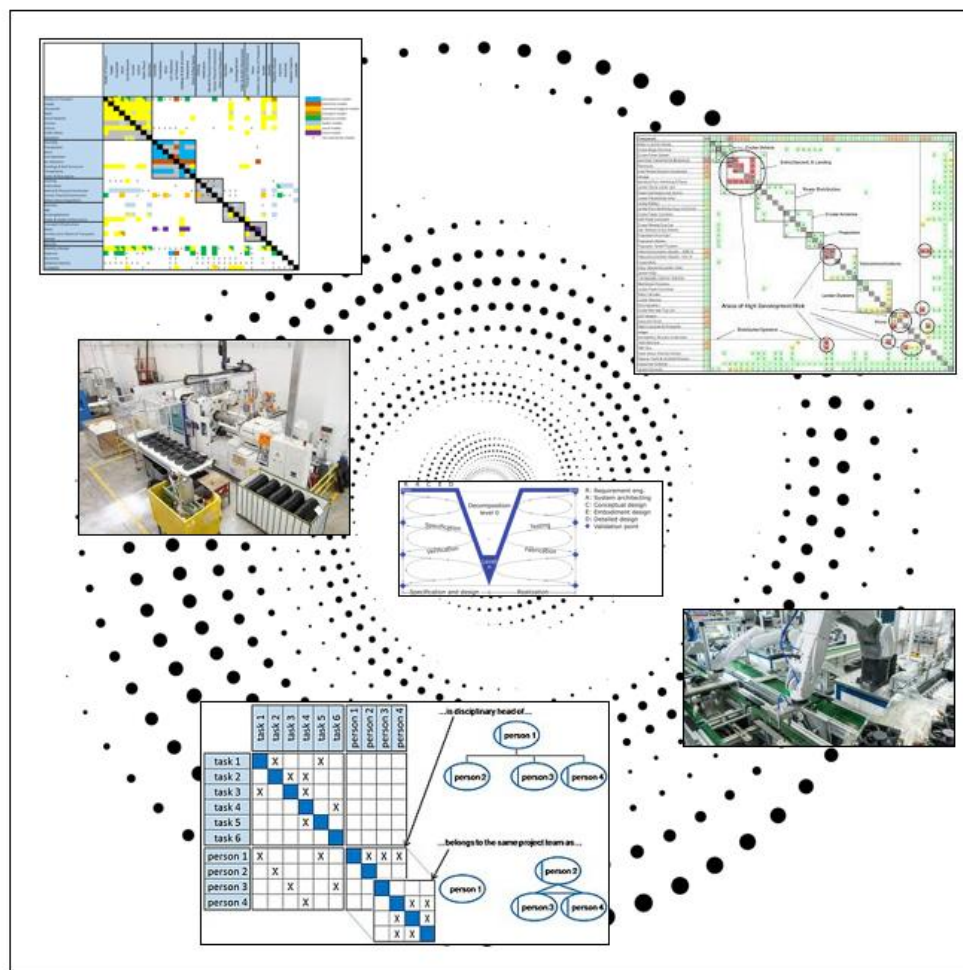


# Breve introduzione alla Teoria DSM (Design Structure Matrix)



La DSM per la progettazione e l'efficientamento dei processi produttivi, dei flussi di materiali, degli scambi di informazione.

Sbobbamento del seminario tenuto in data 07/06/2024 all'interno del progetto ComplExplore dell'Università Uninettuno condotto, curato e gestito dal Prof. Livio Conti

Relatore: Dr. Daniele Grazzini

Buon pomeriggio a tutti! Un saluto e un ringraziamento a quanti tra voi nonostante gli impegni e il lavoro che svolge si è ritagliato uno spazio di tempo per seguire questo seminario che mi auguro sia di un certo interesse perché affronta una materia assolutamente non banale e dalle potenzialità applicative nei settori della programmazione e gestione di progetti ingegneristica e non solo di grande portata.

Prima di cominciare una doverosa raccomandazione è di non farsi ingannare dalla semplicità di alcune nozioni di base. Come spesso accade ciò che ci sembra semplice e quasi banale inizialmente si trasforma ad una più attenta analisi in qualcosa di veramente faticoso da comprendere e questo è il caso.

Cercherò di usare una esposizione quanto più possibile divulgativa e concisa perché velocemente potremmo scendere nel tecnico e la cosa oltre che risultare pesante non centrerebbe l'obiettivo di farvi semplicemente conoscere e apprezzare una materia che, a mio parere, è davvero molto potente.

In allegato a questo seminario troverete del materiale che ho necessità di illustrarvi subito perché lo usiate nel modo migliore per approfondire quanto verrà detto. Innanzi tutto, troverete lo sbobinamento ragionato dell'intero seminario che costituisce un ottimo punto di partenza; troverete una dispensa che ho composto che ha il titolo e il sottotitolo del seminario di una sessantina di pagine che in maniera un po' più approfondita introduce il lettore ai temi principali e ad alcune applicazioni molto interessanti; trovate poi il testo di riferimento sulla DSM a cui mi riferirò durante l'esposizione con l'indicazione dei capitoli e dei paragrafi illustrati; troverete infine il pdf della mia tesi sperimentale che, per i più interessati, sviluppa tutti i temi applicativi della teoria DSM. Alla fine delle slide di questo seminario trovate una sitografia e una bibliografia delle principali fonti che ho conosciuto nello studio della materia e che vi saranno utili per approfondire gli aspetti che riterrete opportuni. ■

Dopo questa ampia premessa ma doverosa, di tipo metodologico, voglio presentarmi velocemente e dirvi perché sono qui: mi chiamo Daniele Grazzini e ho 46 anni.... quasi 47! Sono sposato con Ilaria da 17 anni, abitiamo a Spoleto in provincia di Perugia e abbiamo due figli: Michele di 14 e Francesco di 12 anni. Lavoro nella piccola impresa umbra a conduzione familiare da 12 anni e attualmente lavoro da 3 anni presso l'azienda Innocenzi Falegnameria S.R.L occupandomi di gestione del magazzino e logistica (numero dipendenti: 30). Mi sono laureato il 18 marzo 2024 con una tesi sperimentale in Impianti Industriali (relatore Prof. Andrea Falegnami) dal titolo: «**Sviluppo di un sistema di valutazione dell'efficienza nei processi automotive tramite la Design Structure Matrix: il caso del brevetto SeatBridge**». Il lavoro di tesi che ho svolto è il motivo per cui mi è stato chiesto di presentare gli argomenti trattati nel seminario essendo questo ciclo di incontri dedicato al mondo della Complessità e degli strumenti atti ad affrontarla. ■

Ecco il percorso che faremo insieme durante questo tempo che ci è concesso: affronterò con una rapida introduzione il concetto di Complessità che ci aiuterà a contestualizzare il seminario e poi vi presenterò la Teoria DSM affrontando i seguenti argomenti:

- Alcuni protagonisti della ricerca accademica
- Concetti fondamentali
- Un po' di storia
- Una classificazione dei modelli DSM
- Clustering e Sequencing
- La matrice DMM

Questa rappresenterà la prima parte del seminario di durata all'incirca di 35 minuti. Nella seconda parte, per dare corpo a quanto affrontato nella prima, in un tempo di circa 25 minuti, vi presenterò il percorso fatto nella mia Tesi Sperimentale che è un'applicazione pratica di uno specifico argomento della teoria. Spero che i sopravvissuti a questo itinerario apprezzeranno lo sforzo fatto e intuiranno la potenzialità delle conoscenze acquisite per poterle applicare ognuno al suo settore di riferimento.

**«Una teoria è tanto più riuscita quanto più ha delle premesse semplici, collega tra loro un maggior numero di fenomeni diversi e il suo campo di applicazione continua ad ampliarsi.»**

**Albert Einstein, in Alice Calaprice, Pensieri di un uomo curioso, 1996**

## **PRIMA PARTE**



Breve introduzione sul concetto di Complessità:

- **Sistemi Semplici:** (etimologia: *sine+plico*, ovvero *senza pieghe*) è un fenomeno o un sistema lineare, ripetibile, con un chiaro rapporto di causa-effetto, e di cui è possibile realizzare modelli matematici che permettono di prevederne gli sviluppi.
- **Sistemi Complicati:** (etimologia: *cum plico*, ovvero con piegature, che è possibile “s-piegare”) è un fenomeno o un sistema scomponibile nelle sue parti lineari, ripetibile (a parità di condizioni al contorno), anch’esso con un rapporto di causa-effetto, e di cui è possibile realizzare modelli matematici che permettono di prevederne gli sviluppi, pur con difficoltà di calcolo e di approssimazione (riferimento al metodo scientifico classico, al riduzionismo e al determinismo).
- **Sistemi Complessi:** (etimologia: *cum+plècto* ovvero intrecciato, tessuto insieme) è un sistema non lineare, composto di molti elementi collegati tra loro e dipendenti uno dall’altro, non riducibile (l’insieme è superiore alla somma delle parti), non ripetibile né prevedibile, senza più nessun rapporto lineare di causa-effetto; riguarda in particolare i fenomeni biologici e sociali; **richiede una visione sistemica, reticolare, non sequenziale.** ■

Il concetto di complessità in modo più approfondito e puntuale è stato presentato nel corso di STRATEGIA E POLITICA AZIENDALE dove la conclusione più importante che viene offerta è che l’**Azienda è un sistema complesso!** Quindi la realtà che la maggior parte di noi vive nel lavoro quotidiano è un sistema complesso e questo basterebbe a giustificare la marea di problemi che ci troviamo ad affrontare sotto ogni livello: organizzativo, progettuale, rapporti umani, gestione economica, ecc. Quali strumenti abbiamo per avvicinarci alla materia dei sistemi complessi?

- Teoria dei sistemi
- Concetto di segnale forte e debole (Teoria dei segnali)
- Teoria delle catastrofi (modelli previsionali ad esempio metereologici)
- Teoria del Caos (modelli matematici sull’evoluzione biologica ad esempio)

Tutte teorie estremamente difficili da comprendere ma accomunate da un aspetto fondamentale: se vogliamo poter dire qualcosa nel quadro di riferimento in cui ci siamo messi (sistemi complessi) che apparentemente ci farebbe dire che non c’è modo di dare indicazioni o risposte significative è l’individuazione in questo caos in questo marasma inestricabile di **SEGNALI**, di **PATTERN**. Questi concetti sono di fondamentale importanza e devono guidare la nostra ricerca così come ribadito poche righe sopra dove si dice che occorre una visione di sistema, reticolare e non sequenziale. ■

Lascio in visione per un approfondimento personale (non potendo approfondire l’argomento che è molto ricco di spunti mi sono limitato a suggerire questi link in quanto ritengo valga la pena dedicare del tempo ad aumentare la nostra comprensione: dobbiamo essere consapevoli che gli sviluppi dell’attuale ricerca e di quella futura andranno in questa direzione) le due fonti che ho trovato molto interessanti da condividere con voi:

- **Articolo sul sole 24 ore del 12 Maggio 2024:** <https://www.ilsole24ore.com/art/quantificare-l-incertezza-e-comprendere-complessita-AFOjOqpD;>
- **Intervista al Prof. Rocco Scolozzi (Università di Trento) «Cos'è la Complessità» del 13 Ottobre 2023:** <https://youtu.be/8U3ZbOtRNqU?si=SK0Xtl1KGXrzBM1P>. ■

Ci domandiamo a questo punto, in modo un po' retorico, se la DSM è uno strumento utile in questo senso e la risposta è assolutamente sì così come ci dicono due ricercatori e studiosi di fama internazionale quali il Prof. Tyson R. Browning e il Prof. Steven D. Eppinger. Loro sono gli autori del testo di riferimento il libro “**Design Structure Matrix Methods and Applications**” (che trovate disponibile così come detto in premessa) scritto nel 2002. ■

### Chi sono questi autori?



Tyson R. Browning



Steven D. Eppinger

Il Dottor **Tyson R. Browning** è un ricercatore, educatore e consulente riconosciuto a livello internazionale. È professore ordinario di Operations Management presso la Neeley School of Business della Texas Christian University, dove conduce ricerche sulla gestione di progetti complessi (integrando prospettive manageriali e ingegneristiche) e tiene corsi su project management, gestione operativa, gestione del rischio e miglioramento dei processi. In qualità di oratore ricercato, Tyson ha formato e fornito consulenza a diverse organizzazioni, tra cui BNSF Railway, General Motors, Lockheed Martin, Northrop Grumman, Seagate, Siemens, Southern California Edison e la Marina degli Stati Uniti.

Laurea in fisica ingegneristica (scienze ingegneristiche) alla TCU, due master al MIT e un PHD al MIT. ■

Il Dottor **Steven D. Eppinger** è professore di scienza gestionale e innovazione presso la Sloan School of Management del Massachusetts Institute of Technology, dove detiene la cattedra *General Motors Leaders for Global Operations*. La sua ricerca contribuisce a campi che vanno dalla gestione dei progetti e dall'ingegneria dei sistemi allo sviluppo e alla gestione del prodotto. È uno degli studiosi più citati nelle discipline della progettazione ingegneristica e della gestione tecnica.

Laurea in ingegneria meccanica al MIT, master al MIT, PHD al MIT. ■

Nel loro testo i due autori in merito alla domanda che ci siamo fatti rispondono così: Al capitolo 1 del testo di riferimento “*Design Structure Methods and Application*” al paragrafo «The Complex World of Systems» i due studiosi ci dicono: [...]... Because no one person knows enough to design today's complex systems, useful techniques for managing information must draw out the knowledge from individuals and cast it in a way that enables a trans disciplinary group to review and critique it. This book is about one such technique that has been used to help people better design, develop, and manage complex engineered systems ...[...]

Traduzione: [...]...Poiché nessuno sa abbastanza per progettare i sistemi complessi di oggi, le tecniche utili per la gestione delle informazioni devono estrarre la conoscenza dagli individui e trasmetterla in modo tale da consentire a un gruppo transdisciplinare di rivederla e criticarla. Questo libro tratta di una di queste tecniche

che è stata utilizzata per aiutare le persone a progettare, sviluppare e gestire meglio sistemi ingegnerizzati complessi...[...] ■

Di che cosa si occupa la DSM: di Automotive, settore aerospaziale, settore elettronico/elettrotecnico, settore delle costruzioni nell'ingegneria civile, settore militare, si occupa di prodotti, processi, e organizzazioni nell'ambito dell'ingegneria gestionale e molto molto altro potremmo dire che affronta tutti i tipi di sistemi complessi!

