerenti alla Sus-VSM.

Tabella C1 – Studi a confronto

Autori	Metriche ambientali	Metriche sociali	Metriche economiche
Mason e Simon (2002)	✓ (focus: emissioni CO ₂)		
US EPA (2007a)	✓ (focus: sprechi ambientali)		
US EPA (2007b)	✓ (focus: energia)		
Gati e Torres (2009)	✓ (focus: consumo acqua)		
Fearne e Norton (2009)	✓		
Heikkilä et al. (2010)	✓	✓	✓
Chen e Kuriger (2010)	✓		
Dadashzadeh e Wharton (2012)	✓		
Badurdeen e Faulkner (2014)	✓	✓	
Sparks (2014)	✓	✓	
Edtmayr et al. (2015)	✓ (focus: scarti di processo)		
Asokan et al. (2015)	✓	✓	✓
Garza-Reyes et al. (2016)	✓		
Cherrafi et al. (2018)	✓		
Guidat e Phuong (2018)	✓	✓	
Anityasari et al. (2018)	✓	✓	✓
Arce et al. (2018)		✓	
Anityasari et al. (2019)	✓	✓	✓
Awang et al. (2019)		✓	

La cosa che balza subito all'occhio è che i primi lavori che hanno tentato di includere indicatori di sostenibilità all'interno della VSM sono limitati ad un solo aspetto della sostenibilità, ovvero quello ambientale. In questi studi, inoltre, il focus è limitato solo ad alcuni aspetti dell'eco-sostenibilità, e la rappresentazione delle metriche all'interno della mappa è limitata, non vengono rappresentate infatti più metriche contemporaneamente. Un primo tentativo per includere più metriche all'interno della VSM proviene dallo studio relativo alla Sustainable Manufacturing Mapping (Heikkilä et al., 2010), che riportava una serie di indicatori relativi alle tre dimensioni della sostenibilità, senza tuttavia mostrare come includerli all'interno della mappa. A questo studio seguono i lavori di Chen e Kuriger del 2010 e quello di Dadashzadeh e Wharton del 2012, focalizzati ancora solamente su metriche ambientali. L'articolo di Badurdeen e Faulkner, del 2014, segna un punto di svolta per gli studi riguardanti questa metodologia: per la prima volta, infatti, vengono inclusi nella mappa più indicatori, per ognuno dei quali viene fornita una rappresentazione grafica all'interno della mappa. Un aspetto della sostenibilità che può creare un po' di confusione è quello economico: ciò che ha sempre fatto la VSM è stato misurare le performance operative dei processi; anche se le performance operative costituiscono sicuramente un indicatore economico, in ottica di produzione snella, dal punto di vista della produzione sostenibile, ciò che deve essere incluso all'interno della mappa sono i costi di produzione (Anityasari et al., 2018). Detto questo, il primo studio che troviamo dopo quello di Badurdeen e Faulkner (e sul quale è basato), è un lavoro di tesi di Sparks, nel quale la Sus-VSM viene estesa a livello di supply chain, e all'interno del quale vengono introdotte nuove metriche sociali per una più corretta valutazione della sostenibilità a questo livello. Segue il lavoro di Edtmayr et al. del 2015, focalizzato sugli scarti di processo, e quindi incentrato sull'eco-sostenibilità. Il lavoro di Asokan, che propone l'integrazione tra la VSM e l'LCA, si presenta come il primo studio completo per quanto riguarda la valutazione della sostenibilità, includendo indicatori di sostenibilità ambientale, economica e sociale. Gli altri studi completi, da questo punto di vista, sono quello di Anityasari et al. del 2018 e quello relativo alla LC-VSM (Anityasari et al., 2019). Tra gli studi post Sus-VSM troviamo inoltre quello di Arce et al. del 2018, sulla Ergo-VSM, e quello di Awang et al. del 2019, sulla Socio-VSM, focalizzati sulla dimensione sociale della sostenibilità, a dimostrare che questa

dimensione, negli ultimi anni, sta acquisendo sempre più importanza. A completare gli articoli analizzati ci sono quello di Cherrafi et al., dedicato agli aspetti ambientali, che propone il ciclo PDCA per la costruzione della E-VSM, e il lavoro di Guidat e Phuong per la costruzione della Sus-VSM nel settore del mobile.

