



Classificazione e configurazione dei sistemi produttivi



Classificazione dei sistemi produttivi



Diagramma a tre assi

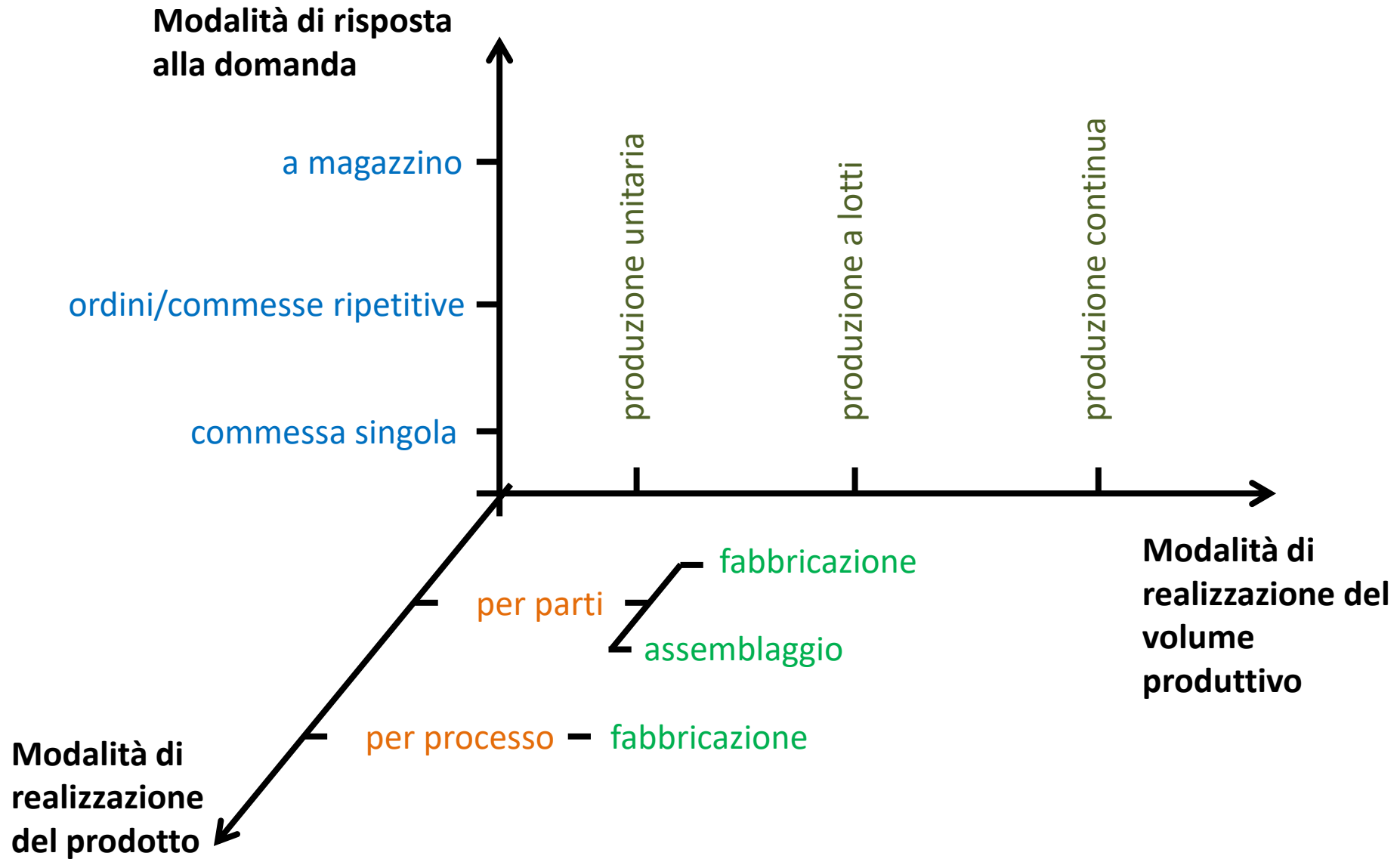




Diagramma a tre assi

Modalità di risposta alla domanda di mercato

- Produzione per commessa singola
 - L'azienda riceve ordini per singoli prodotti per i quali occorre solitamente **ingegnerizzare** l'intero sistema, e quindi approntare il **progetto** (totale o parziale), i cicli di lavorazione, la fase realizzativa, ecc.
 - Un esempio può essere la costruzione di navi o di grandi infrastrutture (es: ponti).



Diagramma a tre assi

- Produzione per commessa ripetitiva
 - In questo caso l'azienda produce una **gamma** di **prodotti** di caratteristiche definite per **clienti fissi** che richiedono forniture scaglionate nel tempo (caso delle aziende subfornitrici), oppure produce su **catalogo**, ma solo dopo il manifestarsi dell'ordine, per una **clientela assai varia** e con un'ampia gamma di prodotti, di cui sono **definiti progetto, cicli, attrezzature, materiali**.

Diagramma a tre assi

- Produzione a magazzino
 - L'azienda realizza la produzione **prima del manifestarsi dell'ordine**.
 - I prodotti, alla fine del processo produttivo, sono immagazzinati in un magazzino prodotti finiti.
 - I prodotti confluiranno successivamente, attraverso una rete di distribuzione, ad un molteplice numero di **clienti «anonimi»**.



Modalità di realizzazione del volume produttivo

- Produzione unitaria
 - La **variabilità dei cicli tecnologici** di produzione tra ordine ed ordine è assai ampia e l'attività produttiva è organizzata in funzione dell'ottenimento delle quantità prefissate, di solito assai limitate ed al limite unitarie.
 - Le macchine sono macchine universali in grado di realizzare tipologie di prodotti estremamente variabili.



Diagramma a tre assi

- Produzione a lotti
 - La variabilità dei cicli tecnologici di produzione è minore, nel senso che si ha a che fare con **prodotti diversi** ma che vengono realizzati secondo il **criterio dell'alternanza in lotti** di entità coerente con il fabbisogno immediato.
 - Le macchine sono in questo caso flessibili ed in grado di adattarsi tramite operazioni di attrezzaggio (setup) al cambio di produzione.



Diagramma a tre assi

- Produzione continua
 - In questo caso i **cicli tecnologici** sono **costanti** per periodi notevolmente estesi, dando luogo ad un **flusso costante di prodotto con le medesime caratteristiche**.
 - Le macchine sono in questo caso **rigide**, in grado di produrre **un ben preciso prodotto con elevata cadenza produttiva**, minimizzando quindi il costo unitario di produzione.



Modalità di realizzazione del prodotto

- Produzione per processo
 - In questo caso i **componenti originari** (materie prime) non sono più distinguibili nel prodotto finito oppure hanno **cambiato natura** in seguito a trasformazioni chimico-fisiche, come nel caso dei prodotti di acciaierie, industrie chimiche, cementifici, cartiere ecc.

Diagramma a tre assi

- Si parla quindi di produzione a **ciclo tecnologico obbligato**, in quanto il processo produttivo è **vincolato** da una serie di **trasformazioni** chimico-fisiche che devono avvenire secondo una determinata sequenza prestabilita.
- Il processo produttivo è quindi organizzato nello **stesso modo indipendentemente dalle quantità realizzate**. Particolarmente rilevanti nella produzione per processo sono dunque gli **aspetti tecnologici e strumentali**.



Diagramma a tre assi

- Produzione per parti (manifatturiera)
 - In questo caso il prodotto è costituito da una serie di **elementi** o **parti**, di diversa natura.
 - Il processo produttivo comprenderà allora sia le fasi di **fabbricazione**, intese come quelle operazioni atte a variare forma, dimensioni o stato superficiale di parti singole, sia le fasi di **montaggio**, inteso come l'insieme delle operazioni di assemblaggio delle singole parti atte a formare un **unico prodotto**.



Diagramma a tre assi

- Si parla in questi casi di produzioni **a ciclo tecnologico non obbligato** in quanto la successione delle varie fasi del processo operativo non è rigidamente vincolata, ma può ammettere numerose varianti.
- Si tratterà allora di trovare la soluzione in grado di ottimizzare una certa funzione obiettivo. Le **quantità da realizzare** giocano in questo caso un ruolo determinante sull'organizzazione del processo produttivo.



Diagramma a tre assi

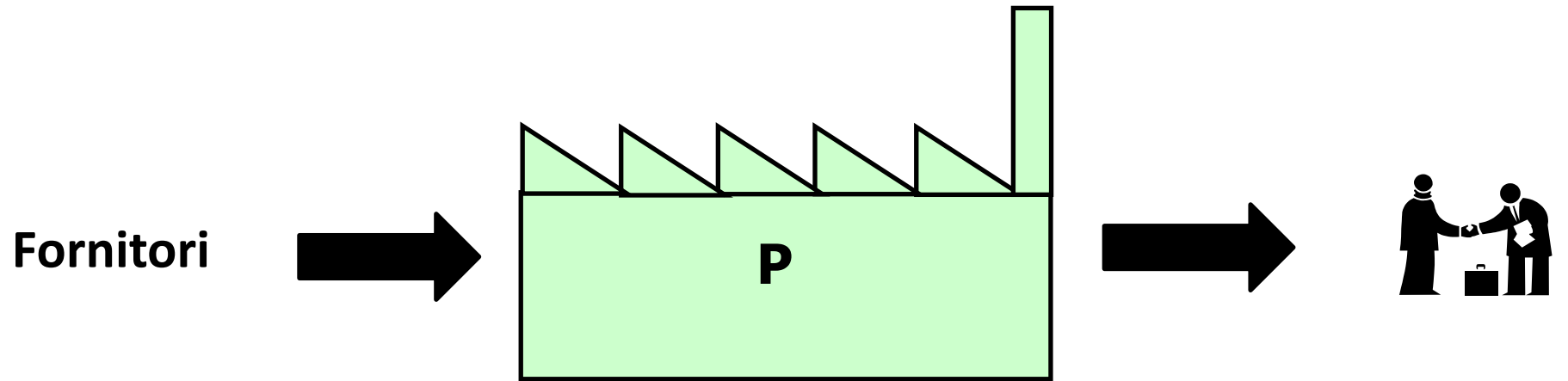
- I molteplici gradi di libertà nello svolgimento dei cicli di produzione fanno sì che **l'aspetto programmazione e gestione della produzione** rivesta nella produzione manifatturiera un ruolo determinante.