**La DSM** Utilizza una rappresentazione visuale, semplice e concisa della situazione oggetto di studio. E' in grado di evidenziare Pattern nelle architetture di relazioni tra gli enti esaminati (cicli e Moduli). Utilizza analisi matematiche potenti come il Clustering e il Sequencing che impareremo a conoscere almeno nelle linee essenziali durante il seminario. ■

### Che cos'è la DSM?

**Si tratta una rappresentazione a matrice quadrata delle relazioni tra elementi di un sistema**

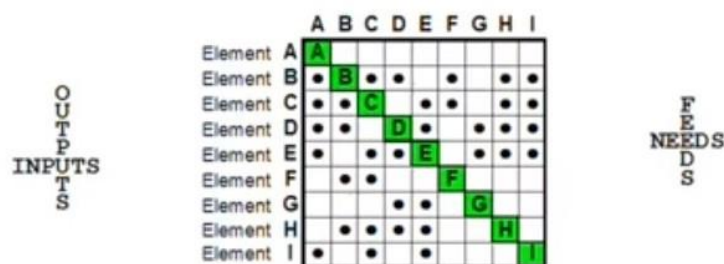


Fig. 1

In figura 1, nella diagonale principale colorata in verde, leggiamo gli elementi A,B,C....

In grado di rappresentare relazioni asimmetriche.

I segni al di fuori della diagonale principale rappresentano l'esistenza di una relazione tra gli elementi in esame.

Lungo le righe leggiamo gli input ossia cosa gli elementi ricevono (cosa entra nell'elemento?).

Lungo le colonne leggiamo gli output ossia ciò che gli elementi forniscono (ciò che esce dall'elemento dove va?).

Aiutiamoci ancora con un altro schema: ■

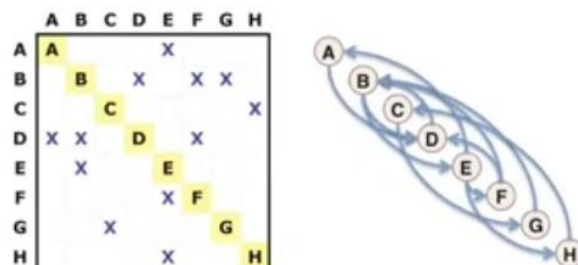


Fig. 2

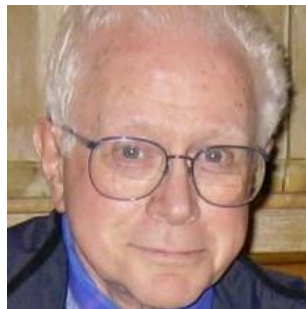
In figura 2 si mette in luce la corrispondenza biunivoca tra la rappresentazione a matrice quadrata e la rappresentazione a grafo orientato (digrafo).

- **Corrispondenza tra Teoria dei Grafi e Teoria delle Matrici**

In virtù di questa corrispondenza una DSM è sostanzialmente una **matrice di Adiacenza**.

Adesso che abbiamo capito di cosa stiamo parlando e cioè di Matrici quadrate che danno indicazione di relazioni tra enti (questi enti compaiono come intestazioni di riga e di colonna) affrontiamo un po' di storia per capire da dove parte l'interesse per questa tipologia di trattazione. ■

Prima che il termine DSM fosse coniato dal professor Don Steward della California State University, Sacramento, negli anni '70, un ramo della teoria dei grafi aveva a lungo utilizzato le matrici di precedenza quadrate per rappresentare le relazioni tra i nodi in un digrafo. Tuttavia, Steward ha il merito di aver creato il metodo DSM applicando per primo il formato a matrice quadrata per rappresentare una rete di interazioni tra variabili di progettazione (o attività di progettazione). La tecnica era derivata da metodi utilizzati per sequenziare grandi sistemi di equazioni al fine di risolverli con iterazione minima.



Prof. Donald V. Stewart

([www.linkedin.com/in/donald-v-steward-0875141/](http://www.linkedin.com/in/donald-v-steward-0875141/)) ■

Le prime applicazioni industriali (e l'ulteriore sviluppo) del DSM iniziarono presso la NASA, la Boeing, General Motors e Intel all'inizio degli anni '90. La comunità di ricerca del DSM è stata fondata alla fine degli anni '90 con una serie di workshop tenuti al MIT. Questa comunità mondiale del DSM comprende ora ricercatori provenienti da università di tutta Europa, Asia, Australia, Sud America e Nord America. Nella comunità DSM è inclusa una rete di sviluppatori software, consulenti e leader e utenti nei settori in cui il DSM viene applicato attivamente. Ormai ci sono centinaia di articoli di ricerca che raccontano lo sviluppo dei metodi DSM e che documentano un'ampia varietà di applicazioni. Un ampio elenco di questi documenti può essere trovato sul sito web della comunità DSM ([www.dsmweb.org](http://www.dsmweb.org)). ■

Le conferenze internazionali sulla DSM

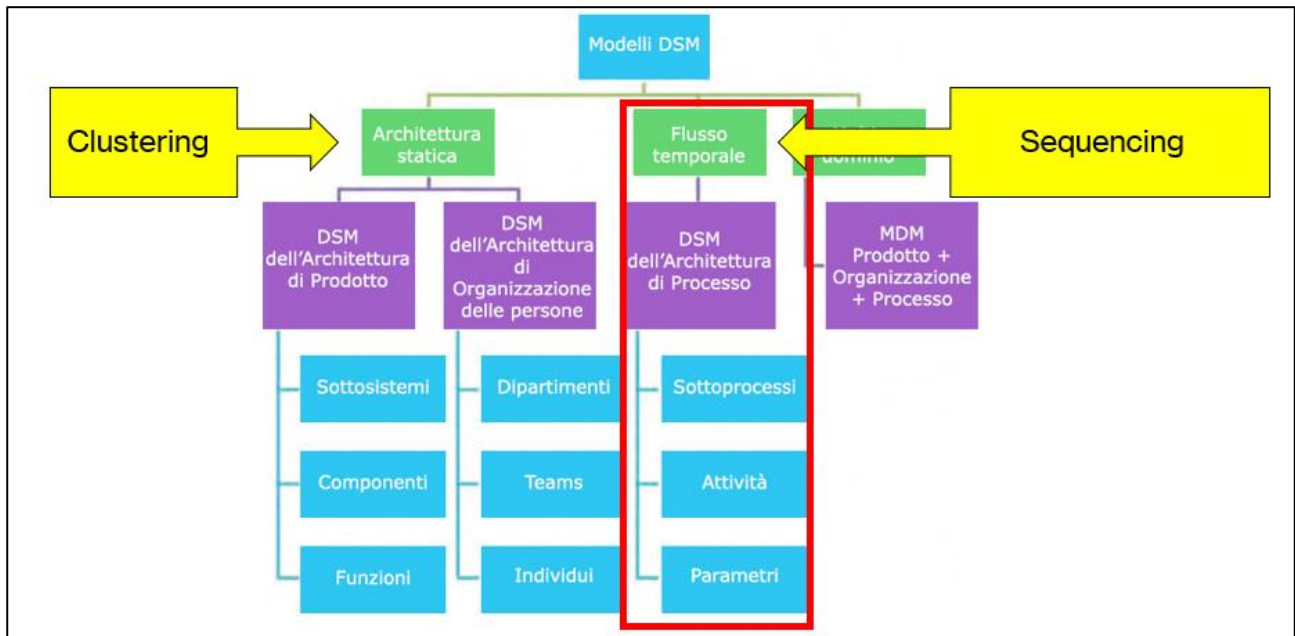
1999	Cambridge, MA, Stati Uniti	Massachusetts Institute of Technology (MIT)
2000	Cambridge, MA, Stati Uniti	Massachusetts Institute of Technology (MIT)
2001	Cambridge, MA, Stati Uniti	Massachusetts Institute of Technology (MIT)
2002	Cambridge, MA, Stati Uniti	Massachusetts Institute of Technology (MIT)
2003	Cambridge, Regno Unito	università di Cambridge
2004	Cambridge, Regno Unito	università di Cambridge
2005	Seattle, WA, Stati Uniti	La compagnia Boeing
2006	Seattle, WA, Stati Uniti	La compagnia Boeing
2007	Monaco, Germania	Technische Universität München (TUM)
2008	Stoccolma, Svezia	Jönköping International Business School
2009	Greenville, Carolina del Sud, Stati Uniti	Clemson University/Technische Universität München
2010	Cambridge, Regno Unito	Università di Cambridge
2011	Cambridge, MA, Stati Uniti	Massachusetts Institute of Technology (MIT)
2012	Kyoto, Giappone	Innovatore di soluzioni IT iSiD
2013	Melbourne, Australia	Rapid <u>Invention</u> Pty Ltd
2014	Parigi, Francia	Ecole Centrale Parigi
2015	Texas, Stati Uniti	Università cristiana del Texas
2016	San Paolo, Brasile	Università di San Paolo
2017	Espoo, Finlandia	Università Aalto
2018	Trieste, Italia	Università degli Studi di Trieste
2019	Monterey, Stati Uniti	Il P5DC

Come si vede dalla tabella le conferenze iniziano con dei workshop al Mit e pochi anni più tardi si diffondono un po' ovunque nel mondo a testimonianza di un interesse notevole dei ricercatori accademici e del mondo produttivo. In Italia la conferenza approda nel 2018 all'università di Trieste. Professore di riferimento è il Prof.



Carlo Poloni, che attualmente fa parte della commissione internazionale che giudica e seleziona i lavori inviati dai ricercatori al fine di essere presentati alla conferenza che in genere si svolge in un periodo di tre giorni. Quest'anno la conferenza si tiene a Stoccarda e partecipiamo anche noi di Uninettuno con un articolo derivato dal mio lavoro di ricerca sperimentale che a breve tenterò di illustrarvi a grandi linee. ■

Ci è utile per capire la vastità della materia fare una classificazione delle tipologie di DSM che è possibile studiare e lavorare e ci aiuta lo schema proposto:



Ci sono sostanzialmente quattro tipi di DSM che vediamo nei rettangoli viola: DSM che descrivono l'architettura di un prodotto, DSM che descrivono l'architettura dell'organizzazione di persone (o team), DSM che descrivono architetture di processo e DSM che sono la combinazione dei tipi precedenti e che prendono il nome di MDM (Multi-domain Matrix). I primi due tipi afferiscono a relazioni che non tengono conto del parametro temporale, quindi, sono di tipo statico mentre gli altri due hanno nel parametro temporale il senso della relazione tra le varie attività che si susseguono l'una dopo l'altra. Così come si vede dallo schema è possibile specializzare ulteriormente i DSM andando a classificare gli enti che compaiono all'interno del DSM e si vedono nei rettangoli azzurri. A seconda che affrontiamo DSM statici oppure dinamici abbiamo delle tecniche di analisi dei dati specifiche: in particolare utilizzeremo il Clustering ■ nei DSM statici mentre utilizzeremo il Sequencing (o Partitioning) nei DSM dinamici. ■

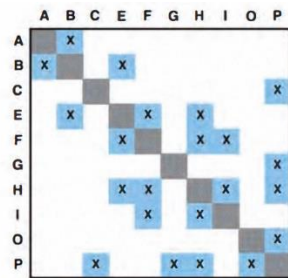
Ovviamente questa semplificazione non dà conto degli innumerevoli altri strumenti che si accompagnano a questi nell'analisi dei dati ma è indispensabile fare questa iniziale distinzione per evitare confusioni nell'affrontare i problemi perché i metodi si somigliano ma hanno interpretazioni completamente differenti di significato. ■

Vi anticipo che nella mia ricerca sperimentale ho affrontato il problema della costruzione di un DSM che descrivesse una architettura di processo e qui sono iniziati i dolori!

Arrivati a questo punto deve essere chiaro il percorso che stiamo facendo. All'interno della vasta materia DSM esistono, come abbiamo appena visto, delle strade possibili da percorrere per analizzare dei sistemi complessi. Nel mio lavoro di ricerca ho potuto solo sfiorare i DSM statici e lo strumento del clustering più che altro per capire se potesse essermi utile in qualche modo ma non lo è stato mentre ho approfondito e cercato di calarmi dentro la materia dei DSM di Processo (dinamici) quindi da adesso in avanti vi parlerò di questo lasciando al lettore volentoso e allo studente interessato l'approfondimento delle altre varie tipologie e metodi esistenti. Il testo di riferimento è molto ampio e testimonia il fatto che uno sforzo di conoscenza complessivo richiederebbe anni di studio: così come vi ho anticipato per ognuna di queste strade si entra in una voluminosa teoria e applicazioni molto tecniche che vanno, a mio parere, affrontate con un obiettivo specifico.

Voglio spendere un attimo di tempo per introdurre i DSM di tipo statico e dare una breve illustrazione dell'algoritmo di Clustering. ■

Purtroppo, non ho analizzato da vicino questa tipologia di DSM ne ho solo colto alcuni aspetti generali che condividerò con voi. In questo tipo di DSM dobbiamo costruire una o più funzioni obiettivo utili ai nostri scopi e alle nostre analisi e operare una operazione di minimizzazione di tali funzioni il che si traduce nel costruire dei Cluster (gruppi di elementi fortemente interrelati) di cui valutiamo il valore ottimizzato in confronto ad altre possibili configurazioni. ■



$$Obj = \alpha \sum_{i=1}^M C_i^2 + \beta I_o$$

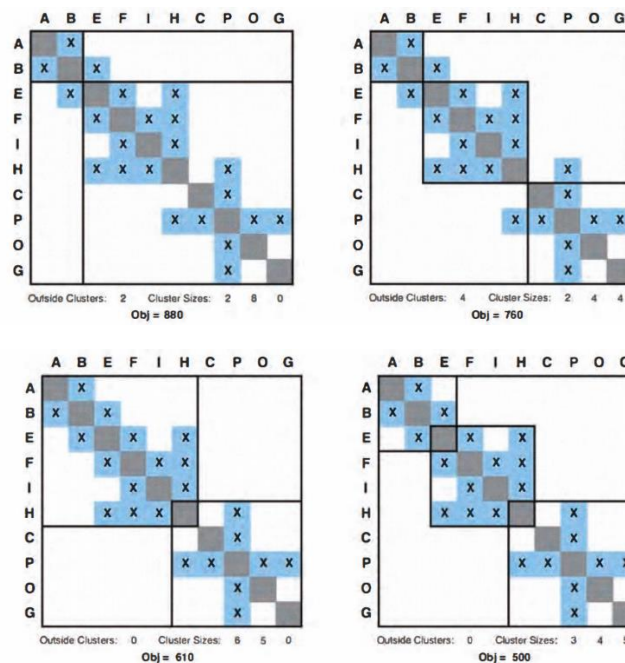
La funzione obiettivo considerata è un esempio possibile. In questo esempio stabiliamo il significato delle variabili in gioco di seguito riportate:

M = numero di Cluster

$C_i$  = numero degli elementi nell'i-esimo Cluster

$I_o$  = numero di relazioni al di fuori del Cluster

$\alpha$  e  $\beta$  sono due costanti di peso che possiamo decidere avere la prima valore 10 e la seconda 100. Dopo aver ricombinato righe e colonne in modo da rendere minima la distanza delle relazioni della matrice rispetto alla diagonale si operano le quattro analisi riportate in figura tenendo conto delle considerazioni seguenti.