Vediamo a questo punto l'approccio basato sulle metriche, proposto da Badurdeen e Huang nel 2018, per la valutazione delle performance di sostenibilità a livello di linea produttiva e/o impianto produttivo. I due autori propongono una metodologia suddivisa in quattro fasi, ovvero misurazione, normalizzazione, ponderazione e aggregazione, che vedremo nel seguito e una struttura gerarchica per la valutazione di un indice di sostenibilità, che potrà essere riferito alla linea (si parlerà in questo caso di Line Sustainability Index, LiSI) o al plant produttivo (Plant Sustainability Index, PlaSI), per il cui calcolo dovranno essere stabiliti i punteggi di tre sub-indici, uno per ogni dimensione della sostenibilità, che a loro volta saranno determinati attraverso i punteggi delle singole metriche, raggruppate in sub-cluster e cluster (Badurdeen e Huang, 2018⁶²). In *Figura C1* viene riportato lo schema della metodologia.

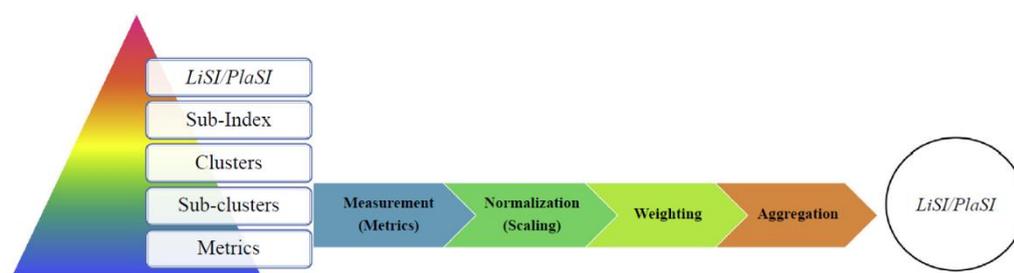


Figura C1 – Schema della metodologia (Badurdeen e Huang, 2018)

Gli autori identificano quindi una serie di metriche, suddivise in sub-cluster e cluster, per la valutazione delle performance ambientali, economiche e sociali sia a livello di linea produttiva, sia a livello di impianto produttivo. In *Tabella C2*, a pagina seguente, vengono riportati i cluster, i sub-cluster e le metriche utilizzati per la valutazione delle performance di sostenibilità economica di una linea.

⁶² Badurdeen F., Huang A., 2018, Metrics-based approach to evaluate sustainable manufacturing performance at the production line and plant levels, *Journal of Cleaner Production*, vol. 192, pp. 462-476.

Tabella C2 – Struttura per la valutazione della sostenibilità economica di una linea o plant (Badurdeen e Huang, 2018)

Sub-Index	Cluster	Sub-cluster	Metrics
Economy	Manufacturing cost	Direct cost	Operation energy cost Direct labor cost (operation labor) Product raw material cost Packaging related cost
		Indirect cost	Scrap material Process-related consumables cost Processing tools-related cost Water cost Maintenance cost Cost of PPE, jigs/fixtures, equipment Other non-operational energy cost Indirect labor cost (maintenance, cleaning, material handler, labors) Training cost Cost of waste disposal treatment
	Operational Performance	Operational efficiency	Lead time Productivity Utilization of manual labor (labor efficiency)

Due sono i cluster individuati dagli autori: i costi di produzione e le performance operative. I costi di produzione, come già detto nel corso dell'elaborato, rappresentano l'aspetto primario per la valutazione della sostenibilità economica, e vengono misurati in [\$/unità]. Questo cluster è composto da altri due sub-cluster, ovvero i costi diretti, attribuibili alla produzione di un certo bene, e i costi indiretti, non attribuibili cioè ad uno specifico oggetto di costo, in questo caso la linea produttiva (Badurdeen e Huang, 2018). Il cluster relativo alle performance operative contiene metriche già incluse nella VSM tradizionale. A livello di plant, che non è altro che un insieme di linee produttive, la struttura per la valutazione della sostenibilità economica rimane la stessa, in quanto a cambiare è solamente il focus. Passando alla valutazione della sostenibilità ambientale, invece, la struttura viene riportata in *Tabella C3*, a pagina successiva.