Classificazione di Wortmann

- Questa classificazione introduce l'aspetto temporale, definendo le diverse modalità di gestione del sistema produttivo in funzione del tempo di risposta «concesso» dal cliente, e del tempo di attraversamento interno (*cycle time*) del sistema produttivo.
- Rende anche evidente il posizionamento delle scorte lungo il flusso produttivo.



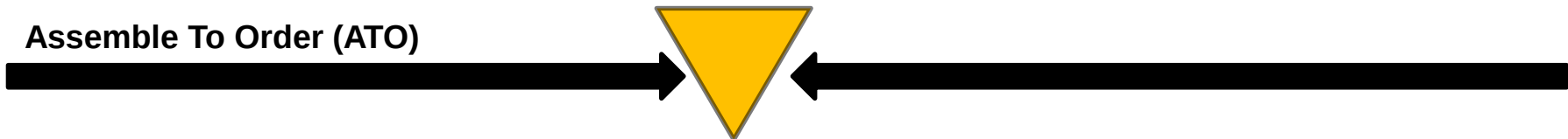
Classificazione di Wortmann



Make To Stock (MTS)



Assemble To Order (ATO)



Make To Order (MTO)

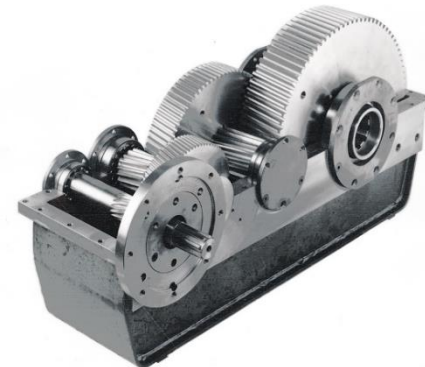


Engineer To Order (ETO)



Complessità del prodotto

- La complessità del prodotto è un fattore determinante, che impatta sui flussi produttivi.

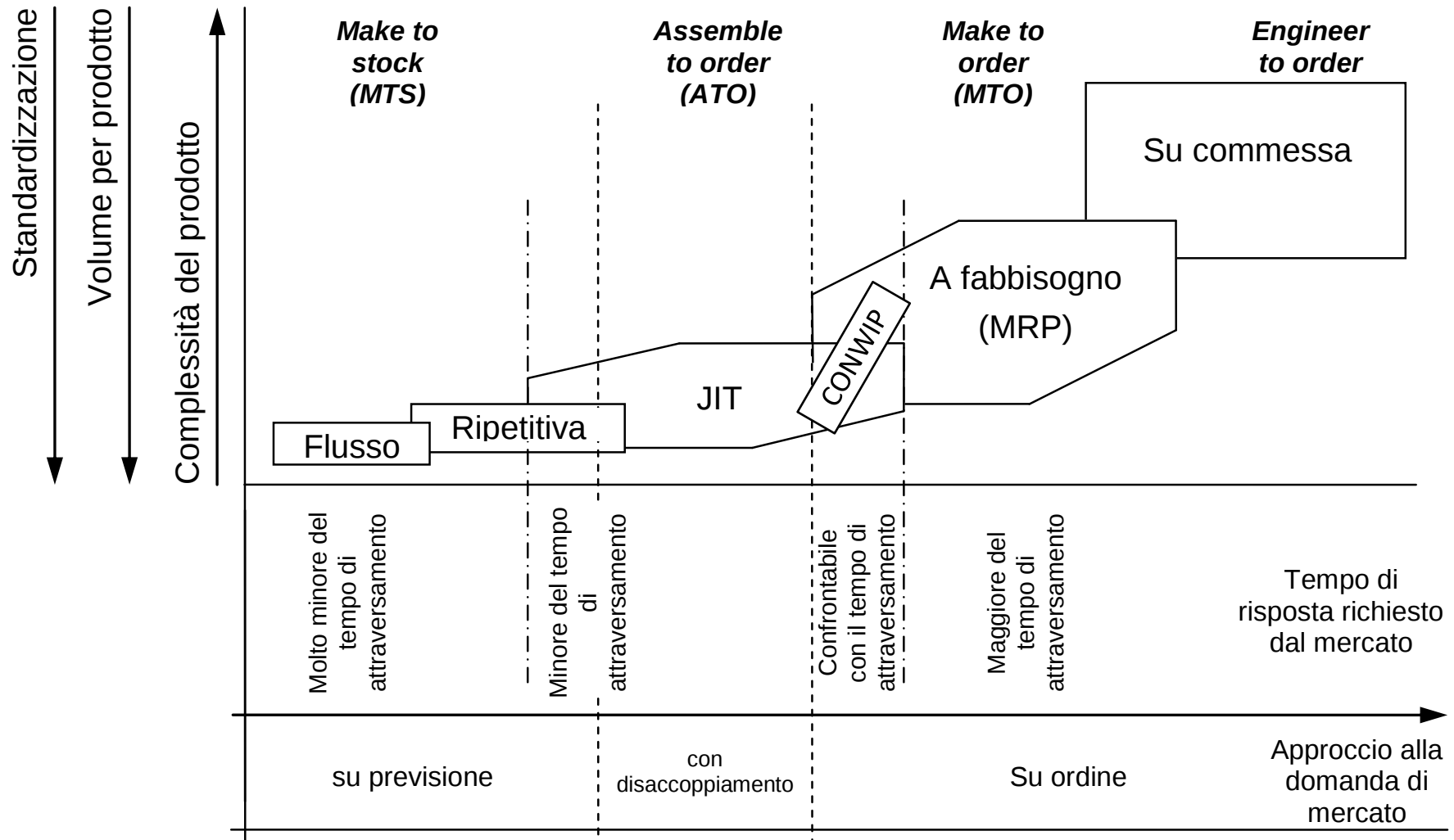




Configurazione coerente dei sistemi produttivi

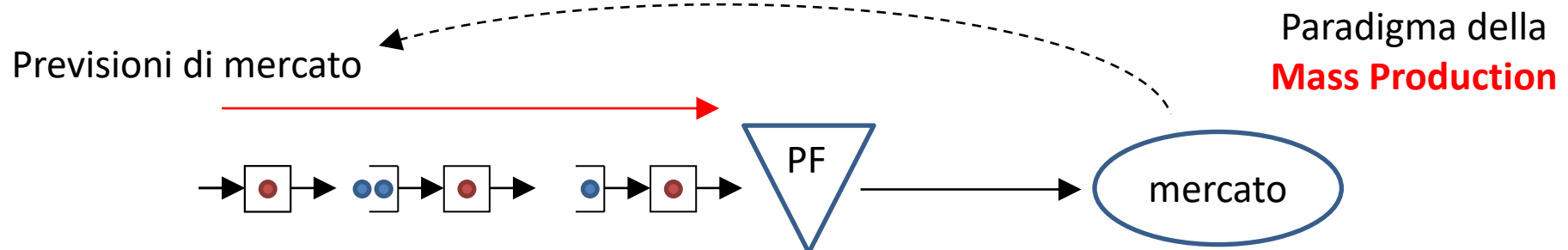


Configurazione coerente del sistema produttivo



FLUSSO (permanente) - RIPETITIVA

- Le scorte sono collocate alla fine del sistema, grazie al fatto che i prodotti sono standardizzati e quindi il rischio di obsolescenza è nullo
- La produzione è pianificata sulla base delle previsioni di domanda di mercato e dei livelli attuali di scorta
- Il piano di produzione è ciclico, e ad ogni ciclo più prodotti sono realizzati in lotti di dimensione elevata

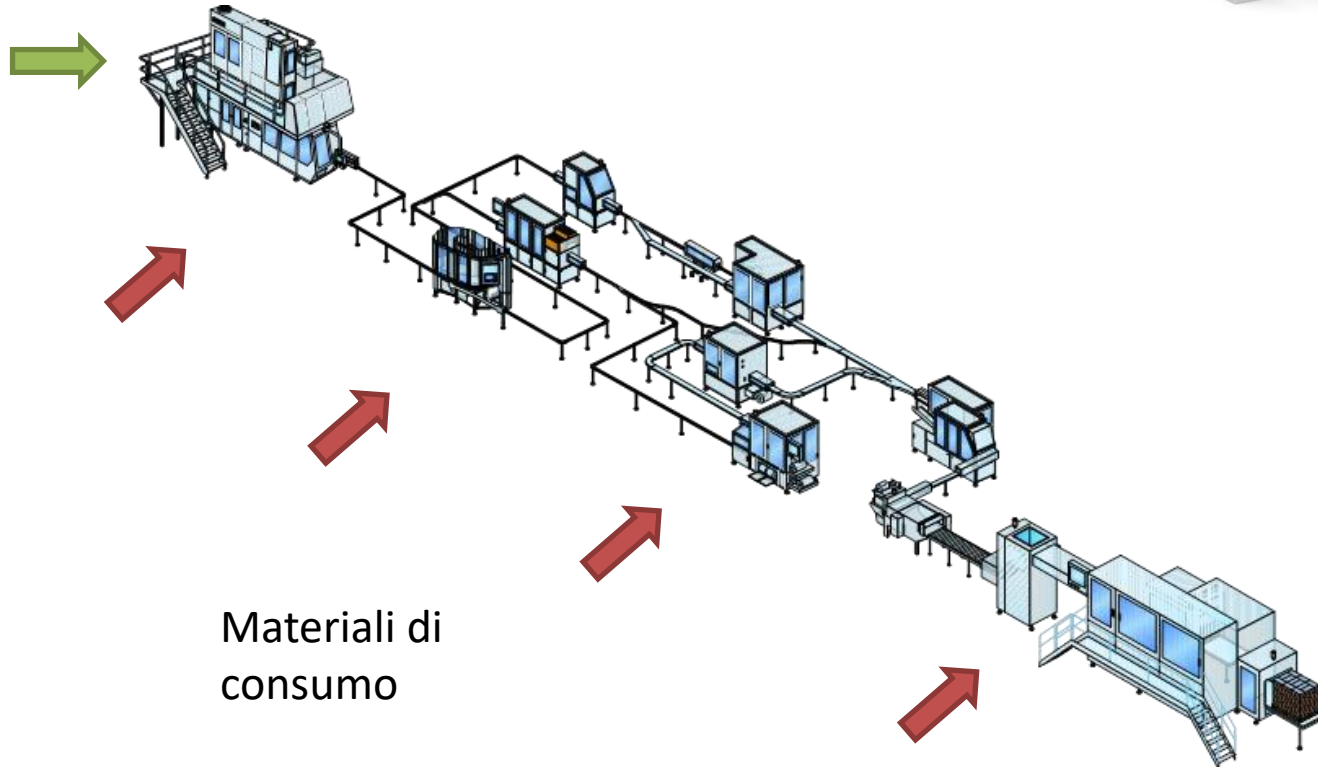


FLUSSO (permanente) - RIPETITIVA

Esempio: linea di impacchettamento in *carton brick*



Prodotto
sfuso



Prodotto
finito



FLUSSO (permanente) - RIPETITIVA

- Layout a linea dedicata al prodotto
- Macchine dedicate, per ottenere elevata cadenza produttiva ed elevata ripetitività
- Massimizzazione utilizzo macchine (problema della riduzione delle micro-fermate)
- Manutenzione preventiva o su condizione
- Lotti di produzione significativi, che derivano da un trade-off tra i costi di setup ed i costi di mantenimento a scorta dei prodotti finiti
- Distinzione tra manodopera per la conduzione (bassa qualifica) e quella specializzata (setup, manutenzione)