Considerazioni importanti da fare durante l'analisi:

- Obiettivi simultanei:
  - Minimizzare il numero di moduli.
  - Minimizzare le interazioni tra cluster.



- Favorire la sovrapposizione tra Cluster?
- Ottimizzare separatamente le nostre istanze o ottimizzare funzioni obiettivo composite?
- Elementi tra loro fortemente interagenti possono rimanere fuori da tutti i Cluster.
- Difficoltà di ottimizzare tutte le funzioni obiettivo.
- Possibilità di comparare soluzioni multiple.

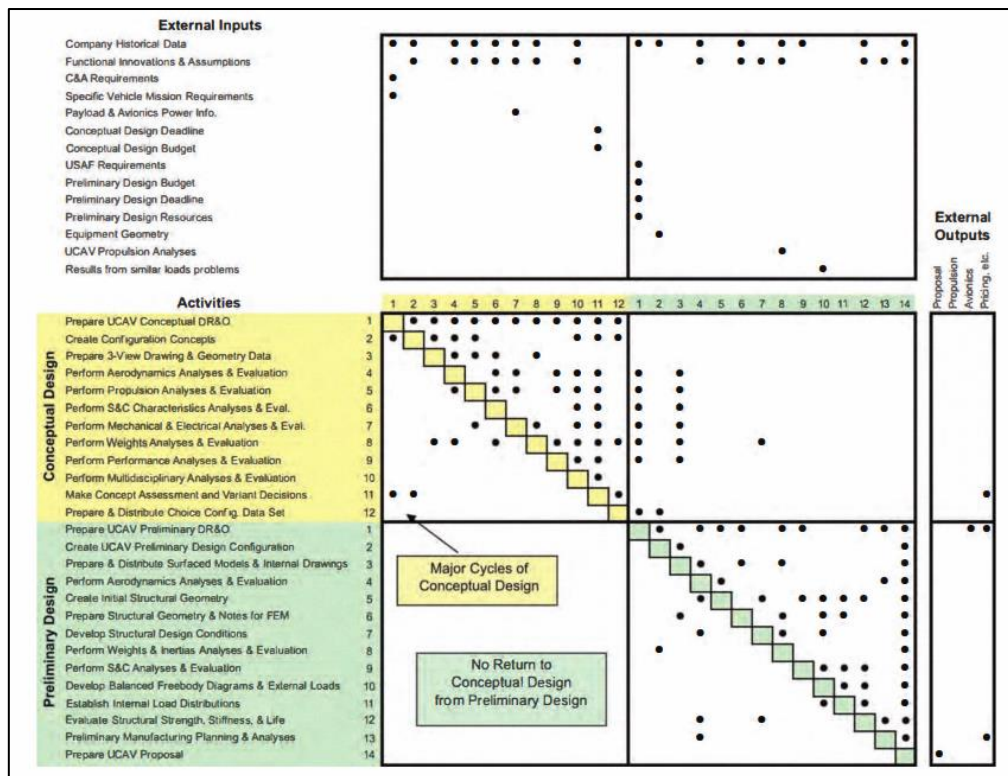
Se riteniamo che la minimizzazione della funzione obiettivo sia lo scopo dell'analisi, scegliamo una configurazione altrimenti, in base allo scopo della nostra ricerca, possiamo preferire una configurazione tra quelle evidenziate. ■

Vorrei ora darvi in visione e commentare un esempio importante di DSM di processo. Questa applicazione mi è stata fornita dal Prof. Browning quando, nel relazionarmi con lui su dubbi e perplessità che mi erano venute durante lo studio, ho chiesto del materiale che mi potesse aiutare nella comprensione di ciò che stavo facendo e leggendo. La sua risposta è stata quasi immediata a testimonianza del fatto che lui è molto attivo e sensibile all'interno della comunità di ricerca internazionale e rappresenta un capofila potremmo dire un riferimento, una guida. Il problema è stato che questo esempio inviatomi era all'interno di un paper scientifico pubblicato da lui che rappresenta un percorso profondo fatto nella tesi di dottorato di ricerca al M.I.T. nel 2002 e perciò essendo un lavoro non banale, come potete ben immaginare, mi ha richiesto non poco tempo per approfondirlo e poter cogliere solamente gli aspetti essenziali che mi potevano aiutare. Si tratta di una consulenza che i ricercatori del suo team hanno prodotto verso il ministero della difesa americana a proposito dello studio di ottimizzazione di processo di un velivolo da combattimento senza pilota denominato UCAV, si tratta in buona sostanza di un drone da combattimento.



Lo studio prevedeva l'ottenimento di due parametri fondamentali quello temporale e quello di costo. Tanto per condividere con voi l'entità anche economica di questo studio fatto al M.I.T. si parla di un progetto della durata complessiva di 130 giorni di attività di produzione e del costo di 600.000 dollari. Vi lascio immaginare che razza di ritorno economico questa "consulenza" abbia portato nelle casse del M.I.T. di Boston.... In questo paper ho però trovato ciò che cercavo ossia una roadmap da seguire anche nel mio studio di tesi sperimentale.

Un rapido commento della matrice DSM mostrata in figura:



La matrice quadrata raccoglie 12 attività di Design concettuale della produzione del prodotto UCAV con le relative interrelazioni rappresentate dai pallini neri all'interno della matrice gialla e 14 attività di design preliminare alle attività di ideazione concettuale segnate in verde. Questo già è un esempio di DSM multidominio ossia MDM che racchiude due matrici DSM; inoltre mette in luce la possibilità di estendere ulteriormente l'analisi delle relazioni attraverso l'utilizzo di input esterni segnati nella matrice rettangolare in alto e Output esterni segnati nella matrice rettangolare a destra. Si vede la potenza di questo strumento che con un'immagine multidimensionale estesa, nel senso detto adesso, rappresenta in modo Visuale e generale tutta la dinamica di interrelazioni tra attività di produzione. L'architettura di Design è completamente descritta da questo schema che rappresenta una sorta di radiografia che da informazioni preziose ai tecnici e progettisti coinvolti che abbiano la capacità di leggere queste informazioni.

Ecco che senza entrare ulteriormente nello specifico di questo esempio, che ci ha fornito lo spunto per proseguire, dobbiamo comprendere proprio questo fatto e cioè quali informazioni si riescono a trarre dalla rappresentazione a matrice e quindi in buona sostanza come si legge un DSM. ■

Dobbiamo tenere conto delle seguenti convenzioni ed è subito importante conoscerle e sapere che vengono utilizzate entrambe: negli articoli scientifici che ho studiato ogni autore segue l'una o l'altra a seconda della propria preferenza: per passare dall'una all'altra matrice dobbiamo considerare la matrice trasposta.

- Convenzione IR/FAD (Inputs in Rows/Feedbacks appearing Above the Diagonal)
- Convenzione IC/FBD (Inputs in Column/Feedbacks appearing Below the Diagonal)

Quest'ultima è la convenzione che permette di ottenere dall'algoritmo di Sequenziamento una matrice triangolare superiore. I segni che compaiono sotto la diagonale non sono «buoni» e vanno in qualche modo «eliminati».

Consideriamo lo schema di figura 3:

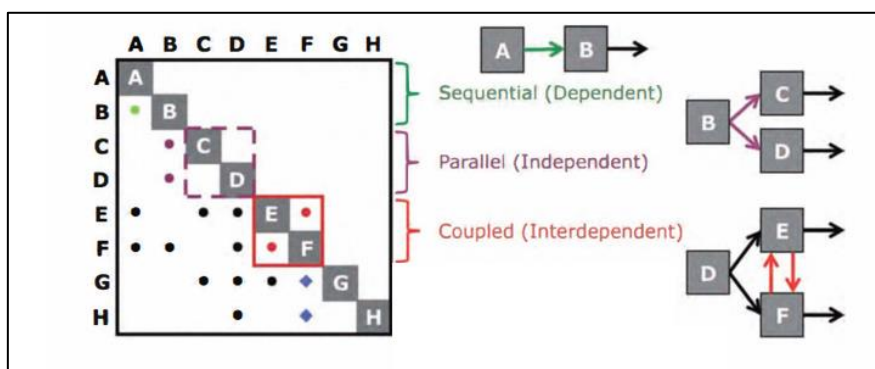


Fig. 3

Concentriamo l'attenzione sulla diagonale principale della matrice e noteremo tre possibili dipendenze nella sequenza delle attività: le attività possono essere sequenziali (verde), possono essere parallele (viola), possono essere interdipendenti (rosso).

Ora che abbiamo capito il significato principale dei segni di relazione e dove dobbiamo concentrare la nostra attenzione arriviamo alla elaborazione del Sequenziamento o Partizionamento. ■

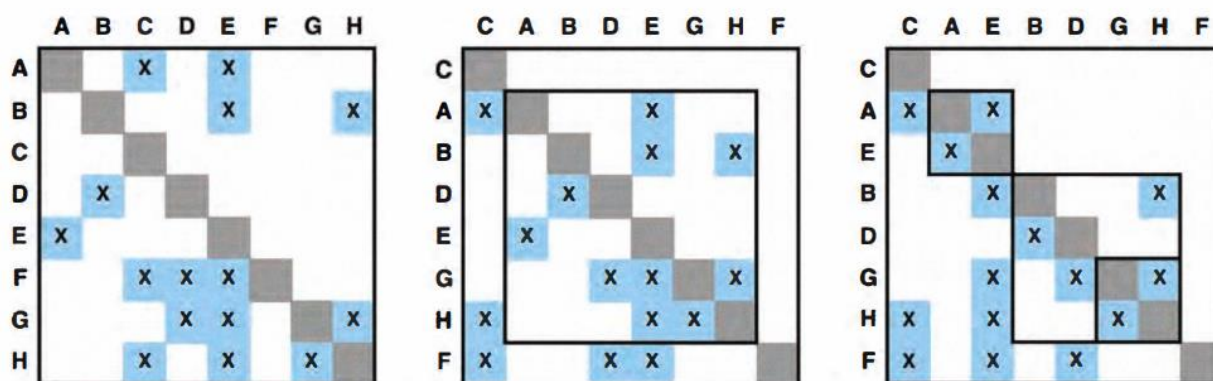


Fig. 4

La matrice più a sinistra di figura 4 è il DSM di partenza ma presenta nella parte triangolare superiore dei segni che ci indicano delle rilavorazioni nel processo produttivo in esame e che vorremmo eliminare. Teniamo a mente che scendendo lungo la diagonale principale stiamo tenendo conto del tempo di esecuzione delle varie attività e i segni indicati ci fanno tornare indietro e ricominciare come in un loop da cui dobbiamo cercare di uscire. L'algoritmo di Sequencing ha lo scopo di riordinare le righe e le colonne, attraverso uno scambio di posizione che segue delle regole, (che per ora non ci interessa approfondire) in modo da ottenere una matrice triangolare inferiore (in questo caso). Dalla teoria delle matrici si sa che la triangolarizzazione di una generica matrice è difficilissima da ottenere e quello che in genere si riesce a fare è una approssimazione accettabile: nel nostro studio si vuole ottenere non già la triangolata inferiore (quasi impossibile) ma con un algoritmo opportuno **la minimizzazione della distanza di questi segni dalla diagonale principale.**

Questa procedura ci consente di identificare degli specifici gruppi di attività in loop tra di loro e concentrare la nostra attenzione di analisi su queste: nell'esempio mostrato in figura 4, le attività da considerare sono il blocco AE, il blocco GH e il blocco BDGH.

Capire e risolvere queste relazioni non convenienti ci conducono ad un processo di ottimizzazione fatta analizzando le varie possibilità che ci si presentano e stabilendo di volta in volta criteri utili a scegliere il processo produttivo migliore tra gli altri.

Abbiamo bisogno di un ulteriore strumento per comprendere ciò che seguirà e cioè di comprendere il significato di Matrice DMM (Domain Mapping Matrix). ■

Si tratta di una Matrice rettangolare che collega i domini di due DSM e che permette, in linea teorica, una serie di possibili combinazioni in base allo studio che stiamo impostando....



Come si vede nell'esempio avendo una matrice DSM di Processo e una matrice DSM di organizzazione delle persone è possibile costruire con dei metodi ben precisi una matrice rettangolare che colleghi i processi dell'attività produttiva all'organizzazione delle persone. In questa matrice è possibile vedere che tipi di relazione esistono fra questi due domini e svolgere delle analisi specifiche di nostro interesse. Questo strumento è centrale nella ricerca che ho condotto e cercherò di mostrarvi il suo utilizzo tenendo conto che **può essere usato per costruire la matrice DSM**. Questo aspetto è molto importante ed è stato uno degli elementi innovativi della mia ricerca. ■

Vorrei adesso arrivare a delle conclusioni su quanto visto finora a proposito della Teoria DSM.

#### Punti di forza:

- Metodo visuale, semplice nei suoi principi di base;
- **Metodo collaborativo che consente la costruzione di una visione globale dei fenomeni nelle comunità aziendali che lo utilizzano;**
- Metodo che consente una maggiore comprensione delle architetture di sistema;
- Si avvale di strumenti molto potenti di analisi dei dati (es: Clustering e Sequencing);
- Si avvale di una comunità scientifica di ricerca di carattere internazionale;
- Utilizza strumenti informatici dedicati il cui contributo arriva da una comunità di sviluppatori mondiale.

#### Punti di debolezza:

- Richiede uno studio profondo e una applicazione iniziale per la comprensione notevole;
- Si ha una letteratura scientifica variegata senza una vera e propria teoria fondativa;
- Si deve dedicare parte del tempo a cercare ciò che ci serve spulciando tra oltre 1500 articoli scientifici avendo pochi punti di riferimento.

Concluderei questa prima parte introducendo le linee guida per l'applicazione pratica nella realtà aziendale dell'apparato teorico fin qui delineato, rispondiamo cioè alla domanda "come si applica concretamente l'analisi DSM in un contesto aziendale ?"