Tabella C3 - Struttura per la valutazione della sostenibilità ambientale di una linea (Badurdeen e Huang, 2018)

Sub-Index	Cluster	Sub-cluster	Metrics	
Environment	Material use and efficiency	Material content	Total weight of product raw material use Packaging material use efficiency Total weight of packaging material use Mass of restricted material use	
		Material efficiency	Product raw material use efficiency	
	Energy use and efficiency	Energy content	Total energy consumed at line Transportation energy use Idle energy losses Percentage of renewable energy usage	
		Energy efficiency	Energy use efficiency	
	Other resources use and efficiency	Water content	Total amount of water consumed at line Percentage of recycled water use	
		Water efficiency	Water use efficiency	
	Waste and Emission	Waste	Waste	Amount of solid waste generated Amount of liquid waste generated Residue generation intensity
			Emission	Amount of GHG generated Hazardous gas emission
		Waste recovery and disposal treatment	Percentage of restricted material recovered (reused, recycled if info available) Percentage of consumables recovered (reused, recycled if info available) Percentage of used packaging material recovered (reused, recycled if info available) Percentage of used raw material/scrapped parts recovered (reused, recycled, remanufactured if info available)	

I cluster sono quattro: i primi tre si riferiscono alla quantità di risorse naturali (in questo caso materiali, energia e acqua) utilizzate e l'efficienza con la quale sono usate; il quarto cluster, invece, è quello relativo agli sprechi e le emissioni, output inevitabili di una linea produttiva. A livello di plant (vedi *Tabella C4* a pagina seguente) si aggiunge un altro cluster, relativo al fine vita (End-Of-Life, EOL) di un prodotto, incluso per valutare le attività della metodologia 6R.

Tabella C4 - Struttura per la valutazione della sostenibilità ambientale di un plant (Badurdeen e Huang, 2018)

Sub-Index	Cluster	Sub-cluster	Metrics
Environment	Material use and efficiency	Material content	Total amount of product material usage Total amount of packaging material usage Percentage of hazardous material usage Percentage of renewable material usage
		Material efficiency and compliance	Product material use efficiency Number of notices of violation for hazardous material usage
	Energy use and efficiency	Energy content	Total amount of energy usage Idle energy losses Percentage of renewable energy usage
		Energy efficiency	Energy intensity
	Other resources use and efficiency	Water content	Total amount of water consumption Percentage/amount of water reused/recycled
		Water efficiency	Water intensity (water use/unit)
	Waste and emissions	Waste	Total amount of solid waste generated Total amount of hazardous waste generated Percentage of waste recovered Total amount of liquid waste generated Residual generation intensity Number of notices of violation for waste generated
		Emissions	Total amount of GHG generated Total amount of hazardous gas generated GHG intensity Number of notices of violation for emission generated
	Product EOL	Product EOL	Percentage of product designed for EOL management Percentage of product/component recovered

Passando, infine, alle metriche sociali, a livello di linea è presente un solo cluster, ovvero l'impatto sulla salute e la sicurezza dei dipendenti che lavorano in ogni postazione. Come si può osservare in *Tabella C5*, riportata nella pagina seguente, si

possono includere due sub-cluster in questo aspetto: l'ambiente di lavoro e i danni e le malattie correlate all'attività lavorativa.

Tabella C5 - Struttura per la valutazione della sostenibilità sociale di una linea (Badurdeen e Huang, 2018)

Sub-Index	Cluster	Sub-cluster	Metrics
Society	Health and safety	Employees' work environment	Exposure to corrosive/toxic chemicals Exposure to high temperature surfaces Exposure to high speed components and splashes Exposure to high voltage electricity Exposure to high decibel noise Physical load index
		Work-related injuries and illness	Injury rate (OSHA incident rate) Absence due to injuries or work related illness

A livello di plant produttivo si aggiunge il cluster relativo al coinvolgimento degli stakeholder. I clienti non sono inclusi in questo livello, in quanto il plant costituisce un'unità produttiva senza nessun coinvolgimento nella vendita, ma a livello di azienda (enterprise). In questo cluster sono inclusi, quindi, gli aspetti legati al rispetto dei diritti umani, sia per quanto riguarda i dipendenti, sia per quanto riguarda la comunità. In *Tabella C6*, a pagina successiva, viene riportata la struttura per la valutazione della sostenibilità sociale a livello di impianto produttivo.

Tabella C6 - Struttura per la valutazione della sostenibilità sociale di un plant (Badurdeen e Huang, 2018)

Sub-Index	Cluster	Sub-cluster	Metrics
Society	Health and safety	Employee health and safety	Work-related incident rate Absence due to injuries or work-related illness Percentage of workers with work-related disease Percentage of workstations with noise level exceeding 85 db Percentage of workstations with corrosive/toxic chemicals Percentage of workstations with high voltage electricity Percentage of workstations with high temperature surfaces Percentage of workstations with high speed components/splashes Percentage of employees receiving safety training Number of OSHA citations
	Stakeholders engagement	Employee diversity and development	Percentage of Employee turnover Percentage of employee satisfaction Fair and equal treatment for workers Average number of hours of employee training per year Employee diversity
		Other stakeholders diversity and development	Community quality of life Community outreach activities Community spending and charitable contributions