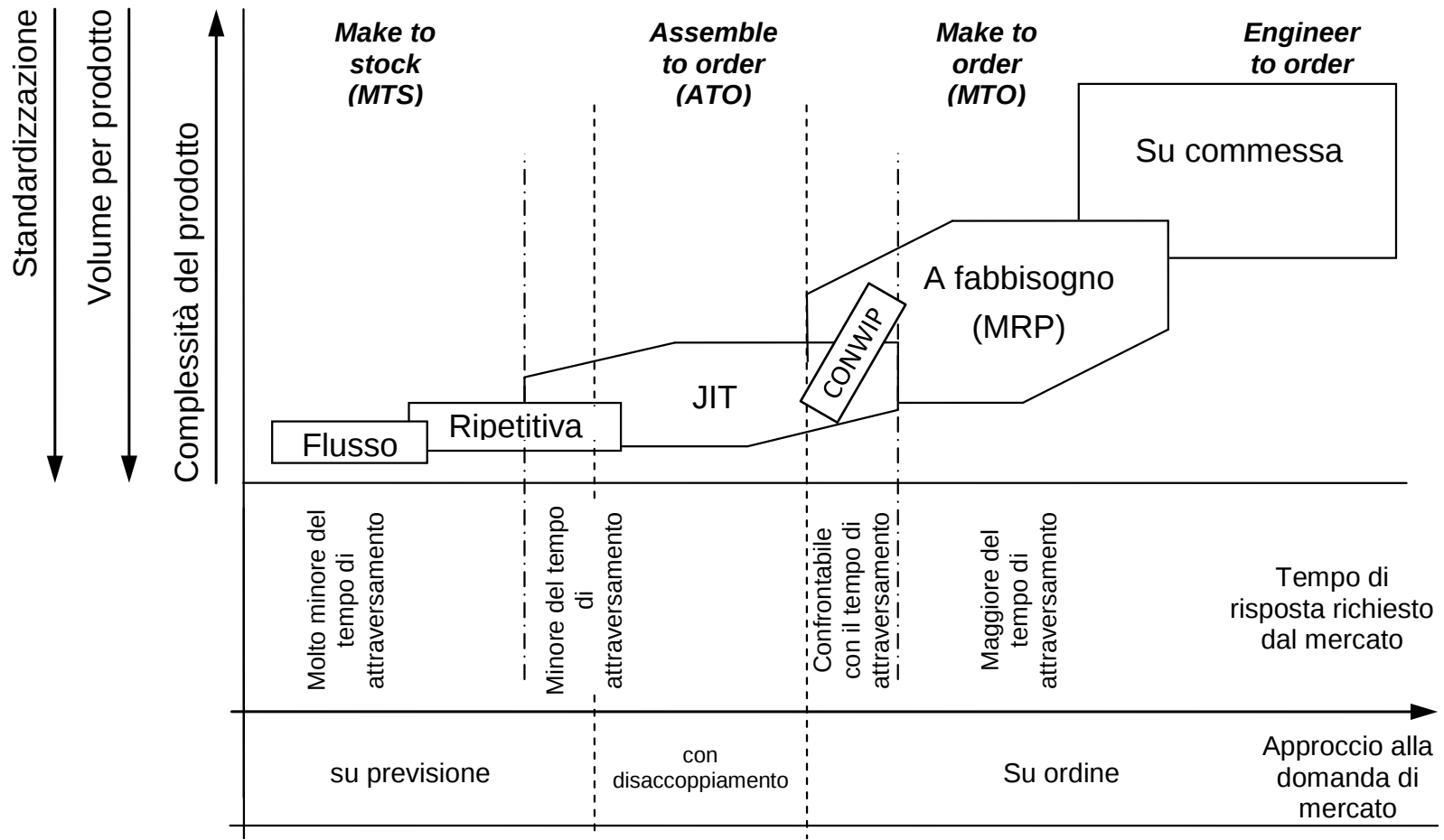
FLUSSO (permanente) - RIPETITIVA

Osservazioni

- Il singolo prodotto attraversa rapidamente il sistema. Ciò che rende rigido un sistema di questo tipo è il **tempo di attraversamento del lotto di produzione**, che è notevole data la dimensione dei lotti stessi.
- Un sistema produttivo di questo tipo può solo rispondere alla **domanda di un mercato standardizzato**, oppure essere fornitore di un altro sistema produttivo che opera con gli stessi criteri di mass production.



JIT (Just-In Time)



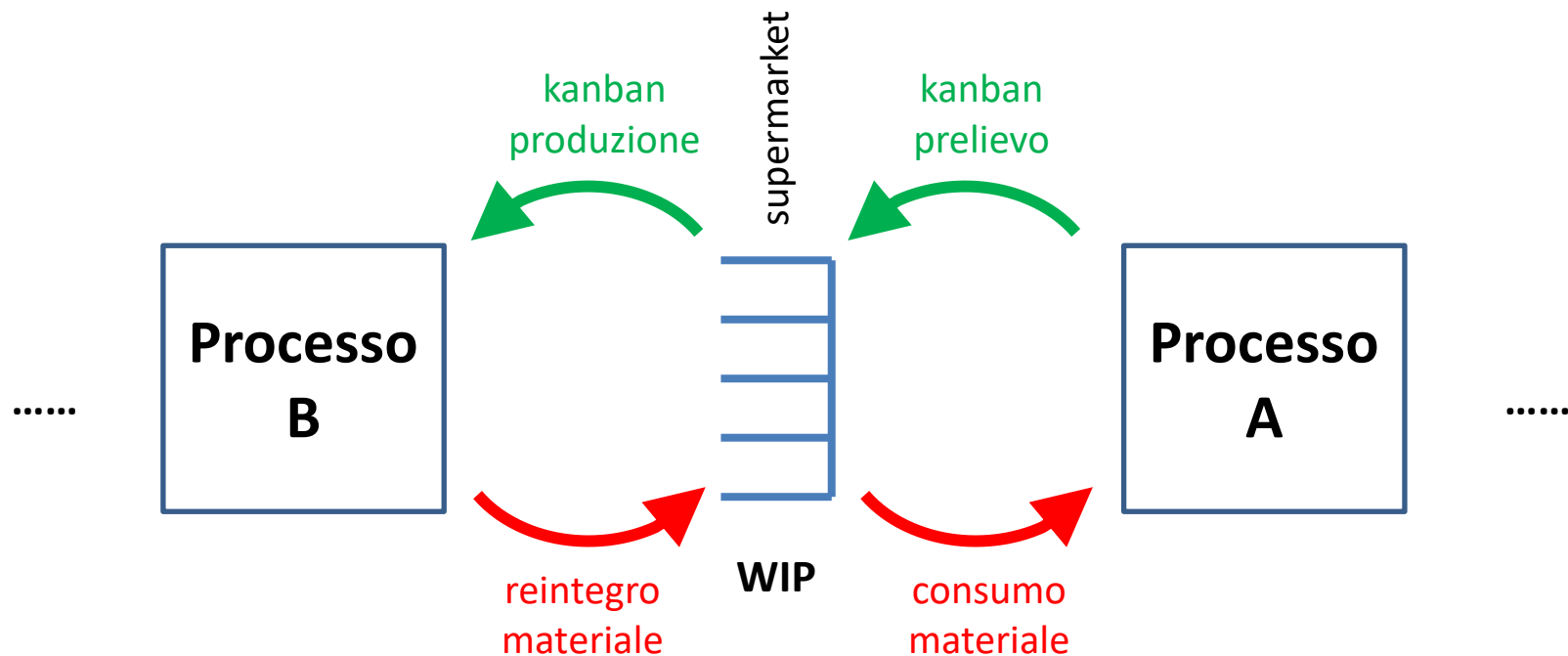


JIT (Just-In Time)

- L'obiettivo del JIT è quello di creare un **flusso continuo e bilanciato che attraversa l'intero sistema produttivo e che produce al ritmo della domanda**
- Il Just-In-Time pone quindi l'attenzione sul **sistema nel suo complesso** e non sulle specifiche risorse produttive
- Un importante obiettivo è quello di **ridurre il tempo di attraversamento del sistema tramite la riduzione del WIP.**
- Con il JIT si può gestire un **livello di personalizzazione del prodotto maggiore**, mantenendo una **gestione a flusso del sistema produttivo.**

JIT (Just-In Time)

- Il controllo della produzione è fatto agendo direttamente sul **WIP**: **i consumi del reparto a valle autorizzano la produzione del reparto a monte**
- I **kanban** (cartellini) sono utilizzati per **propagare il segnale dei consumi** e per **limitare il WIP**



JIT (Just-In Time)

- Esempio di supermarket
(Oss: contenitori standardizzati)