La risposta alla domanda è tratta da un lavoro poderoso fatto dal ricercatore Qi Dong nella sua tesi di dottorato di ricerca al MIT:

*Qi Dong: Predicting and Managing System Interactions at early stage of the product development process, PhD Thesis, MIT, 2002 .*

Questi sono i passaggi chiave da adattare al contesto del nostro studio:

### **1 Definire il sistema e il suo ambito**

Intervista ingegneri e manager

Verificare la presenza di possibili origini dati che possono essere analizzate o esportate in un DSM

### **2 Elencare tutti gli elementi del sistema**

Determinare l'elenco degli elementi del sistema

### **3 Studiare il flusso di informazioni tra gli elementi del sistema**

Chiedere informazioni sugli input, sugli output, sui punti di forza dell'interazione, ecc. tra gli elementi

### **4 Completare la matrice per rappresentare il flusso di informazioni**

Inserire i voti nella matrice

Raccogliere i commenti che spiegano ogni elemento e ogni dipendenza (per la successiva comprensione e interpretazione)

### **5 Consegnare la matrice agli ingegneri e ai manager perché la commentino e la utilizzino**

Consultare ingegneri e manager per verificare/commentare DSM

Affinare il modello nel tempo assimilando l'apprendimento organizzativo

## **AVVISO IMPORTANTE**

Per una maggiore comprensione dei temi trattati suggerisco la visione dei seguenti due seminari a mio avviso molto importanti:

- Intervento del Prof. Browning alla diciottesima Conferenza Internazionale sul DSM svoltasi all'Università di San Paolo in Brasile dal 29 al 31 Agosto 2016. Il seminario ha il titolo: «**Introduzione alla DSM metodi e applicazioni**»  
(<https://youtu.be/hsFNTgrrkZA?si=glHWGlo0oPQuuEd0>);
- Altro intervento del Prof. Browning sempre alla diciottesima Conferenza Internazionale sul DSM svoltasi all'Università di San Paolo in Brasile dal 29 al 31 Agosto 2016. Il seminario ha il titolo: «**Opportunità interessanti per la ricerca sulla DSM e applicazioni**»  
(<https://vimeo.com/831149423>).

**«Da una buona teoria esigiamo, in primo luogo, che abbia successo in alcune delle sue nuove previsioni; in secondo luogo, esigiamo che non sia confutata troppo presto; prima, cioè, che abbia ottenuto un pieno successo.»**

**Karl Popper, Congetture e confutazioni, 1963**

## **SECONDA PARTE**

Arrivati a questo punto è bene fare un breve riepilogo: abbiamo visto cos'è un DSM e come si costruisce, abbiamo visto una classificazione dei possibili DSM, abbiamo conosciuto un po' più da vicino la matrice DMM, abbiamo visto più da vicino la tipologia di DSM di Processo, abbiamo visto come si leggono le informazioni della matrice e che significato hanno, abbiamo visto il significato dell'algoritmo di sequenziamento senza entrare nello specifico tecnico ma capendo il suo scopo. Siamo pronti a seguire con maggiore consapevolezza il percorso attraverso l'analisi della tesi sperimentale intrapresa.

La richiesta fatta dal mio relatore è suonata più o meno così:

Riuscire a esprimere un parere e quindi validare, attraverso l'ottenimento di un parametro temporale di confronto, il processo industriale di montaggio dei sedili anteriori auto con l'introduzione del brevetto SeatBridge.

Penso che una richiesta del genere avrebbe spaventato chiunque: per me è stato abbastanza scioccante in quanto per la prima volta mi trovavo ad avere a che fare con il settore automotive oltretutto molto specifico del montaggio sedili anteriori auto e poi perché mi trovavo di fronte ad un brevetto, cioè un'invenzione un'opera d'ingegno che meritava di essere trattata con il massimo delle capacità e risorse in campo.

Gran parte del tempo iniziale è stato speso per capire precisamente cosa dovevo fare e la traduzione in buona sostanza della richiesta è questa: studiare il processo produttivo di montaggio dei sedili anteriori auto, studiare il brevetto per capire la sua funzione e capacità innovativa, riuscire a costruire un processo produttivo ipotetico che utilizzasse il brevetto, applicare la teoria DSM ai due processi ricavando un parametro temporale in qualche modo e mettere a confronto con qualche criterio i due parametri temporali.

Anche detta così il lavoro appare arduo e fumoso. Da che parte cominciare? Come procedere per approcciare al problema in modo adeguato? Quali passi fare? Mille dubbi e perplessità mi si sono accumulate in testa perché mi si chiedeva uno sforzo creativo. Ci tengo a ribadire che per approcciare il problema avevo in testa più o meno quello che ho spiegato fino adesso, cioè una infarinatura iniziale della materia con molti dubbi e molte lacune e una domanda pressante COME SI FA? COME METTO IN PRATICA?

Mi sono rimboccato le maniche ed ho messo a fondamento dello studio un principio fondamentale e cioè il Learning by doing.

Ho iniziato da quello che avevo ed ho iniziato ad accumulare esperienza.



## Che cos'è SeatBridge?

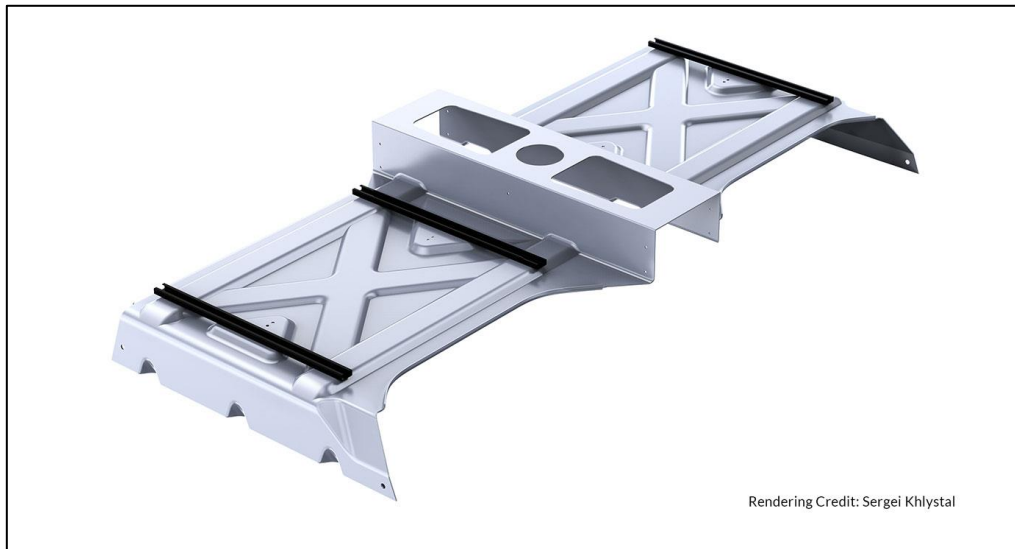


Fig. 6

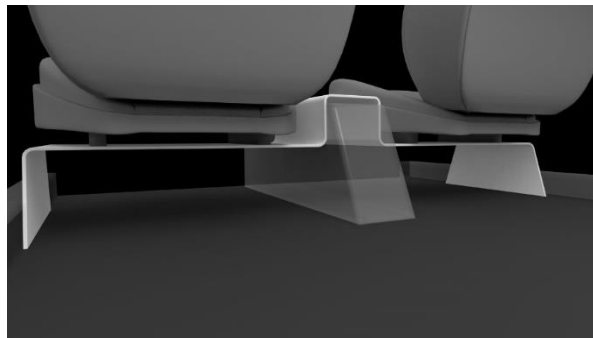


Fig. 5

Si tratta di una struttura a ponte che solleva i sedili auto (normalmente sono agganciati da delle guide alla scocca dell'auto) e consente di migliorare il confort per il passeggero posteriore e l'aspetto dell'auto che offre un design migliorato. Ho cercato di raccogliere maggiori informazioni possibili e di farmi un'idea generale.

Poi ho cercato di coniugare il processo investigativo con la comprensione della declinazione nella realtà della teoria DSM e mi sono state d'aiuto le indicazioni presenti nel sito della DSM: ■

[...] The success of the DSM method is determined by an appropriate system decomposition and by the accuracy of the dependence relationships. Therefore, it is vital to decompose the system under study carefully into a comprehensive set of meaningful system elements. An appropriate decomposition can be established by gathering a group of managers/experts from different functional groups of an organization and asking them to collectively list the different sub-systems that comprise the system as a whole. [...]

### **Basic Steps**

- 1) Interview engineers and managers
- 2) Check for possible sources of data that can be parsed or exported into a DSM
- 3) Determine list of system elements
- 4) Ask about inputs, outputs, strengths of interaction, etc between elements
- 5) Enter marks in matrix
- 6) Collect the comments that explain each element and each dependency (for later understanding and interpretation)

- 7) Check with engineers and managers to verify/comment on DSM
- 8) Refine the model over time by assimilating organizational learning

Era chiaro fin dai primi momenti di approfondimento che la procedura di analisi doveva essere condotta attraverso un lavoro di scambio con dei professionisti con i quali avrei potuto ragionare e scomporre il sistema in parti più semplici: la pratica del DSM è una pratica collaborativa che non può essere fatta in solitaria. Anzi si può affermare con certezza che il lavoro svolto in solitaria è fuorviante e porta a risultati errati. Lo spirito guida del metodo è l'ottenimento di una maggiore comprensione del processo produttivo in esame e questo non può che venire da un lavoro corale di cooperazione e scambio. Questo aspetto mi è molto piaciuto perché mi avrebbe dato la possibilità di condividere il lavoro con altri professionisti e di ricevere una esperienza diretta di lavoro di equipe rivolto al raggiungimento di uno scopo.

Dopo un certo tempo e parallelamente al processo di studio ho formato un gruppo di 7 professionisti (6 Ingegneri e 1 Manager). Di seguito riporto i loro volti e la loro qualifica professionale. ■

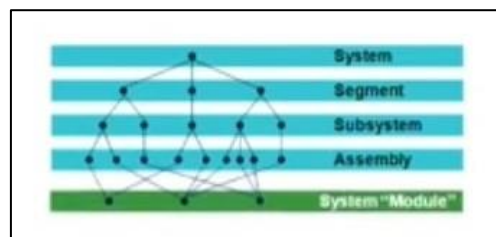
	<b>Ing. Carlo Lassi:</b> R&D Director presso Tacconi Engineering SRL, Assisi (PG)
	<b>Ing. Quintilio Proietti:</b> Ingegnere Progettista presso Studio Associato PRO.TECNO., Perugia (PG)
	<b>Prof. Andrea di Schino:</b> Professore di Metallurgia e Direttore del dipartimento di Ingegneria Industriale di Terni – Università degli studi di Perugia (PG)
	<b>Ing. Andrea Duranti:</b> HSE Manager presso Meccanotecnica Umbra spa, Spoleto (PG)
	<b>Ing. Gianluca Ottaviani:</b> consulente aziendale e libero professionista, Spoleto (PG)
	<b>Dott. Luca Barneschi:</b> CEO presso Bertolotti Group, Figline e Incisa Valdarno (FI)
	<b>Ing. Fabrizio Lazzari:</b> Ex dirigente Banca Unicredit – Facility Manager (PG) (Ingegnere in pensione dal 1 Gennaio 2021)

Il primo incontro con questi amici è stato il più formativo perché non avevo idea di cosa fare ma l'intuizione che ho portato con me è stata quella di condividere la cosa tra tutti e quindi di iniziare un processo che si definisce in letteratura di Brainstorming. La cosa è stata talmente coinvolgente e talmente partecipata che ha prodotto un risultato inaspettato: una maggiore comprensione del percorso da fare.

Ci siamo concentrati sulla comprensione dell'oggetto sedile auto (ci è venuto quai spontaneo farlo) e abbiamo tirato giù una serie di informazioni e caratteristiche tecniche che poi ho rielaborato nella seguente tabella: ■

LIVELLO	TEAM	COMPONENTI	LISTA ATTIVITA'	ID
SEDILE AUTO (S)	MECCANICO	Struttura del sedile	Montaggio struttura base del sedile	S1
		Meccanismi di regolazione	Regolazione motore elettrico per regolare altezza inclinazione e distanza del sedile	S2
		Riscaldamento e ventilazione	Applicazione strutture accessorie	S3
		Telaio e meccanismi di ribaltamento	Installazione struttura base	S4
	MATERIALI	Materiale di imbottitura	Applicazione dell'imbottitura	S5
		rivestimento	Applicazione dei rivestimenti	S6
	SICUREZZA	Sistemi di sicurezza	Applicazione strutture accessorie	S7
		Cinture di sicurezza	Installazione cinture di sicurezza	S8
	ELETTRONICO	Sistema elettrico e di regolazione	Installazione sistemi aggiuntivi	S9

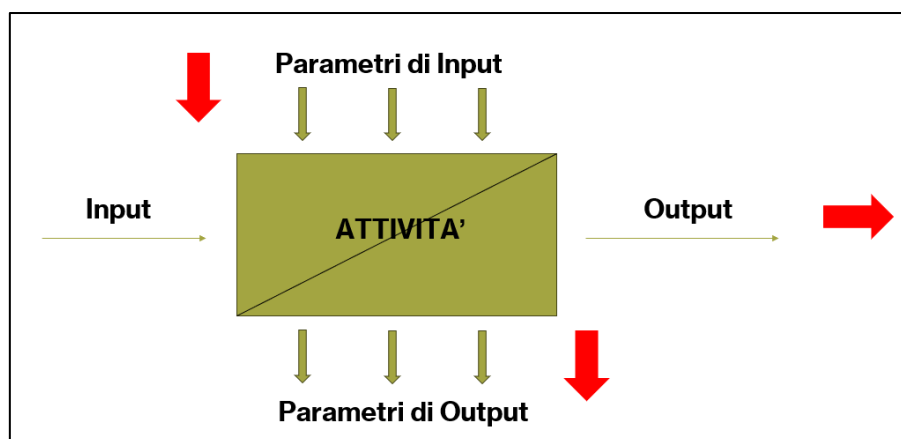
Questa tabella rappresenta un punto di arrivo e di inizio entusiasmante perché da significato ad uno schema teorico che prima non aveva nessun significato pratico ed è il seguente:



A questo punto avevo scoperto come passare da un lavoro di gruppo ad una lista di attività di processo e come riunire le informazioni acquisite per formare dei sottoteam di lavoro ognuno rispetto alla propria specifica formazione: questa divisione è stata fatta ad hoc in base alle competenze dei professionisti del team.

Una cosa fin dall'inizio era chiara: non potevo fare un corso di formazione sulla teoria DSM ai miei "colleghi" per ovvia mancanza di tempo e disponibilità ma dovevo dar loro qualcosa su cui ragionare per aiutarmi a costruire la matrice DSM dei processi da analizzare. La risposta non poteva venire da loro ma dovevo trovarla io in maniera creativa perché da nessuna parte trovavo indicazioni pratiche. La svolta di questo ragionamento è arrivata attraverso la comprensione e la visione di un'applicazione dell'utilizzo della matrice DMM che ho trovato nel mio lungo cercare in un corso proposto dall'università IIT di Bombay a cura della Prof.ssa Maheswari (propongo a playlist del corso in sitografia). ■

Ho capito che potevo utilizzare questo strumento in una maniera funzionale all'ottenimento del mio scopo: due matrici DMM una di Input e l'altra di Output collegate alle attività di processo tramite dei parametri opportunamente scelti, attraverso l'applicazione di un algoritmo da comprendere, davano come risultato la matrice DSM del processo. Quindi ottenevo la matrice DSM da un processo di costruzione preliminare di due matrici DMM ausiliarie. Mi ci è voluto un bel po' per capire il funzionamento del procedimento ma ormai ero incamminato nella strada giusta perché le matrici DMM rispetto alle DSM sono facilmente inquadrabili e comprensibili perché correlano le attività di processo a dei parametri legati ai processi stessi quindi dei professionisti specialisti ognuno nel proprio campo possono tranquillamente segnare delle relazioni magari con dei pesi di importanza tra le attività di processo e i parametri di Input/Output considerati. Lo schema proposto ci può aiutare a comprendere meglio il significato di quanto detto.