Vediamo ora le quattro fasi che compongono la metodologia. La prima fase è quella di misurazione, nella quale, per ogni metrica individuata verranno raccolti i relativi dati. Una volta effettuate le misurazioni, queste non potranno essere sommate, in quanto ogni metrica sarà caratterizzata da differenti unità di misura. Per riuscire ad ottenere un dato aggregato, quindi, sarà necessario convertire i dati ottenuti dalla fase di misurazione, attraverso un processo di normalizzazione, in punteggi adimensionali. La normalizzazione non segue nessuno standard e per ogni metrica il processo sarà specifico. La normalizzazione porterà ad avere un punteggio da 0 a 10 dove il valore 0 rappresenterà il caso peggiore mentre il valore 10 il caso migliore. La normalizzazione può essere fatta con due metodi:

- Best-worst case scenario: viene utilizzato un valore percentuale da 0 a 100, dove lo 0 rappresenta il caso peggiore, mentre il valore 100 il caso migliore, ed in base al valore percentuale si assegna il punteggio dividendo per dieci
- Benchmark normalization: per ogni metrica dovrà essere stabilito un punto di riferimento (benchmark) esterno, successivamente verrà calcolato il rapporto tra la metrica ed il benchmark esterno stesso. Attraverso una curva di normalizzazione o una formula matematica il valore viene convertito

Il passo successivo è l'assegnazione dei pesi ad ogni elemento dell'indice di sostenibilità: dovrà perciò essere assegnato un peso ad ogni sub-indice, cluster, sub-cluster e metrica. I metodi utilizzati per l'assegnazione dei pesi sono due:

- Assegno lo stesso peso ad ogni elemento: non riflette l'importanza relativa degli elementi aggregati e non riflette nemmeno la realtà
- Analytic Hierarchy Process (AHP): approccio matematico (Saaty, 1980⁶³)

L'ultima fase è quella di aggregazione: i dati normalizzati vengono sistematicamente aggregati nel livello successivo più elevato, in base al peso assegnato ai vari elementi. Di seguito vengono presentate le formulazioni matematiche necessarie per il calcolo dell'indice di sostenibilità. Definiamo M_q il valore normalizzato della q-esima metrica, w_m^q sarà il peso della q-esima metrica, allora il punteggio del p-esimo sub-cluster (SC_p) sarà dato da:

$$SC_p = \sum_q M_q w_q^m$$

Poiché per il calcolo del punteggio dei cluster, è necessario conoscere il punteggio di ogni sub-cluster l'operazione riportata sopra dovrà essere fatta per ogni sub-cluster p. Le stesse considerazioni fatte ora valgono per il punteggio dei cluster: per ogni cluster (C_m), quindi, verrà calcolato il punteggio secondo la seguente formula:

$$C_m = \sum_p SC_p w_p^{SC}$$

⁶³ Saaty T.L., 1980, *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York.

Ogni sub-indice è caratterizzato da un certo numero di cluster. Siccome i sub-indici sono tre, uno economico, uno ambientale ed uno sociale il numero dei cluster per ognuno di essi sarà diverso. Indicando con r , s e t il numero di cluster rispettivamente per il sub-indice economico, ambientale e sociale, e con w_1^C , w_j^C e w_k^C il peso di ogni cluster, i sub-indici saranno calcolati come di seguito:

$$Ec = \sum_{i=1}^r C_i w_i^C$$

$$En = \sum_{j=1}^s C_j w_j^C$$

$$So = \sum_{k=1}^t C_k w_k^C$$

L'indice di sostenibilità a livello di linea (Line Sustainability Index, o LiSI), o impianto (Plant Sustainability Index, PlaSI), sarà semplicemente pari alla somma pesata dei tre sub-indici. Indicando con w_{Ec} , w_{En} e w_{So} i pesi degli indici economico, ambientale e sociale, il LiSI/PlaSI sarà pari a:

$$LiSI/PlaSI = w_{Ec} Ec + w_{En} En + w_{So} So$$

La metodologia appena presentata viene applicata al caso studio di un'azienda produttrice di antenne satellitari: l'azienda è la stessa che è stata presa in considerazione da Badurdeen e Faulkner, nel 2014, per dimostrare l'applicabilità della Sus-VSM. Nella *Tabella C7* vengono riportati alcuni dati, presi dalla Sus-VSM (vedi *Figura 4.17* a pag. 95).