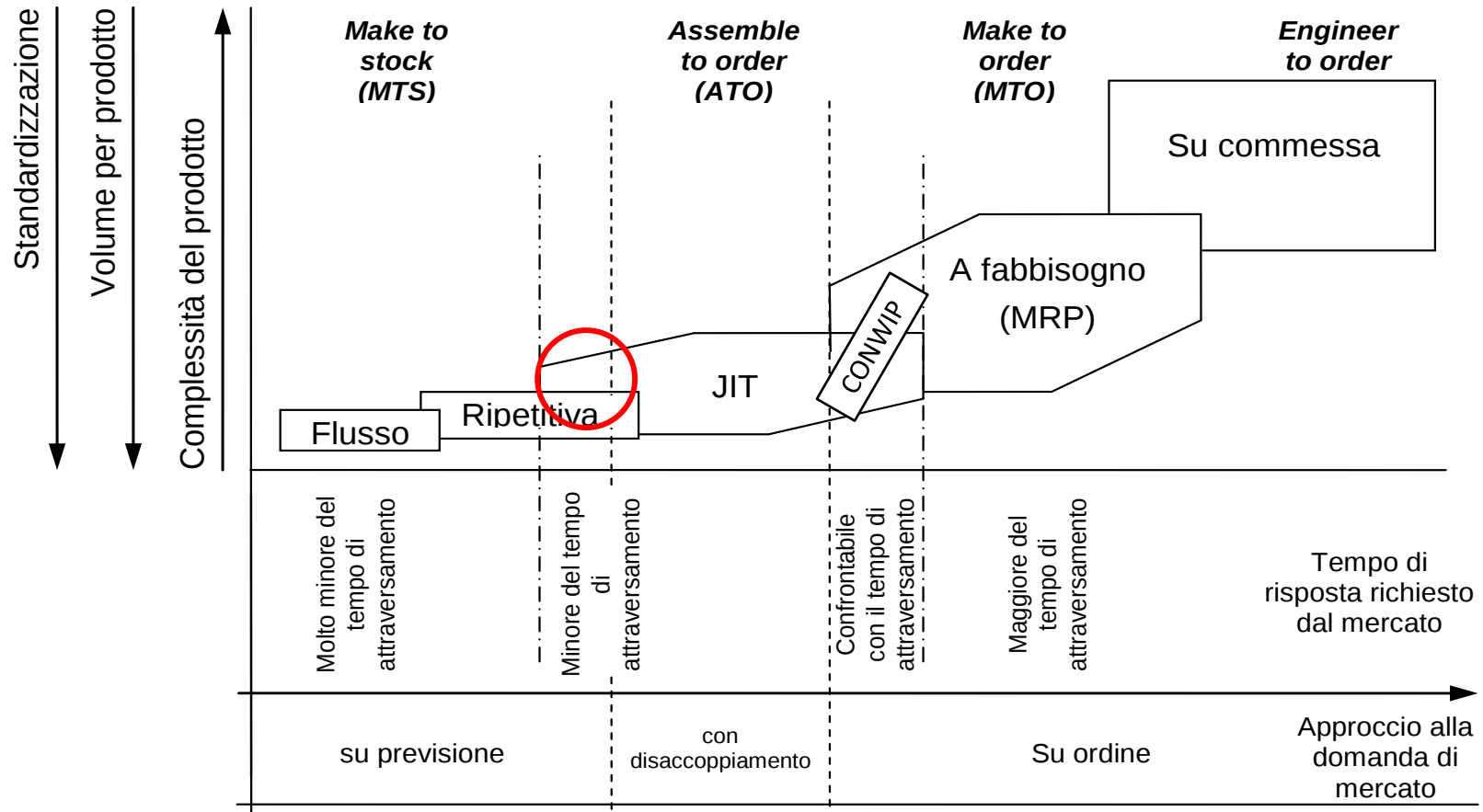
JIT (Just-In Time)

Aspetti salienti

- Lotti piccoli, legati alla dimensione del contenitore, per avere la massima prontezza di risposta (CT minimo)
- Ogni risorsa deve «stare al passo» e deve rispettare la cadenza produttiva (*takt time*)
- Necessità di massimizzare la flessibilità delle risorse produttive (si lavorano lotti piccoli)
- Riduzione/azzeramento dei tempi di setup
- Eliminazione dei fermi macchina
- Eliminazione dei difetti (qualità totale)
- Operatori polivalenti ed intercambiabili
- Integrazione con i fornitori per estendere il flusso

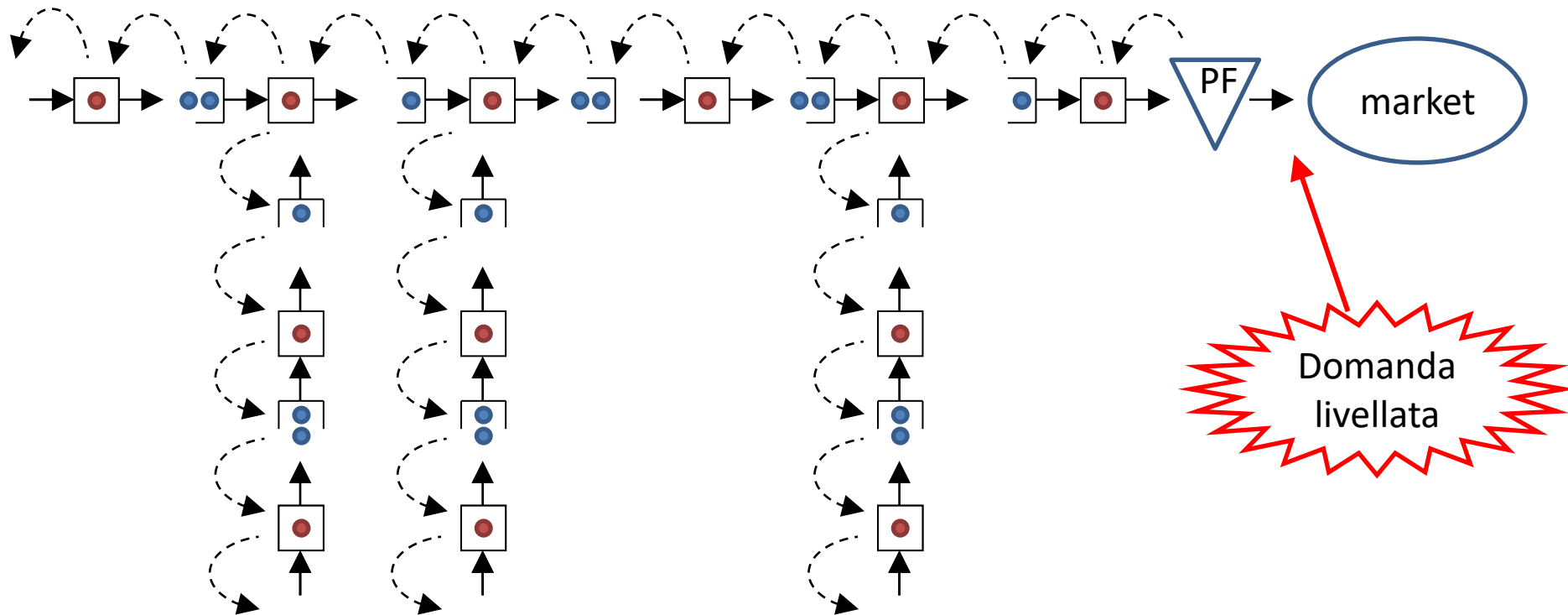
JIT (Just-In Time)

JIT – “pure pull” classico





JIT – “pure pull” classico

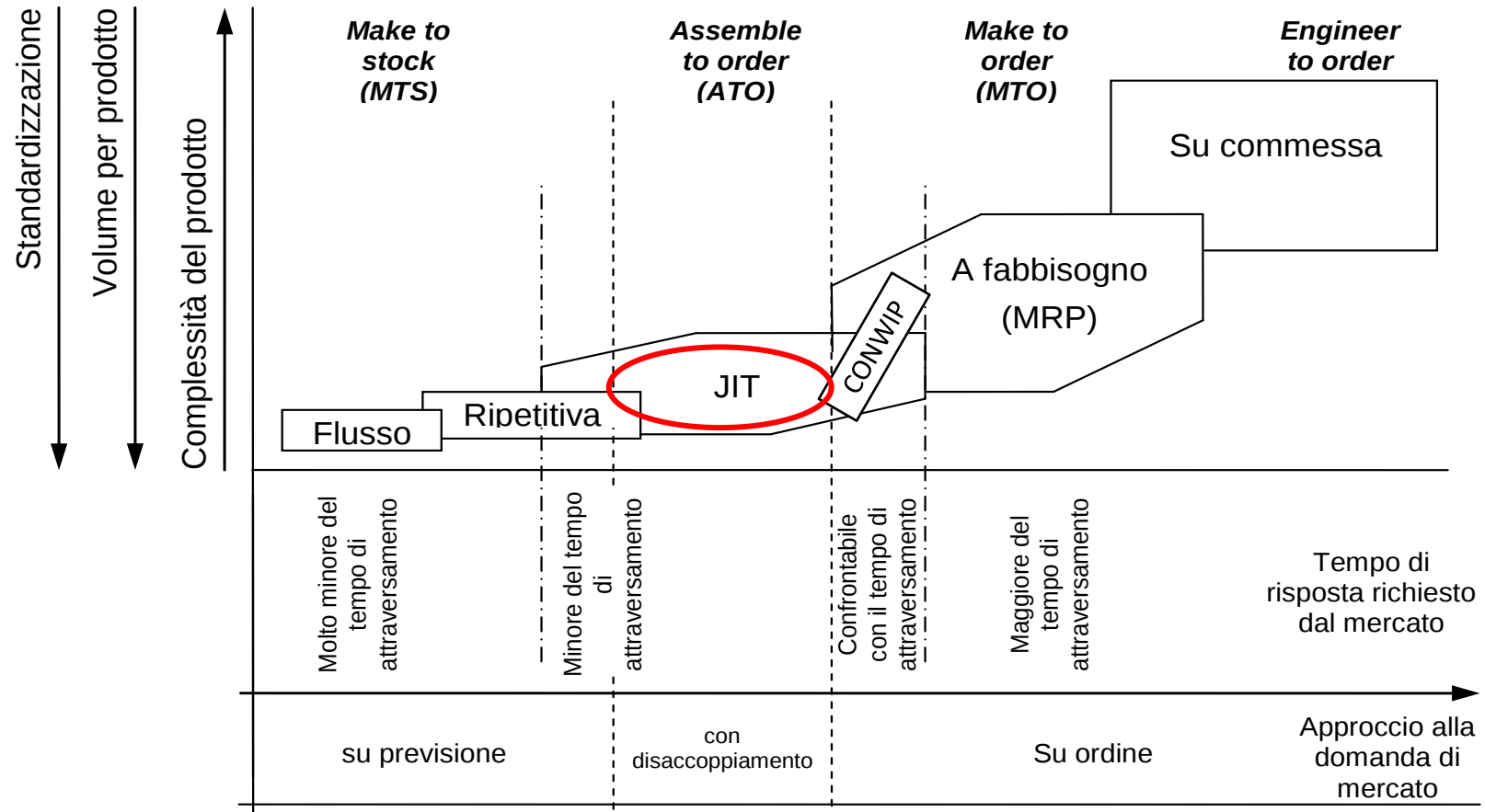


Caratteristiche

- Massimizzare la produttività riducendo il tempo di attraversamento, quindi riducendo il WIP
- Ogni errore nel processo provoca l'interruzione del flusso, quindi viene immediatamente individuato e deve essere risolto
- Il sistema risponde al mercato direttamente con la «piccola» scorta di prodotti finiti
- Personalizzazione più elevata della produzione a flusso ma comunque limitata
- Necessità di domanda livellata e stabile, altrimenti i supermarket vanno in stockout e il flusso si interrompe