Rimaneva da decidere assieme al team quali parametri utilizzare, cioè, dovevamo dare significato ai parametri di input e ai parametri di output. ■

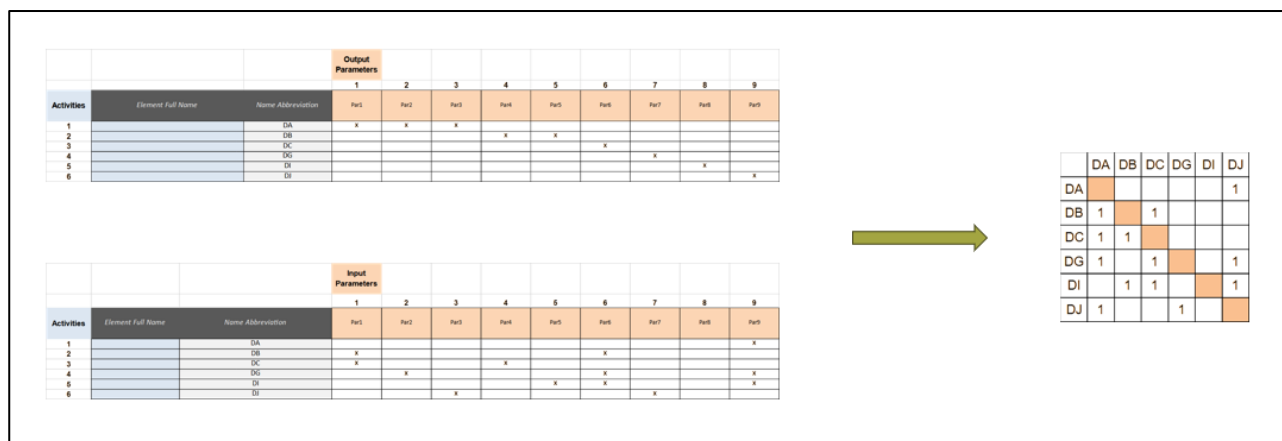
I parametri selezionati sono stati 13 e sono di seguito riportati: **controllo conformità**: abbiamo i sedili e la consolle centrale preparati e dobbiamo verificare che l'installazione sia conforme agli standard di qualità e sicurezza; **assemblaggio, punti di fissaggio, bulloni/viti**: i sedili vengono allineati e fissati saldamente alla scocca attraverso punti di fissaggio bulloni e viti; **ispezione visiva di danni/difetti**: dopo l'avvenuta installazione viene fatta una identificazione visiva di eventuali danni o difetti e se possibile vengono corretti; **test funzionali**: i sedili sono fissati definitivamente e vengono eseguiti test funzionali per verificare il corretto funzionamento delle parti fisse e mobili dei sedili e della consolle centrale; **sistemi elettrici/meccanici dei sedili**: i sedili e la consolle si presentano con i test superati ed è possibile effettuare collegamenti elettrici e meccanici per eventuali funzionalità aggiuntive in base al modello dell'auto; **sistemi del veicolo**: vengono integrati i sedili e la consolle ai sistemi globali del veicolo; **verifica e regolazione**: i sedili e la consolle integrati ai sistemi del veicolo sono pronti per una verifica e regolazione finale secondo le specifiche del modello auto; **assemblaggio componenti accessori**: i sedili regolati vengono arricchiti da eventuale assemblaggio di componenti accessori come supporti lombari o per la testa del guidatore sempre in base alle specifiche di qualità del modello auto che si sta costruendo; **specifiche modello auto**: ovviamente il processo produttivo deve tenere conto del tipo di modello auto e delle specifiche relative a cui sono correlati eventuali accessori e optional; **tipologia sedile**: anche la tipologia di sedile tiene conto di accessori aggiuntivi distinguendo tra un modello base ed uno luxury; **formazione addetti al montaggio**: questo parametro è di fondamentale importanza per la perfetta sincronizzazione dei tempi e il rispetto delle fasi di lavorazione anche rispetto a imprevisti o stop di linea. ■

			Output Parameters								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
Activities	Element Full Name	Name Abbreviation	Par1	Par2	Par3	Par4	Par5	Par6	Par7	Par8	Par9
1		DA	X	X	X						
2		DB				X	X				
3		DC						X			
4		DG							X		
5		DI								X	
6		DJ									X

Fig. 7

In figura 7 abbiamo l'esemplificazione di come appare la matrice DMM da utilizzare che va popolata con le attività nelle righe e i parametri (in questo caso di Output) nelle colonne. Da precisare che i parametri una volta scelti non cambiano e devono comparire allo stesso modo anche nella matrice DMM degli Input ciò che cambia sono le relazioni che compaiono all'interno della matrice.

A questo punto il processo di costruzione della matrice DSM era pronto e chiaro a me ma soprattutto ai miei "colleghi". Di seguito riporto lo schema: ■



Dovevamo popolare le matrici DMM di relazioni significative tra attività e parametri in modo da far emergere la costruzione della matrice DSM come conseguenza dell'elaborazione delle informazioni raccolte, dibattute ed acquisite, ma soprattutto condivise. Ho organizzato quindi la raccolta dati da proporre agli ESM attraverso due questionari uno semistrutturato per il processo innovativo e l'altro strutturato per il processo tradizionale.

**Questionario sulla Valutazione delle Attività di Assemblaggio dei Sedili Auto  
(Processo Tradizionale)**

Gentili Professionisti, vi chiediamo di dedicare qualche minuto a rispondere a questo questionario che mira a raccogliere informazioni sulle vostre competenze e a ottenere il vostro parere sulla lista delle attività e dei parametri associati al processo di assemblaggio dei sedili auto.

**L'obiettivo principale del questionario** è produrre una selezione significativa di attività e parametri collegati che mettano in luce il flusso del processo produttivo di assemblaggio dei sedili anteriori auto.

**1. Informazioni Personali:**

- Nome: \_\_\_\_\_
- Cognome: \_\_\_\_\_
- Età: \_\_\_\_\_
- Ruolo Attualmente Ricoperto: \_\_\_\_\_
- Competenze Principali Coinvolte nel Ruolo:
 

<input type="checkbox"/> Meccaniche	<input type="checkbox"/> Elettroniche	<input type="checkbox"/> Sicurezza e Formazione del personale
<input type="checkbox"/> Programmazione e Gestione	<input type="checkbox"/> Materiali	<input type="checkbox"/> Altro: _____

**2. lista delle possibili Attività:**  
Seleziona un massimo di **12 attività** (evidenziale con una x o aggiungi negli spazi dedicati) che ritieni fondamentali e/o ineliminabili per identificare il flusso del processo industriale oggetto del nostro studio

<input type="checkbox"/> Posizionamento della Scocca	<input type="checkbox"/> Fissaggio definitivo	<input type="checkbox"/> verifica conformità normativa
<input type="checkbox"/> Preparazione della Consolle Centrale	<input type="checkbox"/> Preparazione sedile sinistro	<input type="checkbox"/> Test di vibrazione e durabilità
<input type="checkbox"/> Preparazione del Sedile Destro	<input type="checkbox"/> Sincronizzazione con altri componenti	<input type="checkbox"/> Applicazione rivestimenti protettivi
<input type="checkbox"/> Allineamento e fissaggio Consolle Centrale	<input type="checkbox"/> Verifica allineamento globale	<input type="checkbox"/> Documentazione e tracciabilità
<input type="checkbox"/> Allineamento e fissaggio sedile destro	<input type="checkbox"/> Test di inclinazione e regolazione	<input type="checkbox"/> Allineamento e fissaggio sedile sinistro
<input type="checkbox"/> Verifica e controllo qualità	<input type="checkbox"/> integrazione di sistemi di riscaldamento/ventilazione	<input type="checkbox"/> installazione cinture di sicurezza
<input type="checkbox"/> Collegamenti elettrici e meccanici	<input type="checkbox"/> Verifica compatibilità con accessori	<input type="checkbox"/> Verifica finale
<input type="checkbox"/> fase di regolazione		

**3. Lista di possibili parametri di input/output relativi alle attività selezionate:**  
Ogni attività selezionata al punto 2, per essere portata a termine, necessita di parametri in ingresso e parametri in uscita: evidenzia i **10 parametri** più importanti tra quelli indicati o aggiungi negli spazi dedicati

<input type="checkbox"/> Controllo conformità	<input type="checkbox"/> assemblaggio	<input type="checkbox"/> punti di fissaggio
<input type="checkbox"/> bulloni/viti	<input type="checkbox"/> ispezione visiva danni/difetti	<input type="checkbox"/> test funzionali
<input type="checkbox"/> sistemi elettrici/meccanici dei sedili	<input type="checkbox"/> sistemi del veicolo	<input type="checkbox"/> verifica e regolazione
<input type="checkbox"/> assemblaggio componenti accessori		

**4. Collegamento Attività-Parametri:**  
Collegate le attività sopra selezionate ai parametri scelti, cercando di identificare le relazioni forti. Utilizzate lo spazio per un breve commento, se necessario, e indicate l'importanza della relazione utilizzando la scala da 0 a 3.  
(0 - per nulla importante; 1 - poco importante; 2 - importante; 3 - molto importante)

Attività	Parametri Collegati I/O	Importanza (0-3)	Commenti

Grazie per la vostra partecipazione!

Fig. 8

In figura 8 riporto il questionario relativo al processo tradizionale dove gli ESM hanno selezionato con una scelta a crocette, da un elenco precedentemente ottenuto dalle nostre interazioni, le 12 attività più importanti per il processo in esame. Stessa cosa è stata chiesta per la selezione dei parametri di Input/Output. Poi è stato

chiesto loro di esprimere, con una scala di importanza da 0 a 3, il peso delle relazioni analizzate in base alla loro competenza specifica.

Per quanto riguarda il processo innovativo, il cui questionario è riportato in figura 9, ho scelto di inserire, oltre alle richieste illustrate per il processo tradizionale, una parte di commento per esprimere un parere professionale circa il brevetto nella sua potenzialità di impatto nel mercato di riferimento: ho chiesto di mettere in luce criticità, pregi, difetti, suggerimenti proprio in base alla loro esperienza professionale e alla loro sensibilità personale.

La raccolta dati si è rivelata efficace perché tutti hanno risposto con grande entusiasmo ma soprattutto ognuno ha potuto rispondere nei tempi lunghi e dilatati che per fortuna ci eravamo dati. La raccolta dati mi ha permesso di costruire man mano che arrivavano i questionari le due matrici DMM del processo tradizionale e del processo innovativo.

Questionario sulla Valutazione delle Attività di Assemblaggio dei Sedili Auto (Processo Innovativo)		
Gentili Professionisti, vi chiedo di dedicare qualche minuto a rispondere a questo questionario che mira a raccogliere informazioni sulle vostre competenze e a ottenere il vostro parere sulla lista delle attività e dei parametri associati al processo di assemblaggio con l'innovazione SeatBridge.		
<b>L'obiettivo principale del questionario</b> è produrre una selezione significativa di attività e parametri collegati che mettano in luce il flusso del processo produttivo di assemblaggio del processo innovativo.		
<b>1. Informazioni Personali:</b>		
- Nome: _____		
- Cognome: _____		
- Et�: _____		
- Ruolo Attualmente Ricoperto: _____		
- Competenze Principali Coinvolte nel Ruolo:		
<input type="checkbox"/> Meccaniche	<input type="checkbox"/> Elettroniche	<input type="checkbox"/> Sicurezza e Formazione del personale
<input type="checkbox"/> Programmazione e Gestione	<input type="checkbox"/> Materiali	<input type="checkbox"/> Altro: _____
<b>2. lista delle possibili Attività:</b>		
Seleziona un massimo di <b>12 attività</b> (evidenziale con una x o aggiungile negli spazi dedicati) che ritieni fondamentali e/o ineliminabili per identificare il flusso del processo industriale oggetto del nostro studio		
<input type="checkbox"/> Posizionamento della Scocca	<input type="checkbox"/> Fissaggio definitivo	<input type="checkbox"/> verifica conformità normativa
<input type="checkbox"/> Preparazione SeatBridge	<input type="checkbox"/> Preparazione sedile sinistro	<input type="checkbox"/> Test di vibrazione e durabilit�
<input type="checkbox"/> Installazione meccanismi di regolazione	<input type="checkbox"/> Sincronizzazione con altri componenti	<input type="checkbox"/> Applicazione rivestimenti protettivi
<input type="checkbox"/> Allineamento e fissaggio SeatBridge	<input type="checkbox"/> Verifica allineamento globale	<input type="checkbox"/> Documentazione e tracciabilit�
<input type="checkbox"/> Verifica e controllo qualit�	<input type="checkbox"/> Test di inclinazione e regolazione	<input type="checkbox"/> Allineamento e fissaggio sedile sinistro
<input type="checkbox"/> Collegamenti elettrici e meccanici	<input type="checkbox"/> integrazione di sistemi di riscaldamento/ventilazione	<input type="checkbox"/> Verifica finale
<input type="checkbox"/> fase di regolazione	<input type="checkbox"/> Verifica compatibilit� con accessori	<input type="checkbox"/> _____
<input type="checkbox"/> _____	<input type="checkbox"/> _____	<input type="checkbox"/> _____
<b>3. Lista di possibili parametri di input/output relativi alle attivit� selezionate:</b>		
Ogni attivit� selezionata al punto 2, per essere portata a termine, necessita di parametri in ingresso e parametri in uscita: evidenzia i <b>10 parametri</b> pi� importanti tra quelli indicati o aggiungili negli spazi dedicati		
<input type="checkbox"/> Controllo conformit�	<input type="checkbox"/> assemblaggio	<input type="checkbox"/> punti di fissaggio
<input type="checkbox"/> bulloni/viti	<input type="checkbox"/> ispezione visiva danni/difetti	<input type="checkbox"/> test funzionali
<input type="checkbox"/> sistemi elettrici/meccanici dei sedili	<input type="checkbox"/> sistemi del veicolo	<input type="checkbox"/> verifica e regolazione
<input type="checkbox"/> assemblaggio componenti accessori	<input type="checkbox"/> _____	<input type="checkbox"/> _____
<b>4. Parere generale sul brevetto e sul potenziale innovativo:</b>		
In questa sezione vi chiedo di esprimere un parere professionale sul brevetto SeatBridge evidenziando, tramite la vostra specifica competenza, pregi e difetti. Inoltre, se ritenete opportuno, suggerite soluzioni ad eventuali criticit� riscontrate.		
<div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div>		
Grazie per la vostra partecipazione!		