Tabella C7 – Dati presi dalla Sus-VSM (Badurdeen e Faulkner, 2014)

Metriche	Valore
LT	12,64 giorni
VA Time	1952 secondi
Percentuale di tempo a valore aggiunto	< 1%
Consumo d'acqua	231 galloni/unità (64 galloni/unità persi)
Utilizzo delle materie prime	8,25 lbs/unità
Tasso di utilizzo del materiale	67%
Consumo di energia	3,78 kWh/unità

Nell'articolo, per questioni di spazio, viene dimostrato solo il calcolo del LiSI. Per la valutazione della sostenibilità economica i costi di produzione, rappresentati da tutte le metriche presenti nei due sub-cluster relativi ai costi diretti e a quelli indiretti, sono stati aggregati tutti in un unico valore, in quanto l'unità di misura è la stessa per tutti, ovvero [\$/unità]. Per le performance operative, invece, tutti i dati vengono comparati e normalizzati (usando un punteggio pari a 5) attraverso un benchmark, oppure tramite la tecnica del best-worst case scenario. I punteggi normalizzati vengono poi aggregati assegnando lo stesso peso ai vari elementi. Per vedere come si determinano i punteggi dei sub-cluster, cluster, sub-indici e l'indice di sostenibilità viene utilizzato come esempio dagli autori il calcolo del punteggio del cluster relativo alle performance operative: nel seguito verrà presentato un esempio generale. Come già detto il tutto parte con la misurazione delle metriche; una volta trovati tutti i dati relativi alle metriche si passa alla normalizzazione delle metriche per trovare un punteggio 0-10 adimensionale. Per il caso studio sono state utilizzate sia la normalizzazione tramite benchmark sia la best-worst case scenario. A tutti i benchmark viene assegnato il punteggio cinque come baseline. Alle metriche, per cui valori più bassi riflettono performance migliori, viene applicata la seguente formula:

$$\text{Metrica normalizzata} = \frac{\text{dato del benchmark} \times 10 - \text{dato misurato} \times 5}{\text{dato del benchmark}}$$

Dove il dato misurato è la misura della metrica mentre il dato del benchmark è il valore preso in considerazione per il confronto. Le metriche, invece, per le quali un valore più elevato riflette prestazioni migliori, vengono normalizzate attraverso la seguente formula:

$$\text{Metrica normalizzata} = \frac{\text{dato misurato} \times 5}{\text{dato del benchmark}}$$

Per la normalizzazione con la best-worst case scenario basta tradurre il valore percentuale in un punteggio dividendo per dieci. Le stesse considerazioni fatte finora valgono anche per le metriche ambientali e quelle sociali. Lo stesso peso viene assegnato a tutte le metriche, sub-cluster, cluster e sub-indici. In *Figura C2* a pagina successiva vengono riportati, in uno spider-plot, i punteggi dei cluster e dei sub-indici dell'azienda produttrice di antenne paraboliche.

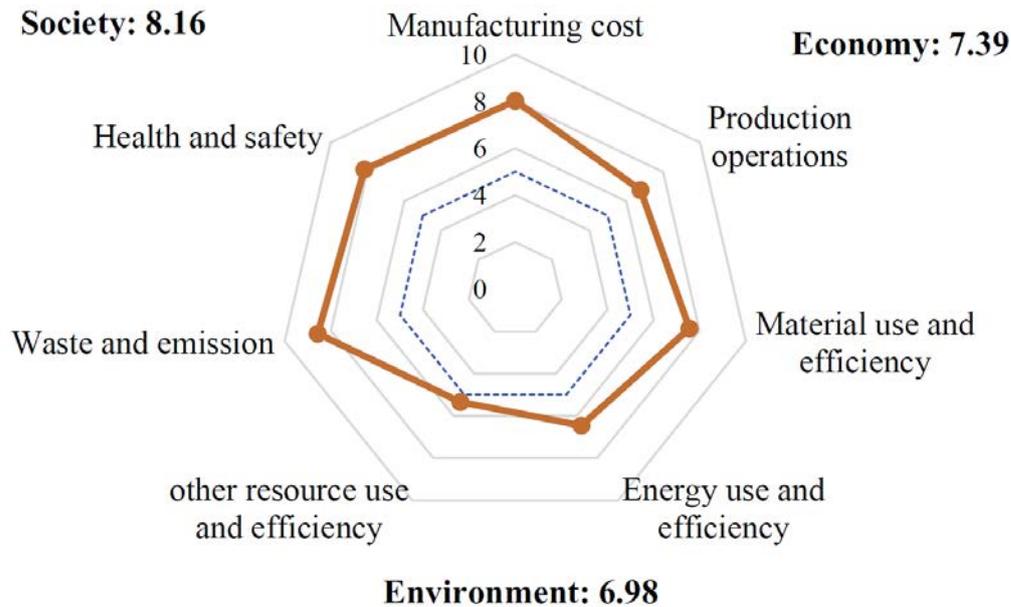


Figura C2 – Punteggi dei cluster e dei sub-indici della linea (Badurdeen e Huang, 2018)