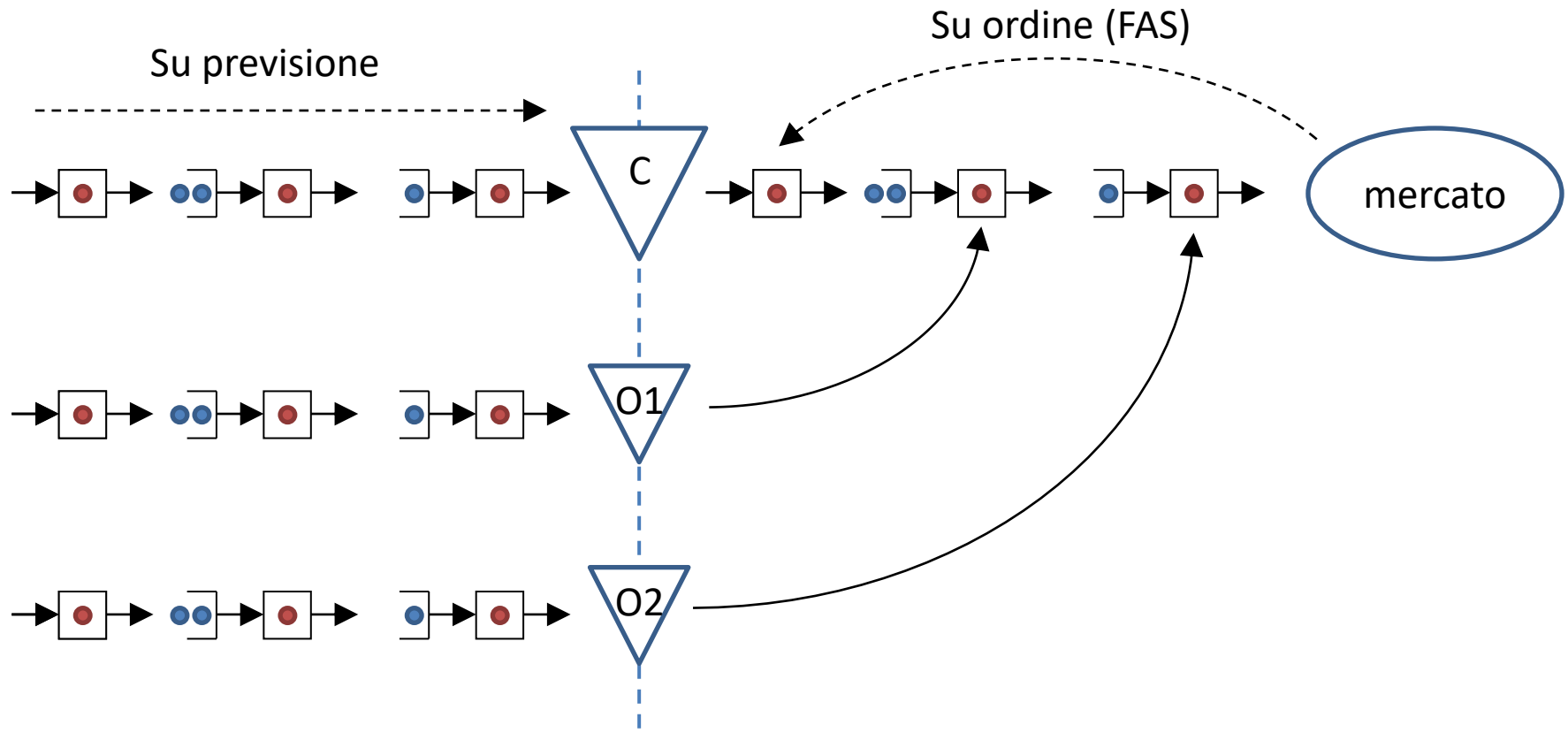
JIT – Sistemi con disaccoppiamento



Caratteristiche

- Si vuole gestire una maggiore personalizzazione del prodotto, quindi anche una maggiore volatilità della domanda (principalmente identificabile in una variabilità del mix)
- La personalizzazione si effettua nella «**fase di assemblaggio**», assemblando moduli diversi a seconda dell'ordine del cliente
- Il prodotto deve quindi essere realizzato in modo **modulare**

JIT – Sistemi con disaccoppiamento



**Paradigma della
Mass production**

Flessibilità e agilità



JIT – Sistemi con disaccoppiamento

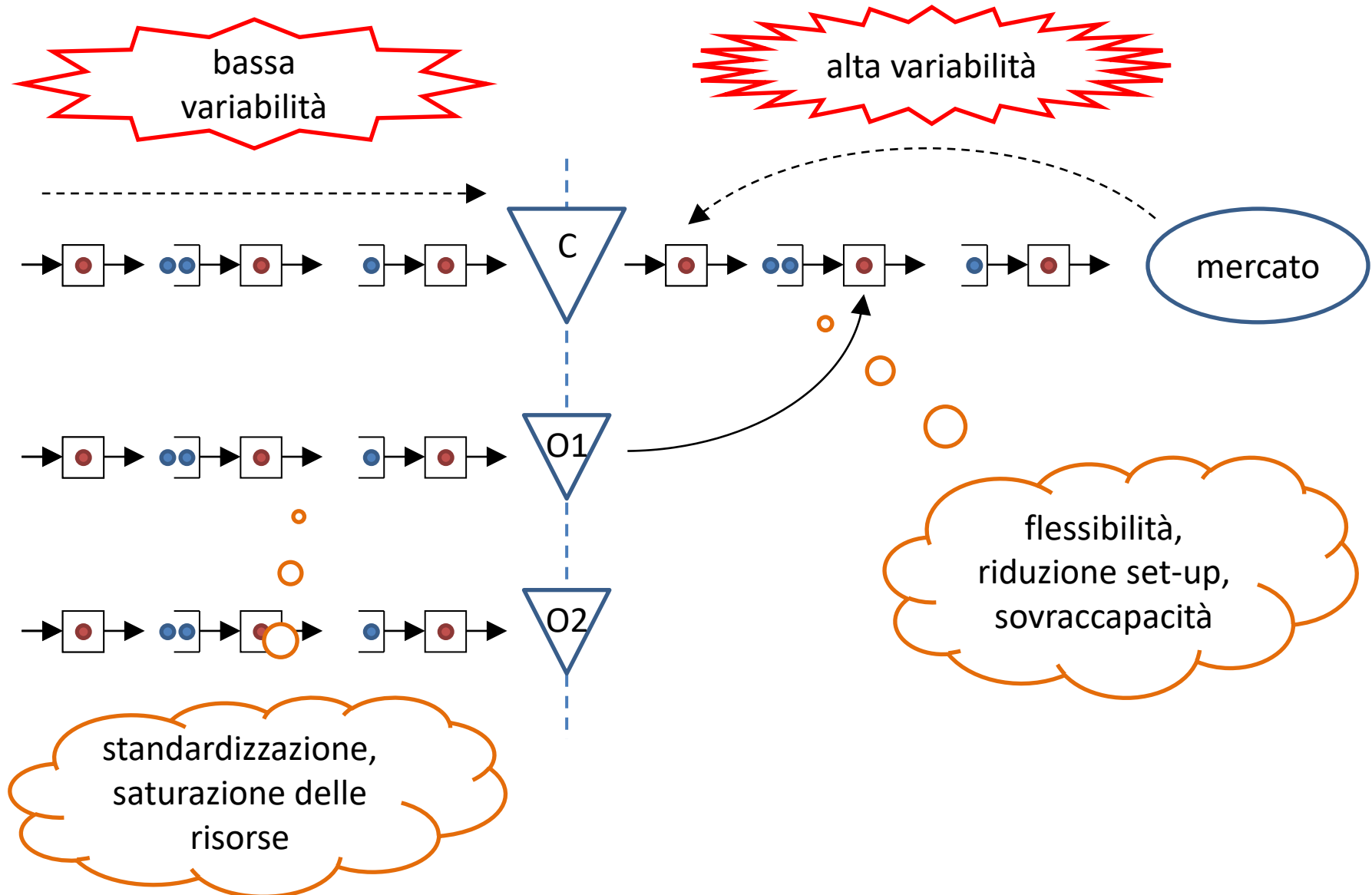
- Il sistema è «disaccoppiato» spostando a monte dell'assemblaggio il punto in cui vengono mantenute le scorte
- Le scorte riguardano le parti comuni (C) e le opzioni (Ox), che sono caratterizzate da **basso rischio di obsolescenza**
- Il cliente vede solo il tempo di attraversamento della fase di assemblaggio che è relativamente breve
- Il tempo di attraversamento della fase di fabbricazione è mascherato in quanto viene gestita su previsione

JIT – Sistemi con disaccoppiamento

- La fase di assemblaggio è tipicamente realizzata da una **mixed-model assembly line**, ed il piano di produzione è una sequenza ottimizzata degli ordini cliente calcolata da un apposito modulo software chiamato **Final Assembly Scheduler (FAS)**.
- La fase di fabbricazione persegue obiettivi di minimizzazione dei costi di produzione, adottando un approccio di gestione che segue il paradigma della mass production.