Fig. 9

Il processo di costruzione dei due questionari   stato un tassello fondamentale per la ricerca e che mi ha portato a studiare una materia nuova ed affascinante. Non affronter  in questa sede la genesi dei due strumenti ma   un aspetto interessante che probabilmente affronter  in futuro in forma scritta perch  le competenze che si acquisiscono risultano di grande utilit : ci permettono di padroneggiare uno strumento pratico ed efficace per la raccolta e la gestione di informazioni e di adattare alle nostre ricerche. ■

Il primo risultato ottenuto   stato lo scomponimento nelle attivit  principali del processo produttivo tradizionale con una tabella mostrata in figura 11 che inizialmente ha portato a 25 attivit .



Abbiamo però deciso dopo un confronto piuttosto serrato di semplificare il problema cercando di selezionare alcune di queste attività. In figura 12 riporto il risultato finale del lavoro di collaborazione con gli ESM costituito da 12 attività selezionate come le più importanti per descrivere il processo di montaggio dei sedili anteriori auto (vedi figura 11).

LIVELLO	TEAM	COMPONENTI	LISTA ATTIVITA'	ID
PROCESSO DI ASSEMBLAGGIO SEDILI ANTERIORI AUTO PROCESSO TRADIZIONALE (PT)	MECCANICO	Schienale dei sedili	Test di inclinazione e regolazione	PT1
		sedile	Installazione struttura di base	PT2
		Sedili anteriori	Preparazione del sedile destro	PT3
		consolle	Preparazione consolle centrale	PT4
		sedile	Preparazione sedile sinistro	PT5
		Sedile, scocca	Allineamento e fissaggio sedile destro	PT6
		Consolle, scocca	Allineamento e fissaggio consolle centrale	PT7
		Sedile, scocca	Allineamento e fissaggio sedile sinistro	PT8
		Pavimento scocca, sedile, consolle	Fissaggio definitivo	PT9
		Seduta sedile	Integrazione dei sistemi di riscaldamento/ventilazione	PT10
		Modello auto	Verifica della compatibilità con accessori	PT11
	MATERIALI	Scocca auto, modello auto	Posizionamento della scocca	PT12
	SICUREZZA	Sedili, consolle	Verifica e controllo qualità	PT13
		Sedili, consolle	Preparazione componenti	PT14
		Sedili, consolle	Verifica finale	PT15
		Sedili, consolle	Sincronizzazione con altri	PT16

LIVELLO	TEAM	COMPONENTI	LISTA ATTIVITA'	ID
			componenti	
		Sedili, consolle	Verifica allineamento globale	PT17
		Sedile, modello auto	Installazione cinture di sicurezza	PT18
		Sedile, modello auto	Verifica della conformità normativa	PT19
		Scocca, sedile, consolle	Test di vibrazione e durabilità	PT20
		Sedili, scocca, consolle, modello auto	Fase di regolazione	PT21
		Sedili	Applicazione rivestimenti protettivi	PA22
		Sedili, scocca, consolle, modello auto	Documentazione e tracciabilità	PT23
	ELETTRONICO	Schienale sedile, seduta sedile, modello auto	Installazione dei meccanismi di regolazione	PT24
		Schienale sedile, seduta sedile, modello auto	Collegamenti elettrici e meccanici	PT25

Fig. 10

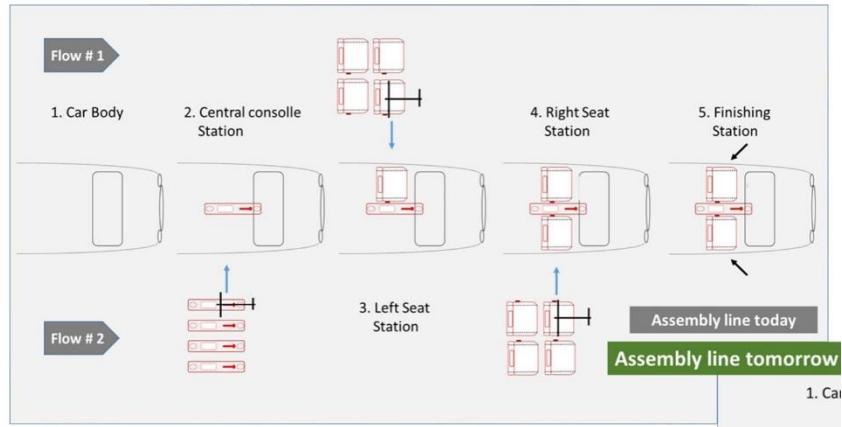


Fig. 11 - Schema descrittivo del processo assemblaggio sedili anteriori tradizionale

LIVELLO	TEAM	LISTA ATTIVITA'	ID
PROCESSO DI ASSEMBLAGGIO SEDILI ANTERIORI AUTO PROCESSO TRADIZIONALE (PTS)	MECCANICO	Installazione struttura di base	PT2
		Preparazione del sedile destro	PT3
		Preparazione consolle centrale	PT4
		Preparazione sedile sinistro	PT5
		Allineamento e fissaggio sedile destro	PT6
		Allineamento e fissaggio consolle centrale	PT7
		Allineamento e fissaggio sedile sinistro	PT8
		Fissaggio definitivo	PT9
	MATERIALI	Posizionamento della scocca	PT12
	SICUREZZA	Verifica e controllo qualità	PT13
		Verifica finale	PT15
		Verifica allineamento globale	PT17

Fig. 12

Dalla tabella di figura 12 e dai dati raccolti tramite i questionari di figura 8 ho potuto costruire le due matrici DMM del processo tradizionale che riporto di seguito, quella con parametri di input di figura 13 e quella con parametri di output di figura 14:

Input Parameters			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Activities	Element Full Name	Name Abbreviation	controllo conformità	assemblaggio	punti di fissaggio	bulloni/viti	ispezione visiva di danni/difetti	test funzionali	sistemi elettrici/meccanici dei sedili	sistemi del veicolo	verifica e regolazione	assemblaggio componenti accessori	specifiche modello auto	tipologia sedile	formazione addetti al montaggio
1	installazione struttura di base	PT2					X								X
2	preparazione sedile destro	PT3			X						X		X	X	
3	preparazione consolle centrale	PT4		X							X		X	X	
4	preparazione sedile sinistro	PT5		X	X					X	X		X		
5	allineamento e fissaggio sedile destro	PT6	X					X	X			X			
6	allineamento e fissaggio consolle centrale	PT7				X									X
7	allineamento e fissaggio sedile sinistro	PT8				X						X	X		
8	fissaggio definitivo	PT9						X							
9	posizionamento della scocca	PT12													
10	verifica e controllo qualità	PT13		X	X									X	
11	verifica finale	PT15	X												X
12	verifica allineamento globale	PT17							X						

Fig. 13

Output Parameters			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Activities	Element Full Name	Name Abbreviation	controllo conformità	assemblaggio	punti di fissaggio	bulloni/viti	ispezione visiva di danni/difetti	test funzionali	sistemi elettrici/meccanici dei sedili	sistemi del veicolo	verifica e regolazione	assemblaggio componenti accessori	specifiche modello auto	tipologia sedile	formazione addetti al montaggio
1	installazione struttura di base	PT2									X				
2	preparazione sedile destro	PT3		X						X					
3	preparazione consolle centrale	PT4			X										
4	preparazione sedile sinistro	PT5												X	
5	allineamento e fissaggio sedile destro	PT6				X						X			
6	allineamento e fissaggio consolle centrale	PT7													
7	allineamento e fissaggio sedile sinistro	PT8							X						
8	fissaggio definitivo	PT9													
9	posizionamento della scocca	PT12					X								
10	verifica e controllo qualità	PT13								X			X		
11	verifica finale	PT15						X							
12	verifica allineamento globale	PT17	X												

Fig. 14

Siamo arrivati al punto della ricerca in cui, dopo aver raccolto tutti i questionari e costruito le tabelle delle attività principali dei due processi sia quello tradizionale che quello innovativo, mi ritrovavo ad avere le matrici DMM riempite delle relazioni significative pronte per le elaborazioni successive. Mi mancava uno strumento informatico che implementasse in modo veloce l'algoritmo risolutivo per la costruzione della matrice DSM risultante e siccome volevo cimentarmi nella programmazione VBA per la costruzione di Macro in Excel ho deciso di costruirla io stesso inserendo all'interno dei fogli di lavoro del MIT di Bostron il foglio di lavoro Activities – Parameters mostrato in figura 15. ■

I fogli di calcolo del MIT di Boston sono stato lo strumento per l'analisi dei dati che ho utilizzato per portare avanti lo studio e come mostro in figura 16 si compone di 11 fogli successivi ognuno dei quali svolge un compito chiave e che ho dovuto imparare ad utilizzare non essendoci nessun manuale di istruzioni.

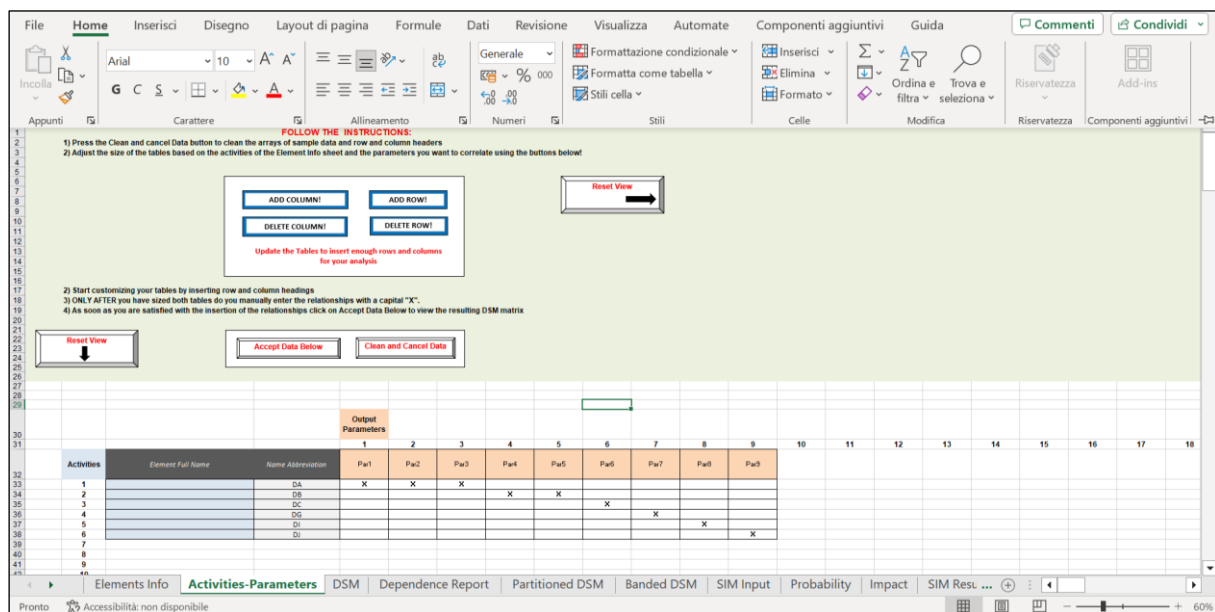


Fig. 15

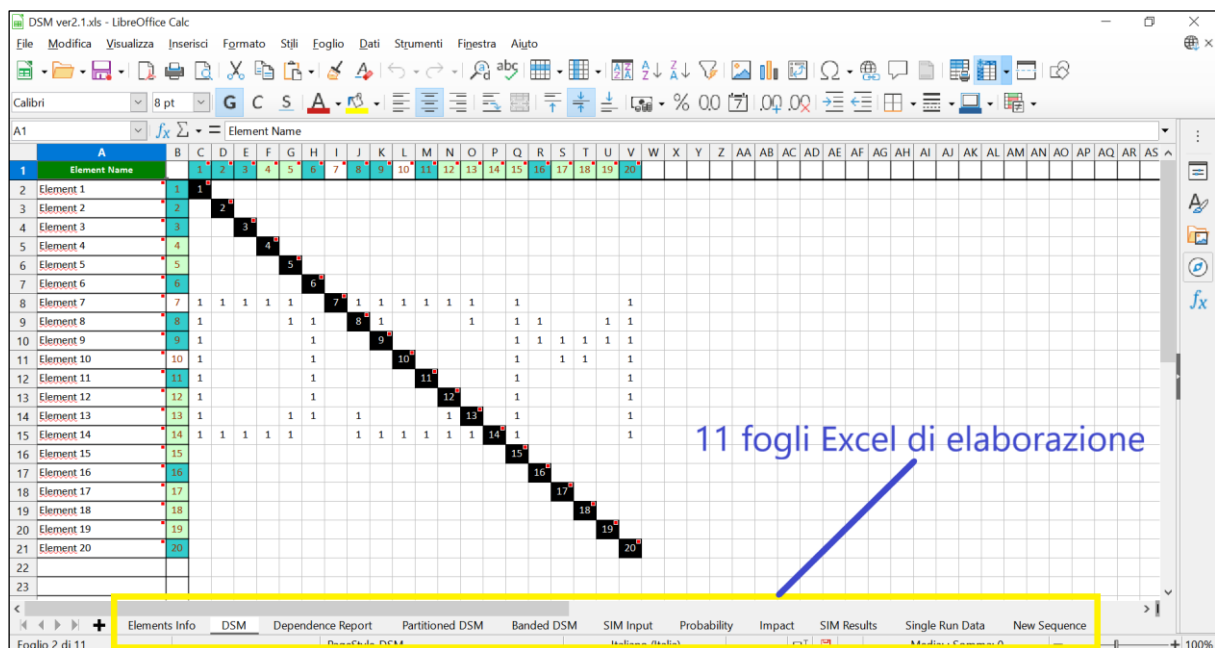


Fig. 16

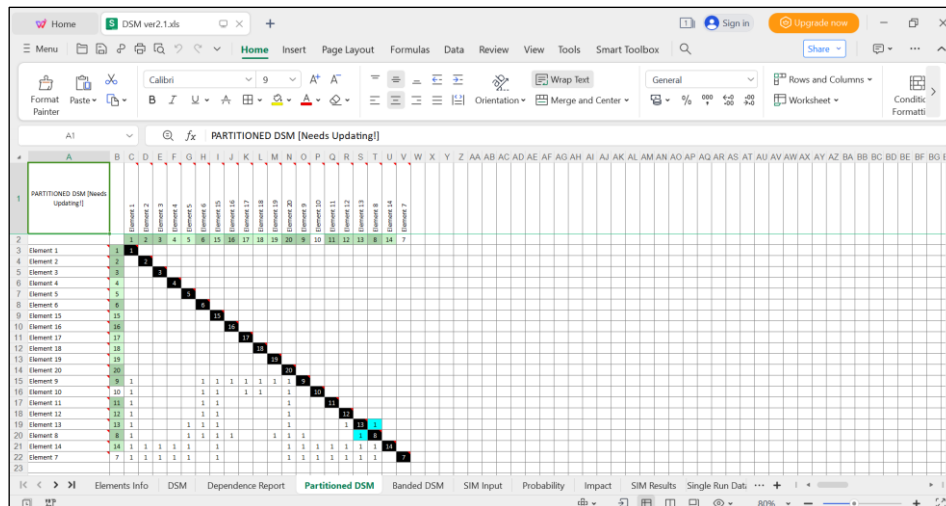


Note:  
By updating the DSM, all elements information are used from this tab, including the order. Therefore you can use this tab to reorder your DSM or create a completely new one.