Il LiSI, applicando lo stesso peso per i vari sub-indici (pari a 1/3) sarà di 7,51. Dallo spider plot si può subito notare come possibili dei miglioramenti si possano ottenere per il consumo d'acqua (punteggio del sub-cluster pari a 2,89) e per il consumo di energia (punteggio del sub-cluster pari a 5,6). Per quanto riguarda le altre dimensioni i punteggi risultano essere soddisfacenti.

Alla luce della metodologia appena esposta, è evidente come quest'ultima fornisca una valutazione della sostenibilità, in ottica TBL, molto più completa rispetto alla Sus-VSM: questo è principalmente dovuto al maggior limite della VSM, ovvero la necessità di mantenere la semplicità di lettura, che impone l'utilizzo di un limitato utilizzo di metriche. Una possibile soluzione potrebbe essere, quindi, effettuare la valutazione della sostenibilità con la metodologia presentata da Badurdeen e Huang, in modo da avere un indice di sostenibilità comprensivo di tutti gli aspetti legati alla sostenibilità, e riportare, all'interno della Sus-VSM, un'icona, che può essere o lo spider plot appena visto, oppure un triangolo, ad esempio, con al centro il LiSI/PlaSI (a seconda che la mappa sia costruita a livello di plant produttivo o di supply chain) e ai vertici i tre sub-indici relativi alle performance di sostenibilità ambientale, economica e sociale (Figura C3 a pagina seguente).

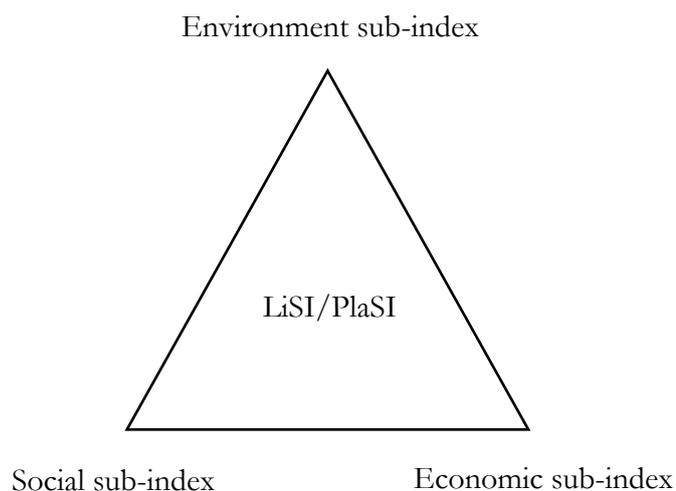


Figura C3 – Possibile icona per la rappresentazione del LiSI/PlaSI all'interno della Sus-VSM

Attraverso questa rappresentazione visiva si andranno sicuramente a perdere molte informazioni contenute all'interno della Sus-VSM: i punteggi delle singole metriche, infatti non saranno presenti all'interno della mappa, nella quale verranno riportati solamente i punteggi aggregati a livello di indice e sub-indici, ma in tabelle, come quelle presentate in corso di questa parte conclusiva (vedi *Tabelle C2=C6*). Nonostante questa limitazione, il punteggio 1-10 permette sicuramente di capire in modo immediato la situazione attuale dal punto di vista della sostenibilità, e l'analisi dei punteggi delle singole metriche permetterà degli interventi di miglioramento più mirati, prendendo inoltre in considerazione un più ampio range di aspetti legati alle tre dimensioni della sostenibilità.

Bibliografia

Amundson J., Badurdeen F., Brown A., 2014, Sustainable Value Stream Mapping (Sus-VSM) in different manufacturing system configurations: application case studies, *Journal of Cleaner Production*, vol. 85, pp. 164-179.

Anderson V., Gang A., Water T., 1994, *Applications manual for the revised NIOSH lifting equation*, United States Department of Health and Human Services, National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati, Ohio, U.S.A.