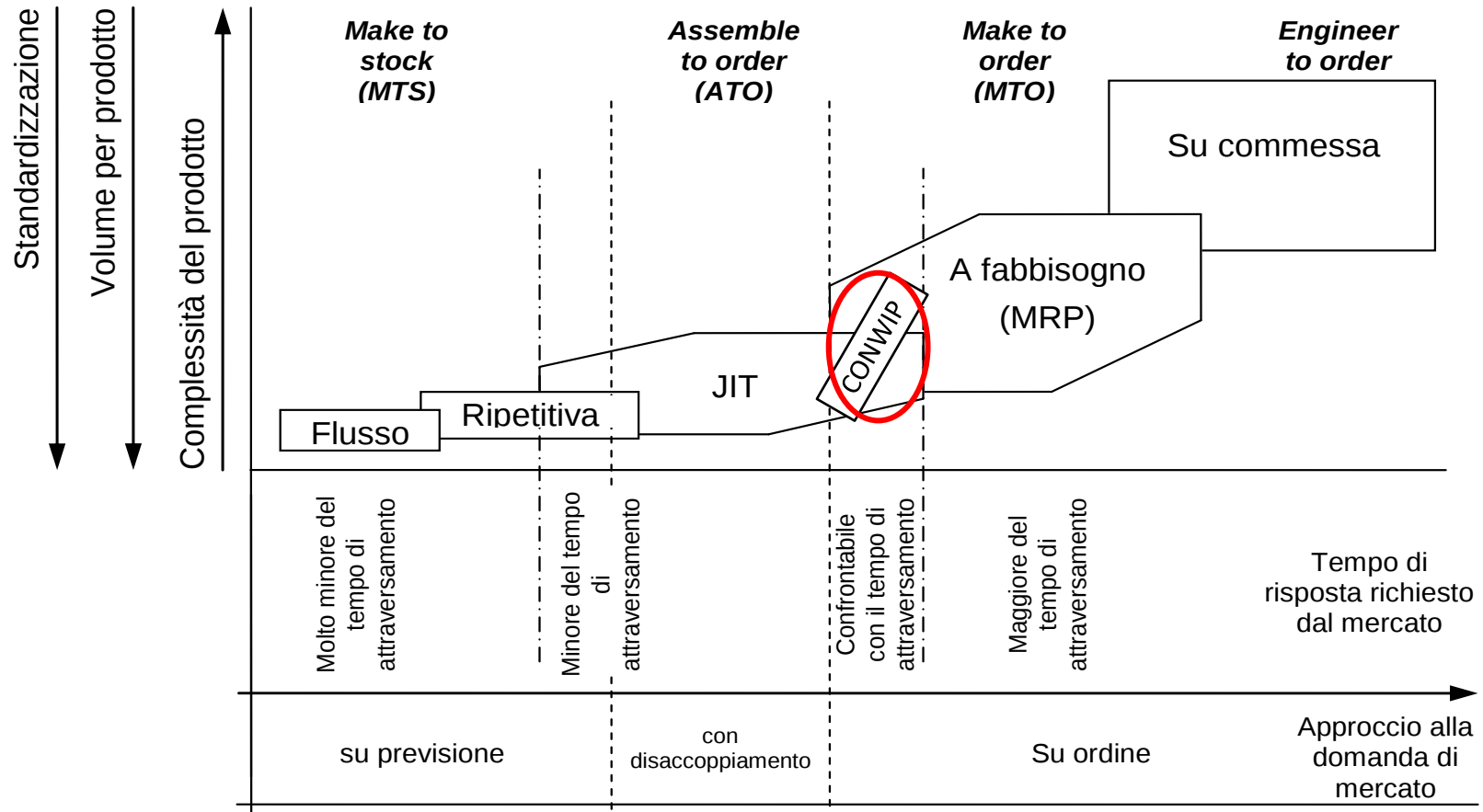


JIT – Sistemi con disaccoppiamento





JIT – Zona a personalizzazione incrementata

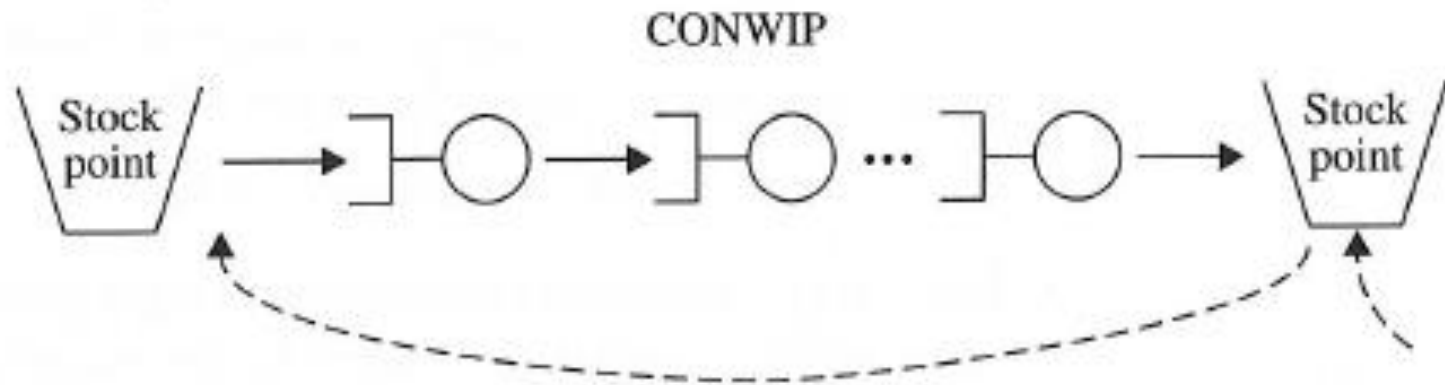
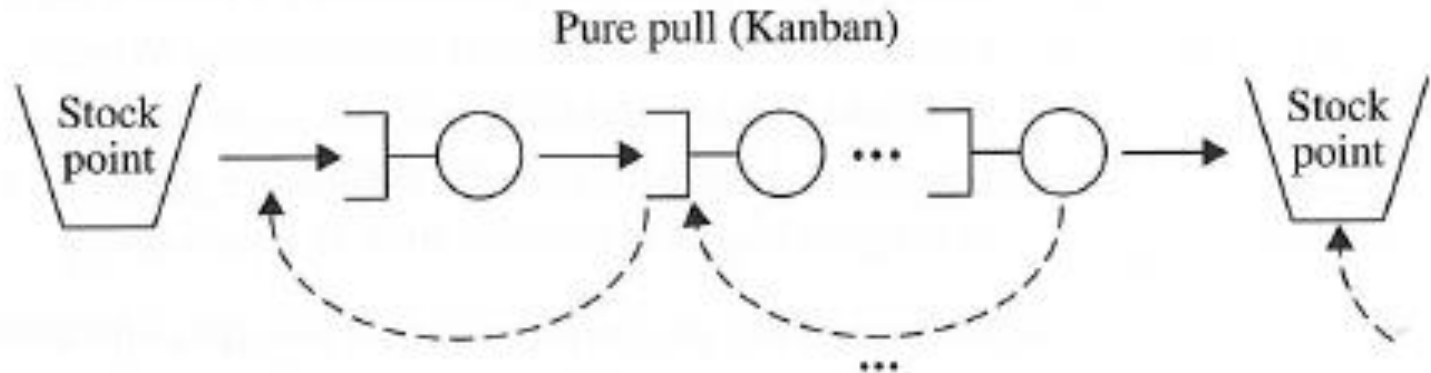


JIT – Zona a personalizzazione incrementata

- L'incremento del grado di personalizzazione rende impossibile la gestione tramite il JIT classico, che imporrebbe di mantenere scorte di componenti a tutti i livelli del sistema.
- E' però possibile (non sempre) mantenere una gestione a flusso tramite il metodo di controllo **CONWIP** (CONstant Work-In-Process).
- Questo metodo controlla il WIP di una parte del processo produttivo, quindi non lavora tra singole coppie di risorse come invece fa il JIT classico.
- Il vantaggio è che si riesce meglio a tenere sotto controllo il **CT**.



JIT – Zona a personalizzazione incrementata



JIT – Zona a personalizzazione incrementata

- Un anello logico (coda chiusa) è definito in modo da inglobare un certo numero di risorse produttive, che le parti devono visitare per subire le lavorazioni
- Un certo numero di kanban «anonimi» è inserito nel sistema per controllare il WIP
- Ogni ordine di produzione (piccoli lotti di una specifica parte) può entrare se e solo se vi è un kanban disponibile, che viene quindi associato all'ordine
- Ogni qual volta un ordine esce, rilascia il kanban ad esso associato
- Si possono eseguire ottimizzazioni sulla coda ordini in attesa all'ingresso del sistema



JIT – Zona a personalizzazione incrementata

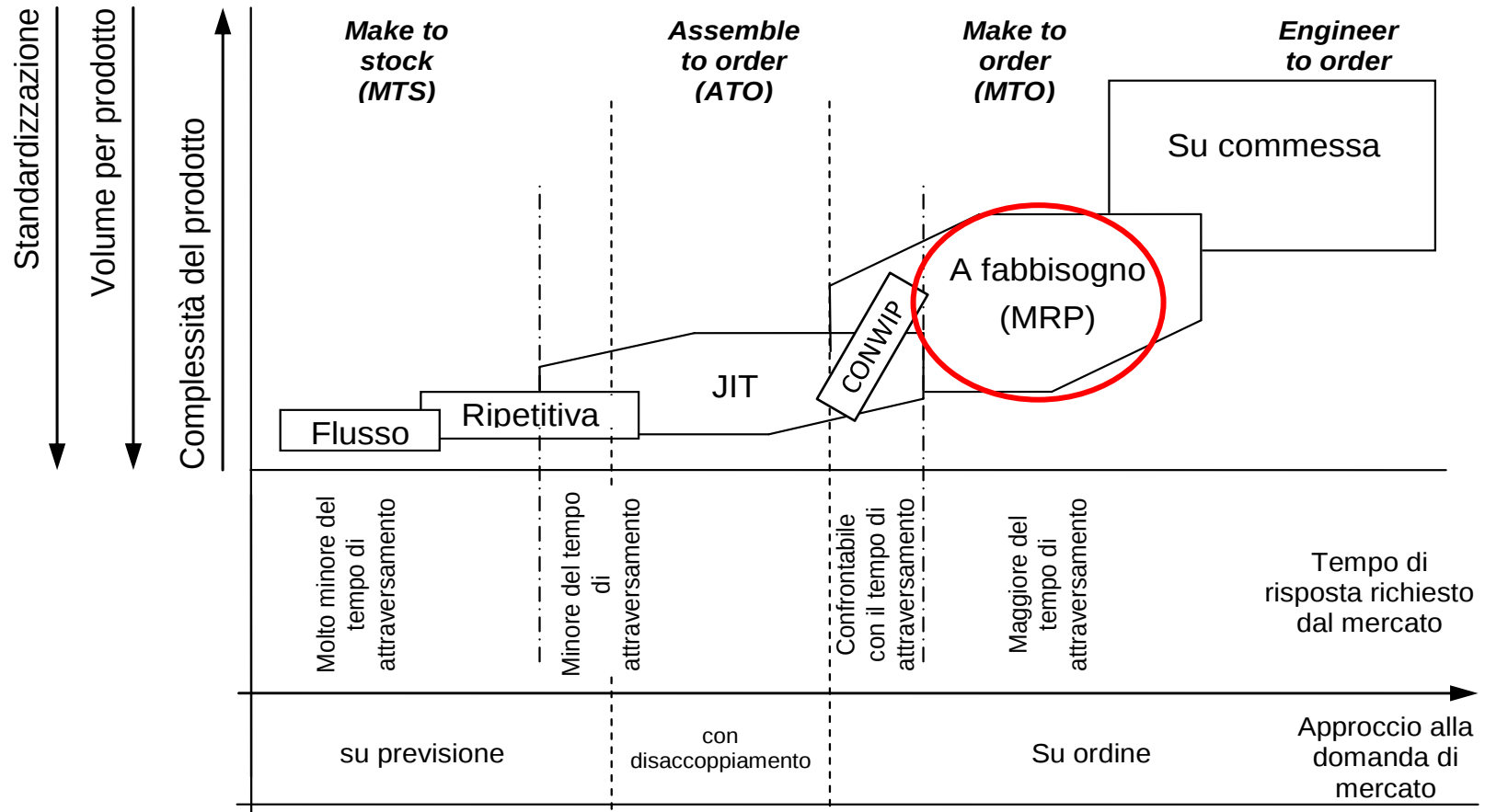
JIT classico (pure pull)