Depends on [Necros Updating]

Element 20 Full Name,  
Element 7 Full Name,  
  
Element 20 Full Name, Element 19 Full Name,  
  
Element 9 Full Name,  
Element 3 Full Name, Element 12 Full Name, Element 14 Full Name, Element 16 Full Name,  
  
  
Element 19 Full Name,  
  
Element 7 Full Name,  
Element 3 Full Name,  
  
Element 9 Full Name,  
  
Element 4 Full Name, Element 11 Full Name,  
  
Element 9 Full Name, Element 20 Full Name,  
Element 14 Full Name, Element 19 Full Name,

[illegible]

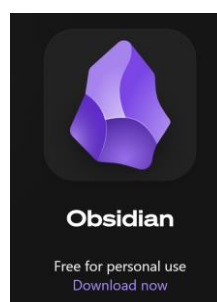


## Come si passa dalle due matrici DMM alla matrice DSM?

Questo procedimento che ho ricavato dalla visione e dallo studio del corso della Professoressa Maheswari sulle tecniche di Scheduling per il Project Management (lascio la playlist tra la sitografia alla fine del seminario) l'ho imparato prima a fare manualmente su matrici rettangolari piccole e, dopo essermi reso conto che aumentando la dimensione delle matrici coinvolte la cosa si complicava in modo esponenziale, ho deciso di implementare l'algoritmo all'interno di un foglio di lavoro Excel che ho chiamato "Activities-Parameters". Da qui è nata l'idea di arricchire i fogli Excel con Macro del MIT di Boston con questo foglio di lavoro. La cosa mi è sembrata particolarmente utile perché arricchisce la dotazione a disposizione del progettista che a questo punto può scegliere due strade: la costruzione diretta della DSM di processo, se questo professionista assieme al suo team conosce nei dettagli il processo stesso e la teoria DSM, oppure, di ottenere la DSM come percorso conclusivo della costruzione delle due matrici DMM in esame se, come nel mio caso, ha a che fare con professionisti non avvezzi al metodo e alla teoria DSM.

La cosa stava prendendo una piega inaspettata perché contemporaneamente stavo lavorando all'implementazione di un plugin con il software Obsidian per l'ottenimento di una matrice di adiacenza con e senza pesi e stavo apprendendo la programmazione in linguaggio Typescript. ■

## Che cos'è Obsidian.md?

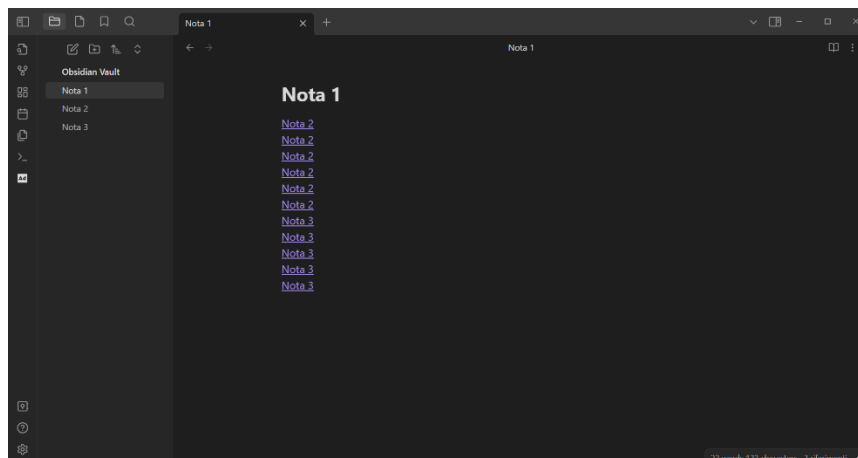


Obsidian.md, il cui logo è mostrato in figura, è un software open source lanciato nel 2020, sviluppato da due giovani ragazzi di origine cinese Shida Li e Erica Xu (università di Waterloo – Canada) durante il periodo della pandemia Covid, diventato rapidamente popolare tra coloro che cercano un'applicazione per la gestione delle note basata sul Markdown con funzionalità di collegamento e organizzazione avanzato. Obsidian è un software per la gestione delle note e la creazione di collegamenti tra di esse. Alcune caratteristiche peculiari sono le seguenti:

**1. Markdown-Based:** Obsidian.md utilizza la sintassi Markdown per formattare le note, rendendo la scrittura e la modifica facile e intuitiva.

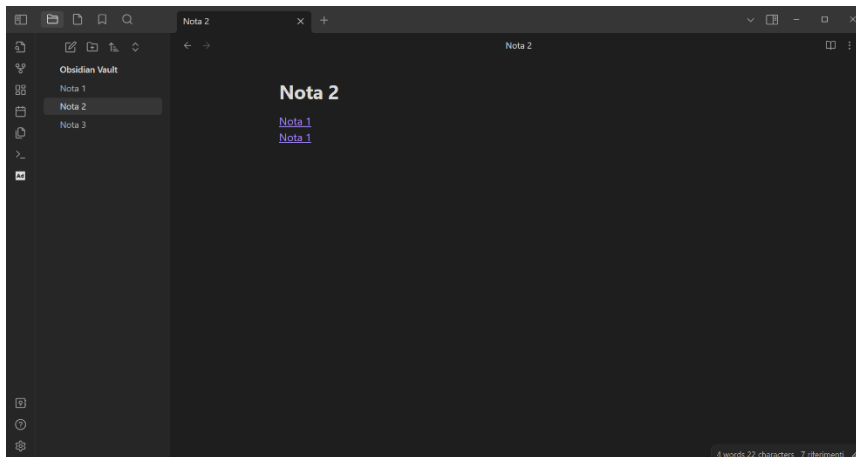
- 2. Grafo delle connessioni:** attraverso il software è possibile creare collegamenti tra le note in modo da visualizzare un grafo delle connessioni, aiutando a organizzare le idee e vedere come i concetti sono correlati.
- 3. Editor Markdown:** offre un editor Markdown con anteprima in tempo reale che permette di vedere come apparirà il testo formattato mentre scrivi. ■
- 4. Ricerca Potente:** Obsidian.md dispone di un potente motore di ricerca che aiuta a trovare rapidamente le note anche tra migliaia di documenti.
- 5. Plugin e Personalizzazione:** si tratta di un software altamente personalizzabile grazie all’ecosistema di plugin che permette di estendere le funzionalità.
- 6. Open Source:** Obsidian è open source, il che significa che puoi accedere al codice sorgente e modificarlo secondo le tue esigenze.
- 7. Sincronizzazione:** è possibile sincronizzare le note attraverso servizi come Dropbox o altro per accedervi da diversi dispositivi.
- 8. Versioning e Backup:** Obsidian offre il supporto per il versioning delle note ed è possibile eseguire il backup dei dati in modo da non perdere mai informazioni importanti. Il versioning delle note è un sistema che tiene traccia delle diverse versioni di una nota o di un documento nel tempo. Ogni volta che si apportano modifiche, il sistema registra e conserva una copia di quella nota nello stato precedente: si ha quindi l’opportunità di ripristinare versioni precedenti, tracciare le modifiche nel tempo ed avere una maggiore sicurezza dei dati che, se si corrompono, possono essere recuperati in una versione precedente al danneggiamento. ■

Come funziona il Plugin “Adjacency Matrix Exporter”?

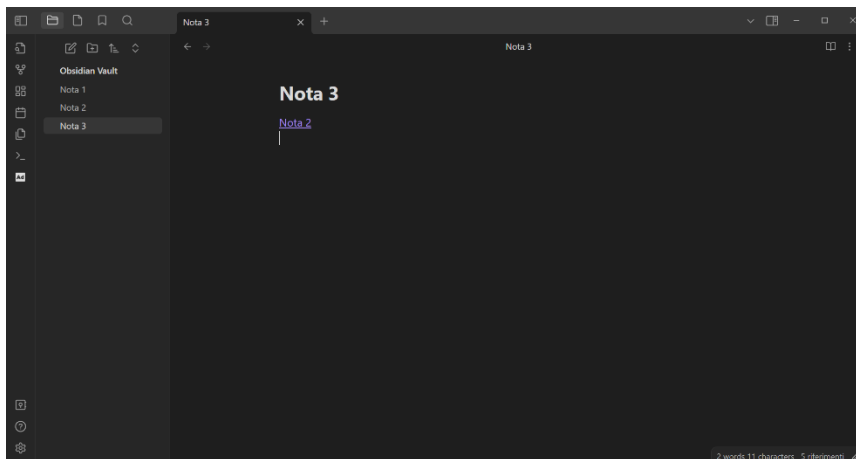


Lo vediamo attraverso l’illustrazione di un esempio pratico mostrato nelle figure seguenti. Dalla Nota 1 ci si collega alle altre attraverso i link sottolineati in viola che si possono inserire con combinazione di tasti: in questo caso vado dalla Nota 1 alla Nota 2 con un numero totale di 6 link e alla nota 3 con 5 link. ■

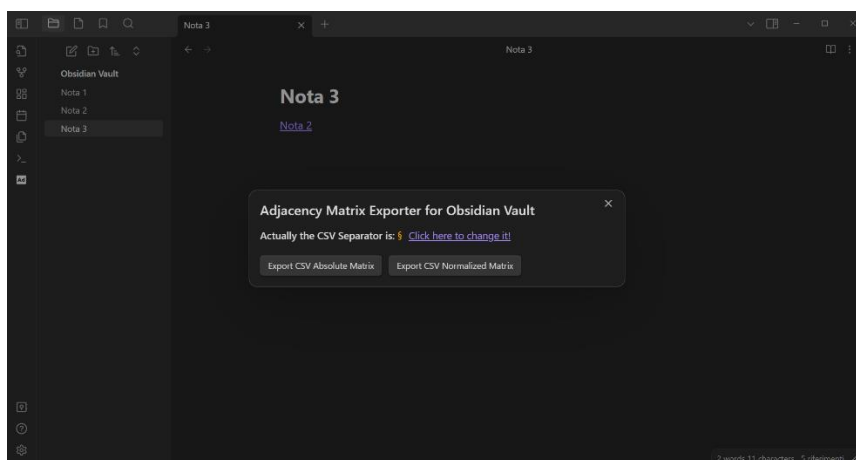




Selezionando la Nota 2 vedo che è collegata alla sola Nota 1 attraverso un totale di 2 link. ■



Selezionando la Nota 3 risulta che lei è collegata alla Nota 2 con 1 solo link. ■



A questo punto entra in gioco il Plugin la cui interfaccia utente è segnata in figura 17 e i cui effetti sono mostrati nella stessa figura: ■

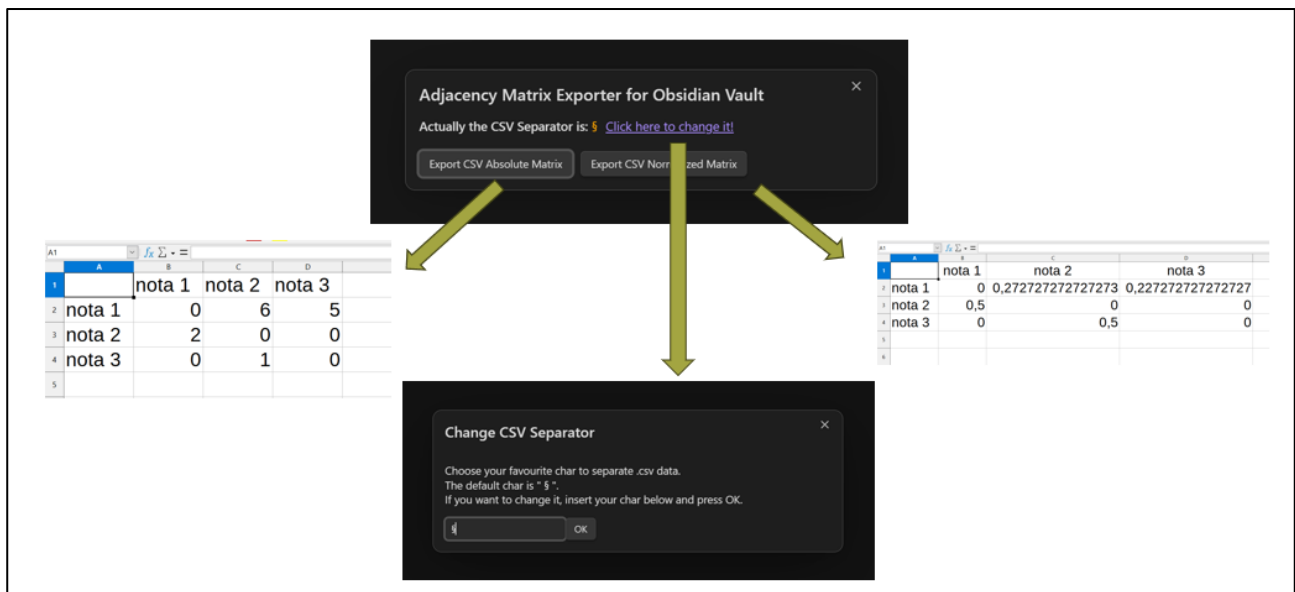


Fig. 17

L'esportazione ottenuta premendo il pulsante a sinistra produce un file CSV gestibile da programmi come Excel il cui risultato è mostrato in figura: vengono riportate le intestazioni di riga e colonna della matrice di adiacenza, che è una matrice DSM come già ci siamo detti, con le relative relazioni pesate (si contano cioè il numero totale di collegamenti da nota a nota); Ho studiato inoltre una variante che ottiene un valore normalizzato e che apre una possibile relazione con studi di Social Network Analysis. Non mi dilungo oltre su questo aspetto. Cliccando sul link in viola è possibile scegliere il separatore del file CSV perché per una particolare conformazione della scrittura delle note l'esportazione con il separatore di default potrebbe non essere corretto e quindi si può modificare a piacimento. ■

La cosa interessantissima è che è possibile, tramite la funzionalità CANVAS, sui cui dettagli non mi soffermo per ovvi motivi di tempo, costruire il digrafo delle relazioni tra le note, come mostrato in figura e con il plugin ottenere automaticamente la matrice di adiacenza di questa struttura.