Anityasari M., Ciptomulyono U., Hartini S., 2019, Life Cycle – Value Stream Mapping: Evaluating Sustainability Using Lean Manufacturing Tools in The Life Cycle Perspective, *AIP Conference Proceedings*, vol. 2114, pp. 030024-1 - 030024-8.

Anityasari M., Ciptomulyono U., Hartini S., Pudjotomo D., Sriyanto, 2018, Sustainable-value stream mapping to evaluate sustainability performance: a case study in an Indonesian furniture company, *MATEC Web of Conferences*, vol. 154.

Arce A., Leon-Duarte J.A., Romero-Dessens L.F., 2018, Ergonomic Value Stream Mapping: A Novel Approach to Reduce Subjective Mental Workload, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 605, pp. 307-317.

Asokan P., Ben Ruben R., Vinodh S., 2015, Life cycle assessment integrated value stream mapping framework to ensure sustainable manufacturing: a case study, *Clean Technologies and Environmental Policy*, vol. 18, pp. 279-295.

Awang S.R., Gholami H., Jamil N., Mat Saman M.Z., Sharif S., Sulaiman Z., Zakuan N., 2019, Social Value Stream Mapping (Socio-VSM): Methodology to Societal Sustainability Visualization and Assessment in the Manufacturing System, *IEEE Access*, vol. 7, pp. 131638-131648.

Badurdeen F., Dillion O.W., Feng S.C., Jawahir I.S., Lu T., Rotella G., Rouch K., 2011a, Metrics-based sustainability assessment of a drilling process, *Proceedings of the Global Conference on Sustainable Manufacturing*, San Pietroburgo, Russia.

Badurdeen F., Dillion O.W., Feng S.C., Gupta A., Jayal A.D., Jawahir I.S., Lu T., 2011b, A framework of products and process metrics for sustainable manufacturing, *Advances in Sustainable Manufacturing*, Springer, Berlino.

Badurdeen F., Faulkner W., 2014, Sustainable Value Stream Mapping (Sus-VSM): methodology to visualize and assess manufacturing sustainability performance, *Journal of Cleaner Production*, vol. 85, pp. 8-18.

Badurdeen F., Huang A., 2018, Metrics-based approach to evaluate sustainable manufacturing performance at the production line and plant levels, *Journal of Cleaner Production*, vol. 192, pp. 462-476.

Banister D., Holden E., Linnerud K., 2014, Sustainable development: Our Common Future revisited, *Journal of Cleaner Production*, vol. 26, pp. 130-139.

Bradley R., Jawahir I.S., 2016, Technological Elements of Circular Economy and the Principles of 6R-Based Closed-loop Material Flow in Sustainable Manufacturing, *Procedia CIRP*, vol. 40, pp. 103-108.

Chen F.F., Kuriger G.W., 2010, Lean and Green: a Current State View, *Proceedings of the 2010 Industrial Engineering Research Conference*, Cancun, Mexico.

Chen M., Johnson O., 2011, Quantifying and Managing Supply Chain Greenhouse Gas Emissions, *Stanford Global Supply Chain Management Forum*, Stanford University, Palo Alto, California.

Cherrafi A., Garza-Reyes J.A., Govindan K., Ramanathan U., Romero J.T., 2018, A PDCA-based approach to Environmental Value Stream Mapping (E-VSM), *Journal of Cleaner Production*, vol. 180, pp. 335-348.

Corlett E.N., McAtamney L., 1993, RULA: A survey method for the investigation of work-related upper limb disorders, *Applied Ergonomics*, vol. 24, n. 2, pp. 91-99.

Dadashzadeh M., Wharton T.J., 2012, A Value Stream Approach For Greening The IT Department, *International Journal of Management & Information Systems*, vol. 16, n. 2, pp. 125-136.

Deif A.M., 2011, A system model for green manufacturing, *Journal of Cleaner Production*, vol. 19, pp. 1553-1559.

Dües C.M., Lim M., Tan K.H., 2013, Green as the new Lean: how to use Lean practices as a catalyst to greening your supply chain, *Journal of Cleaner Production*, vol. 40, pp. 93-100.

Edtmayr T., Sihn W., Sunk A., 2015, An Approach to integrate Parameters and Indicators of Sustainability Management into Value Stream Mapping, *Procedia CIRP*, vol. 41, pp. 289-294.

Fearne A., Norton A., 2009, Sustainable value stream mapping in the food industry, *Handbook of Waste Management and Co-product Recovery in Food Processing*, Woodhead Publishing, Cambridge.

Garza-Reyes J.A., Kumar V., Ruiz P.M., Villarreal B., 2016, Lean and green in transport and logistics sector – a case study of simultaneous deployment, *Production Planning & Control*, vol. 27, n. 15, pp. 1221-1232.