- Facile da gestire
- Molto veloce nella risposta alla domanda
- Sono richieste correzioni periodiche sul numero di kanban rilasciati
- Diventa sempre più inefficiente all'aumentare del numero di parti da gestire:
 - Scorte eccessive.
 - Interruzioni del flusso dovute agli stockout nei supermarket.

CONWIP

- Più complesso da gestire (ottimizzazione)
- Meno pronto nella risposta alla domanda
- Rimane più efficiente all'aumentare della personalizzazione:
 - Non si mantiene scorta di componenti (si evita la scorta delle parti poco richieste)
 - Migliore possibilità di sincronizzazione grazie alla possibilità di ottimizzare la sequenza in ingresso.

A fabbisogno (*Material Requirement Planning* - MRP)

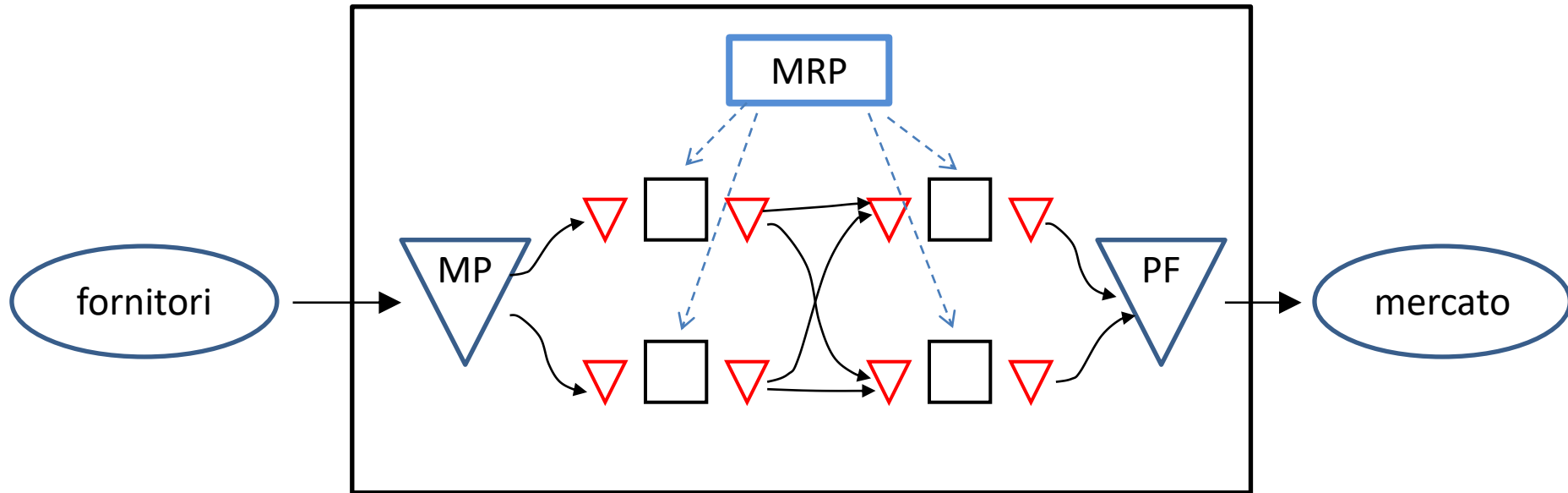




A fabbisogno (*Material Requirement Planning* - MRP)

- La personalizzazione è elevata, tale da rendere impossibile progettare un sistema che realizza un flusso continuo.
- La produzione è realizzata in lotti, tendenzialmente guidati da criteri economici (*economic lot size*), cercando però di seguire il più possibile la quantità ordinata dal cliente.
- I tempi di setup sono significativi, vista la frammentazione del flusso e l'elevata personalizzazione.
- La produzione è **spinta** (*push system*) lungo il sistema, secondo il rilascio ordini calcolato dall'MRP che punta alla massimizzazione individuale dell'utilizzo delle risorse.

A fabbisogno (*Material Requirement Planning* - MRP)



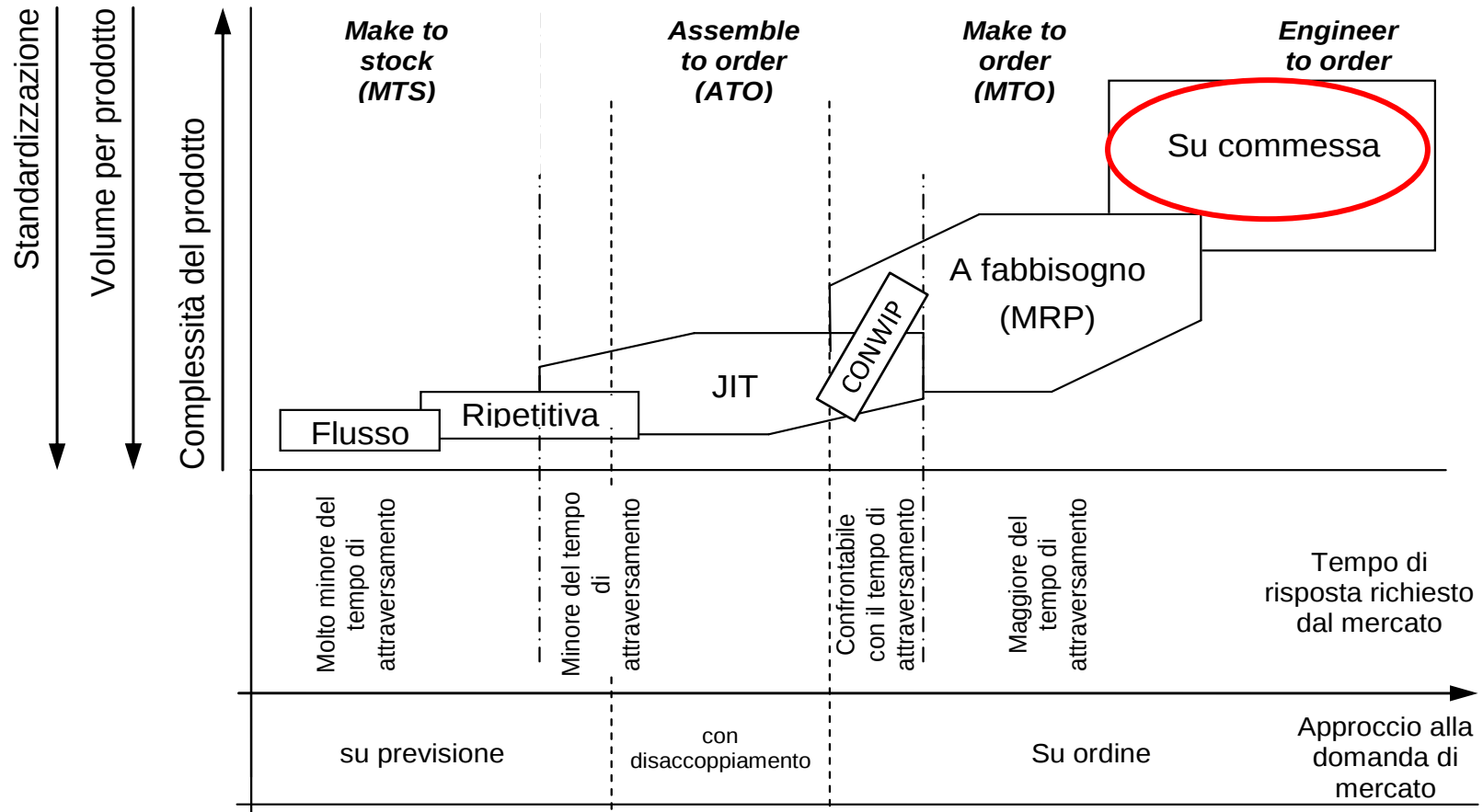
- Per assicurare un elevato tasso di utilizzo delle risorse produttive, elevati livelli di WIP sono mantenuti nel sistema.
- In questo modo le risorse lavorano come se fossero isolate, però ogni risorsa non riesce più a «vedere» il flusso.



A fabbisogno (*Material Requirement Planning* - MRP)

- L'elevato WIP è la diretta conseguenza del modo con cui l'MRP pianifica la produzione, imponendo **lead time** predefiniti (e spesso lunghi) per al piano di produzione.
- Il risultato è che la produzione, ad ogni livello, è sistematicamente anticipata, generando code e ritardi nel sistema che si traducono in livelli di WIP elevati.
- La conseguenza diretta è l'aumento del cycle time, quindi un sistema produttivo che è più lento come tempi di risposta ed anche meno prevedibile.
- Il vantaggio sta nel fatto che in questo modo si riescono a far lavorare le risorse in modo «isolato», quindi si riescono ad ottenere utilizzi elevati anche a fronte di una elevata variabilità di ordini e di prodotti.