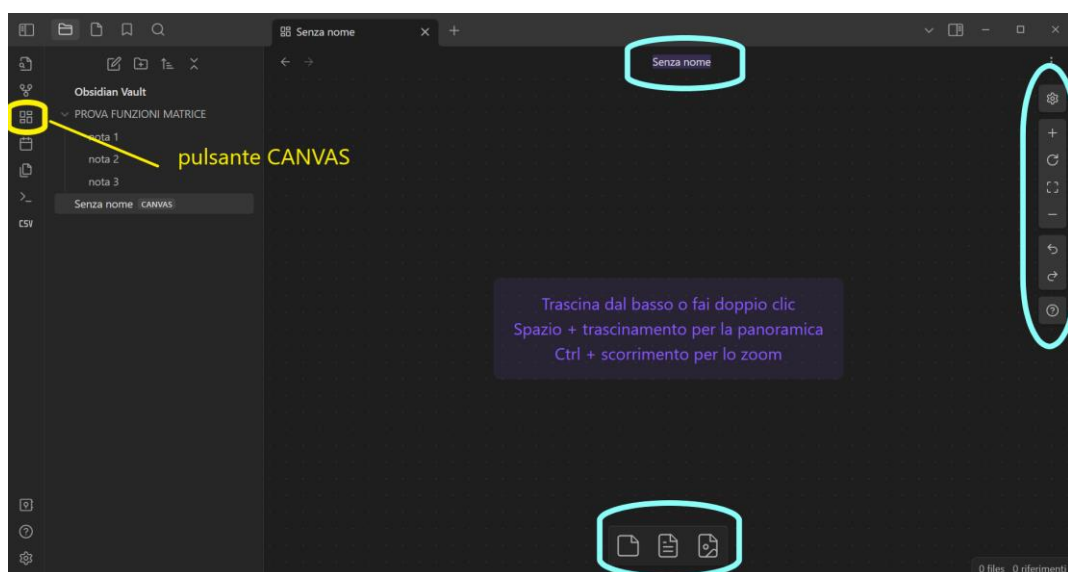


Fig. 18

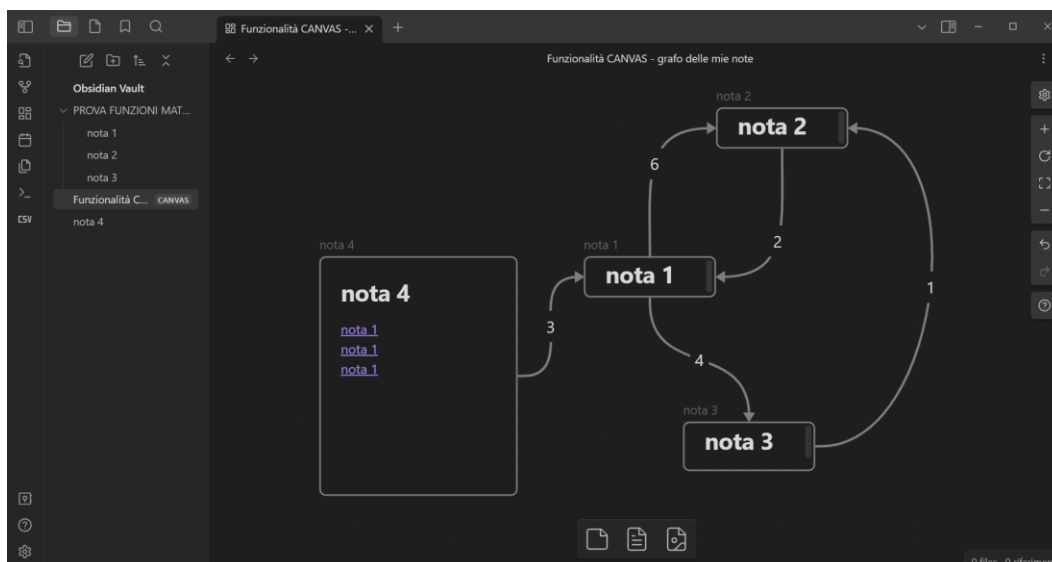


Fig. 19

A questo punto è chiaro il percorso ottenuto: si può decidere di ottenere la matrice DSM o con l'aiuto dei fogli Excel con macro del M.I.T. di Boston o con questa nuova modalità all'interno di Obsidian. Il vantaggio fondamentale è che con il plugin si superano le limitazioni dimensionali della matrice che è possibile gestire, infatti, i fogli del M.I.T. gestiscono matrici 250x250 massimo mentre il plugin consente di gestire matrici di qualsivoglia dimensione (questa discriminante è una di quelle fondamentali che distinguono i software a pagamento).

Dal momento della sua creazione (il 6 dicembre 2023 è stato inserito nell'elenco dei plugin scaricabili dalla community di tutto il mondo dopo aver subito un processo di revisione da parte di due ingegneri del software del team di programmatori che collaborano con Obsidian e che aiutano gli sviluppatori a ottimizzare le loro creazioni e renderle disponibili a tutti) il plugin ha avuto un notevole successo essendo arrivato quasi a 2000 download. ■

Siamo in dirittura finale e vi presento uno dei risultati cardine ottenuti per la ricerca: la matrice DSM del processo tradizionale.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1											
2		2										
3			3									
4				4								
5					5							
6						6						
7							7					
8								8				
9									9			
10										10		
11											11	
12												12

Fig. 20

Il processo tradizionale inizialmente analizzato con gli ESM aveva 25 attività: si è deciso, in maniera condivisa per focalizzarci maggiormente sulle attività ritenute più significative, di selezionare 12 attività e questo è stato

ottenuto tramite la raccolta dati dei questionari somministrati. Da qui in avanti si sono applicati i procedimenti di analisi contenuti nei fogli Excel del M.I.T. di Boston primo fra tutti l’algoritmo di Partizionamento che ha prodotto il seguente risultato che vi voglio commentare brevemente. ■

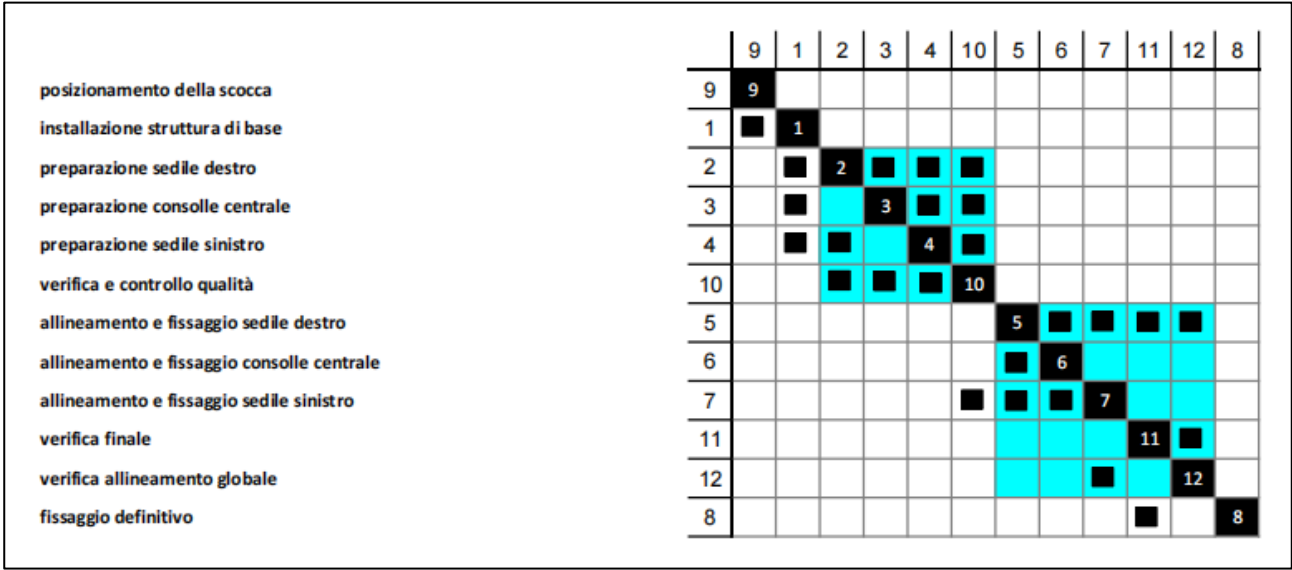
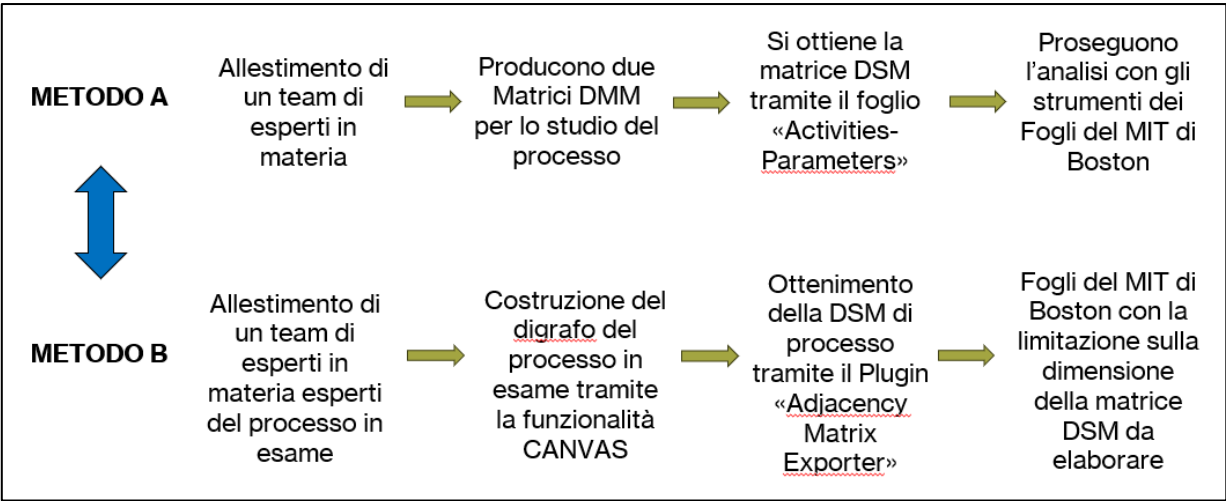


Fig. 21

Le attività vengono riordinate dall’algoritmo in modo da ottenere un’ottimizzazione del processo e contemporaneamente si delineano dei raggruppamenti di attività tra loro interconnesse e che necessitano di ulteriori analisi: in articolare l’evidenza che ci arriva è che se siamo in grado di agire su questi due blocchi di attività in modo da “ripensare” il processo produttivo possiamo ottenere una migliore gestione, una migliore ingegnerizzazione, un miglioramento in termini di tempo ed economico. Ottenere queste informazioni è estremamente importante per il progettista che in questa analisi si è potuto rendere conto di dove sono i problemi reali dell’architettura di processo. ■

Tiriamo ora le fila di tutto il discorso fatto e arriviamo a meta: tramite la teoria DSM studiata e i risultati raggiunti nel percorso di tesi sperimentale si è delineata una metodologia innovativa non presente in letteratura scientifica per la progettazione di processi innovativi che possono essere messi a confronto con i processi tradizionali. Nel percorso abbiamo aggiunto strumenti informatici di supporto e abbiamo espanso le metodologie di costruzione della matrice DSM. Voglio sottolineare il fatto che la cosa più importante che emerge da questo lavoro è un processo metodologico fondativo e nuovo che è possibile riassumere in una duplice strada da percorrere e che riassumo nel seguente schema:



Riassumo i passaggi fondamentali del metodo seguito: ■

- l'adozione di un Consensus Panel di esperti per analizzare profondamente e nel dettaglio tutte le attività di processo e i parametri di input/output collegati;
- una raccolta dati attraverso un questionario strutturato e semistrutturato somministrato ai professionisti ESM;
- l'utilizzo di un modello matematico estremamente potente denominato DSM;
- strumenti informatici per l'elaborazione dei dati: Plugin e Fogli Excel con Macro

A conclusione di questo seminario possiamo tirare le somme in questi termini: ■

- Il lavoro svolto costituisce un buon punto di partenza per applicare la teoria DSM a modellizzazioni di architetture di processo
- La metodologia seguita costituisce un percorso a step da seguire per ottenere il risultato di analisi desiderato
- In questo percorso si utilizzano strumenti informatici indispensabili alla gestione e analisi dei dati costituiti dal Plugin e dai fogli Excel con Macro

**L'augurio che faccio a voi che ascoltate il seminario è di appassionarvi alla materia che trattate in questo momento o che tratterete nei vostri studi futuri e di applicare le vostre competenze ed il vostro talento per sondare spazi inediti e aprire strade nuove di comprensione e consapevolezza per voi stessi e per gli altri!**



#### SITOGRAFIA:

- <https://dsmweb.org/home-2>
- <https://www.designsociety.org>
- <https://dsm-conference.org>
- <https://camtoolkit.eng.cam.ac.uk>
- <https://www.complexityeducation.com/2018/06/16/semplice-complicato-complesso-2>
- <https://www.youtube.com/watch?v=eY7OVARdJUA>
- <https://www.youtube.com/watch?v=qOmrmperRWA&t=15s>
- <https://www.youtube.com/watch?v=XXik26JXgfA> (Video lezioni IIT Bombay 2 di 3)
- <https://www.youtube.com/watch?v=0jRG9LiaWsw> (Video lezioni IIT Bombay 3 di 3)
- <https://www.youtube.com/watch?v=De8oEjHvgZU&list=PLWbMIWDT0auC51Ze0EcCkt35rjepw80nG> (Corso completo della professoressa Maheswari)



## BIBLIOGRAFIA:

- Steven D. Eppinger, Tyson R. Browning, *Design Structure Methods and Application*, The MIT Press Cambridge, 2012.
- Tyson R. Browning, *Applying the Design Structure Matrix to System Decomposition and Integration Problems: A Review and New Directions*, IEEE Transactions on Engineering Management, Vol. 48, n° 3, 2001, 292-306.
- Tyson R. Browning, Steven D. Eppinger, *Modeling Impacts of Process Architecture on Cost and Schedule Risk in Product Development*, IEEE Transactions on Engineering Management, Vol. 49, n° 4, 2002, 428-442.
- Tyson R. Browning, *Design Structure Matrix Extensions and Innovations: A Survey and New Opportunities*, IEEE Transactions on Engineering Management, Vol. 63, n° 1, 2016, 27-52.



## E PER SAPERNE DI PIÙ:

- Maheswari J. U., *Scheduling Techniques in Projects*, IIT Delhi, 2021
- Uzayr S. B., *Typescript for Beginners*, CRC Press, 2022.
- Antonio Sforza, *Modelli e metodi della Ricerca Operativa*, Edizioni Scientifiche Italiane, 2018
- Daniele Grazzini, *Breve Introduzione alla Design Structure Matrix (La DSM per la progettazione e l'efficientamento dei processi produttivi, dei flussi di materiali, degli scambi di informazione)*, dispensa PDF (Aprile 2024)