Gati A., Torres A., 2009, Environmental value stream mapping (EVSM) as sustainability management tool, *Proceedings of Portland International Center for Management of Engineering and Technology Conference*, Portland, Oregon.

Guidat T., Phuong N.A., 2018, Sustainable value stream mapping and technologies of Industry 4.0 in manufacturing process re-configuration: A case study in an apparel company, *2018 IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics (SOLI)*, Singapore, Singapore.

Heikkilä A., Heilala J., Hentula M., Johansson B., Leong S., Lyons K., Paju M., 2010, Framework and indicators for a sustainable manufacturing mapping methodology, *Proceedings of the 2010 Winter Simulations Conference*, Baltimore, Maryland.

Hignett S., McAtamney L., 2000, Rapid entire body assessment (REBA), *Applied Ergonomics*, vol. 31, n. 2, pp. 201-205.

Hollmann S., Klimmer F., Kylian H., Schmidt K.H., 1999, Validation of a questionnaire for assessing physical work load, *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, vol. 25, n. 2, pp. 105-114.

Jones D.T., Womack J.P., 2003, *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*, Simon & Schuster Inc., U.S.A.

Kansi P., Karhu O., Kuorinka I., 1977, Correcting working postures in industry: A practical method for analysis, *Applied Ergonomics*, vol. 8, n. 4, pp. 199-201.

Lanza A., 1997, *Lo Sviluppo Sostenibile*, il Mulino, Bologna.

Mason R., Simons D., 2002, Environmental and transport supply chain evaluation with Sustainable Value Stream Mapping, *7th Logistics Research Network Conference*, Birmingham, Regno Unito.

Minhaj A.A., 2013, Green Manufacturing (GM): past, present and future (a state of art review), *World Review of Science, Technology and Sustainable Development*, vol. 10, n. 1/2/3, pp. 17-55.

Rother M., Shook J., 1999, *Learning to See: Value Stream Mapping to Create Value and Eliminate Muda*, Lean Enterprise Institute, Cambridge.

Saaty T.L., 1980, *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York.

Sparks D.T., 2014, Combining Sustainable Value Stream Mapping and simulation to assess manufacturing supply chain performance, *Theses and Dissertations – Mechanical Engineering*, 43.

US EPA, 2007a, *The Lean and Environment Toolkit*, United States Environmental Protection Agency.

US EPA, 2007b, *The Lean and Energy Toolkit*, United States Environmental Protection Agency.

Villarreal B., 2012, The transportation value stream map (TVSM), *European Journal of Industrial Engineering*, vol. 6, n. 2, pp. 216-233.

Wills B., 2009, *Green Intentions: Creating a Green Value Stream to Compete and Win*, Productivity Press, New York.

Sitografia

[https://en.wikipedia.org/wiki/Muda_\(Japanese_term\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Muda_(Japanese_term))

https://en.wikipedia.org/wiki/Standard_of_living

https://en.wikipedia.org/wiki/Sustainable_development

<https://goleansixsigma.com/the-8-wastes-checksheet/>

https://it.wikipedia.org/wiki/Domanda_biochimica_di_ossigeno

https://it.wikipedia.org/wiki/Sviluppo_sostenibile

https://it.wikipedia.org/wiki/Prodotto_interno_lordo

https://it.wikipedia.org/wiki/Ricerca_-_azione

<https://industrialtimestudy.com/timestudy-methods/>

<http://my.liuc.it/MatSup/2014/N90301/Secondo%20giorno.pdf>

<https://www.considi.it/lean-thinking/>

http://www.difesambiente.it/uomo_ambiente/sviluppo_sostenibile.aspx

<https://www.economicircolare.com/cose-leconomia-circolare/>

<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/infographic>

<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/what-is-the-circular-economy>

<http://www.focus-lab.it/green-supply-chain/>

<https://www.glossariomarketing.it/significato/stakeholder/>

https://www.ibm.com/developerworks/bpm/bpmjournal/1308_col_schume/1308_schume.html

<https://www.leanmanufacturing.it/strumenti/spaghetti-chart.html>

<https://www.mitconsulting.it/tpm-total-productive-maintenance/>

<https://www.noisemeters.com/help/osha/twa/>

<https://online.scuola.zanichelli.it/cozzianalitica/files/2012/05/Testo-chimica-di-ossigeno.pdf>

<https://www.thwink.org/sustain/glossary/EnvironmentalSustainability.htm>