Produzione su commessa





Produzione su commessa

- Coerente con prodotti ad altissima personalizzazione ordinati in pochi esemplari (o esemplare unico).
- L'ingegnerizzazione del prodotto è necessaria prima che la produzione possa avere inizio.
- Il cliente (committente, *buyer*) tipicamente lancia una gara d'appalto (*tender*) per scegliere il migliore contraente (*contractor*) in termini di:
 - prezzo offerto;
 - tempo di consegna promesso.
- Sono previsti benefit/penali per consegne in anticipo/ritardo.
- E' un problema di **project management**.



La matrice prodotto-processo (Hayes e Wheelwright)



La matrice prodotto-processo

		MIX PRODUTTIVO				Compiti del management
		Esemplare unico	Molti modelli Bassi volumi	Alcuni modelli Alti volumi	Standardizzazione Altissimi volumi	
FLUSSI PRODUTTIVI	Flusso frammentario	Bottega artigianale Reparti Centri CNC (<i>job shop</i>) Celle, linee per famiglie, Sistemi FMS (<i>group technology, lean systems</i>) Linee transfer automatiche Costi di opportunità Costi operativi				Scheduling Date di consegna Gestione maestranze Affidabilità Colli di bottiglia
	Flusso discontinuo					
	Flusso continuo non permanente					Motivazione maestranze Bilanciamento Flessibilità
	Flusso continuo e permanente					Valutazione investimenti Grado di integrazione Innovazione tecnologica
Obiettivi strategici del sistema produttivo		Servizio al cliente		Flessibilità Elasticità Qualità Affidabilità		Prezzo



La matrice prodotto-processo

- Flussi di produzione
 - *Flusso frammentario*: caso tipico delle lavorazioni su commessa, dove il materiale fluisce verso il punto fisso di produzione.
 - *Flusso discontinuo*: tipico della produzione manifatturiera a lotti con elevato grado di personalizzazione.
 - *Flussi continui non permanenti*: caratterizzati da una direzione predominante.
 - *Flussi continui e permanenti*: flussi produttivi costanti nel tempo e ben definiti.



La matrice prodotto-processo

- Mix di prodotti
 - *Esemplare unico*: si tratta di commesse singole non ripetitive.
 - *Molti modelli, bassi volumi*: è il caso di commesse ripetitive ma con un ampio catalogo di prodotti finiti determinato da un alto grado di personalizzazione.
 - *Pochi modelli principali, alti volumi*: il catalogo di prodotti è ridotto, per cui si hanno volumi più alti per singolo prodotto finito.
 - *Prodotti standardizzati, altissime quantità*: il catalogo è estremamente ridotto.

Compiti del management

- Flussi fortemente discontinui
 - *Scheduling*: ottimizzare l'assegnazione dei *jobs* alle diverse macchine.
 - *Date di consegna*: stabilire la precedenza dei *jobs* in modo da rispettare le date di consegna.
 - *Gestione delle maestranze*: assegnare i lavori agli operatori in base ai loro *skills*.
 - *Affidabilità*: garantire una elevata affidabilità e qualità nonostante la variabilità del prodotto finito.
 - *Eliminazione dei colli di bottiglia*: evitare lo sbilanciamento dei carichi di lavoro.

La matrice prodotto-processo – compiti del management

- Flussi meno frammentari
 - *Grado di flessibilità*: gestire macchine e personale in modo da ottenere cambi di produzione più rapidi.
 - *Motivazione delle maestranze*: cercare di assegnare i compiti in modo da soddisfare le aspettative di lavoro degli operatori.
 - *Bilanciamento*: suddividere equamente il carico di lavoro sulle risorse.



La matrice prodotto-processo – compiti del management

- Flussi continui
 - *Valutazione economica*: scegliere gli investimenti più opportuni e redditizi.
 - *Grado di integrazione*: a monte e a valle del sistema produttivo, cioè definire opportune politiche di approvvigionamento delle materie prime e di commercializzazione del prodotto finito, al fine di tenere sempre alimentati gli impianti e vendere tutto ciò che si produce.

Obiettivi strategici

- Esemplare unico
 - *Servizio fornito al cliente*: personalizzazione del prodotto, puntualità delle consegne, rispetto delle specifiche, livelli qualitativi molto elevati.
- Molti prodotti
 - *Flessibilità ed elasticità produttiva*: configurare il sistema in modo da permettere facili cambi di produzione ed avere elasticità verso i volumi produttivi.



La matrice prodotto-processo – obiettivi strategici

- *Qualità ed affidabilità*: Mantenere elevati livelli di qualità ed affidabilità nonostante la variabilità del mix di prodotti.
- Produzioni standardizzate
 - *Prezzo*: l'unico obiettivo è quello di minimizzare il prezzo, dato che da questo fattore dipende la possibilità di assorbimento del prodotto da parte del mercato.

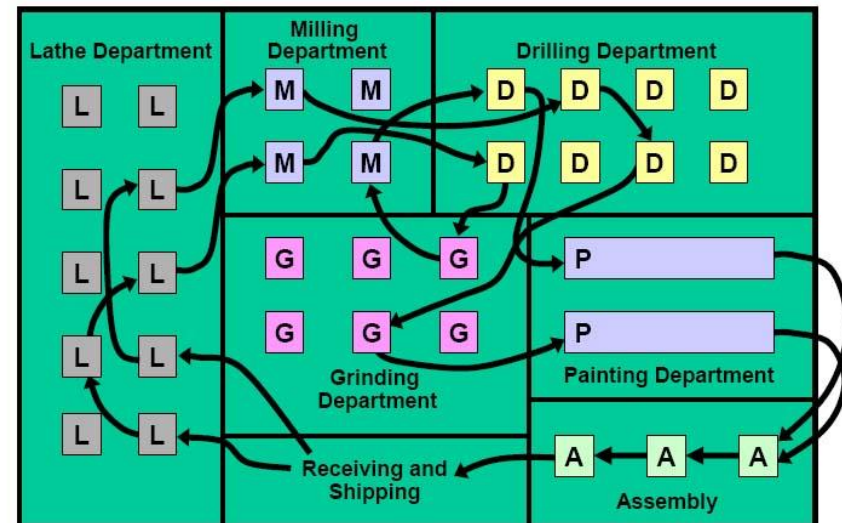


Sistemi produttivi

- Bottega artigianale
 - Adatto per la produzione di esemplari unici e per flussi produttivi frammentari.
 - Le macchine sono «generiche», cioè in grado di effettuare tipologie di lavorazioni simili su prodotti tra loro completamente differenti.
 - Le macchine non sono quindi scelte per specifiche gamme di prodotti, ma devono consentire il più elevato grado di flessibilità, anche a scapito della capacità produttiva.

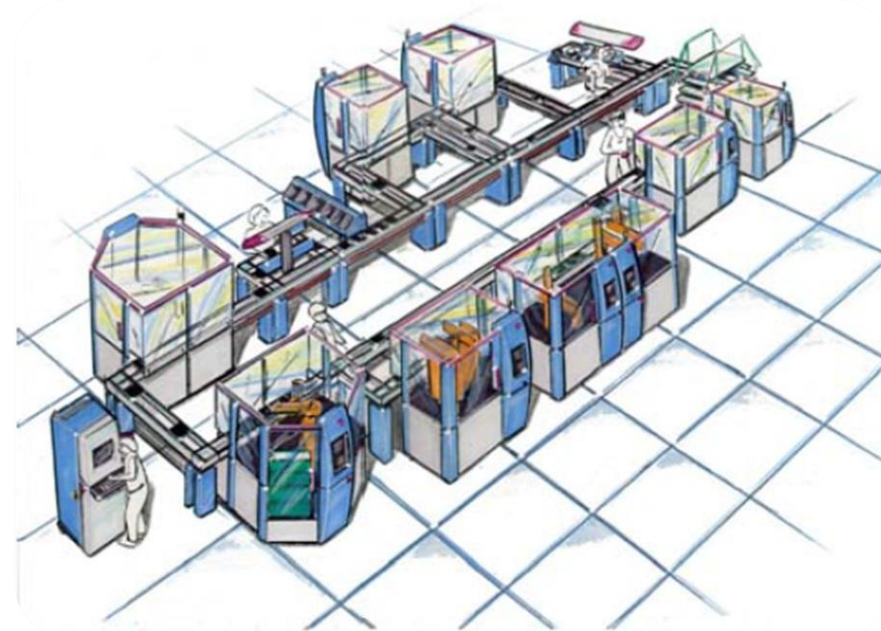
La matrice prodotto-processo – sistemi produttivi

- Reparti
 - Le macchine sono raggruppate in reparti omogenei per tecnologia produttiva.
 - I flussi di materiali sono complessi ed articolati.
 - Nel caso di lavorazioni prevalentemente automatizzate, si adottano invece macchine automatiche a CNC in grado di eseguire un'ampia gamma di lavorazioni differenti.



La matrice prodotto-processo – sistemi produttivi

- Celle di fabbricazione, linee di produzione per famiglie
 - Quando il mix di produzione si sposta verso volumi maggiori con un minor gruppo di prodotti da realizzare.
 - In questo caso si tende a raggruppare prodotti simili in famiglie (Group Technology) ed a configurare il sistema secondo linee dedicate per famiglie.



La matrice prodotto-processo – sistemi produttivi

- Linee transfer rigide
 - La linea è interamente dedicata ad uno specifico prodotto.
 - La cadenza produttiva è massimizzata, mentre la flessibilità è ridotta al minimo.



Configurazioni incoerenti

- Al di sopra della diagonale
 - Si stanno utilizzando sistemi produttivi studiati per avere flessibilità quando questa flessibilità non è richiesta.
 - I sistemi hanno quindi una capacità produttiva ridotta, e generano «costi di opportunità» come perdita di ricavi in quanto non si riesce a far fronte alla produttività richiesta.

La matrice prodotto-processo

- Al di sotto della diagonale
 - Si stanno producendo volumi ridotti con sistemi studiati per volumi maggiori.
 - I sistemi non sono quindi in grado di fornire la flessibilità richiesta, ed i continui cambi di produzione fanno perdere molto tempo in setup.
 - Si hanno inoltre elevati costi operativi derivanti dagli elevati costi fissi di investimento.
 - Errori negli investimenti possono portare a trovarsi in questa situazione, soprattutto quando si investe in modo sbagliato in automazione.