



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 1865A -

ANNO: 2016

A P P U N T I

STUDENTE: Massa Beatrice

MATERIA: Produzione Assistita dal Calcolatore, Schemi +
Domande d'esame svolte - prof. Iuliano

Il presente lavoro nasce dall'impegno dell'autore ed è distribuito in accordo con il Centro Appunti.

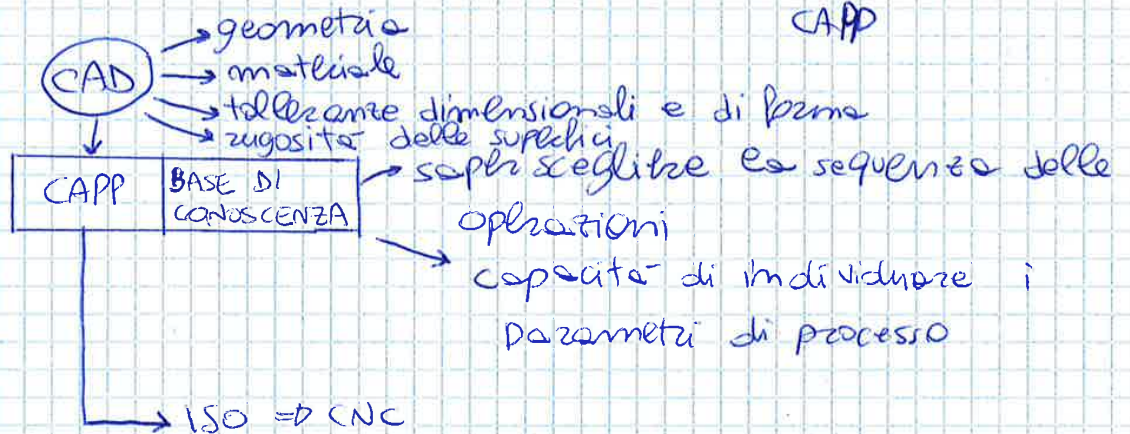
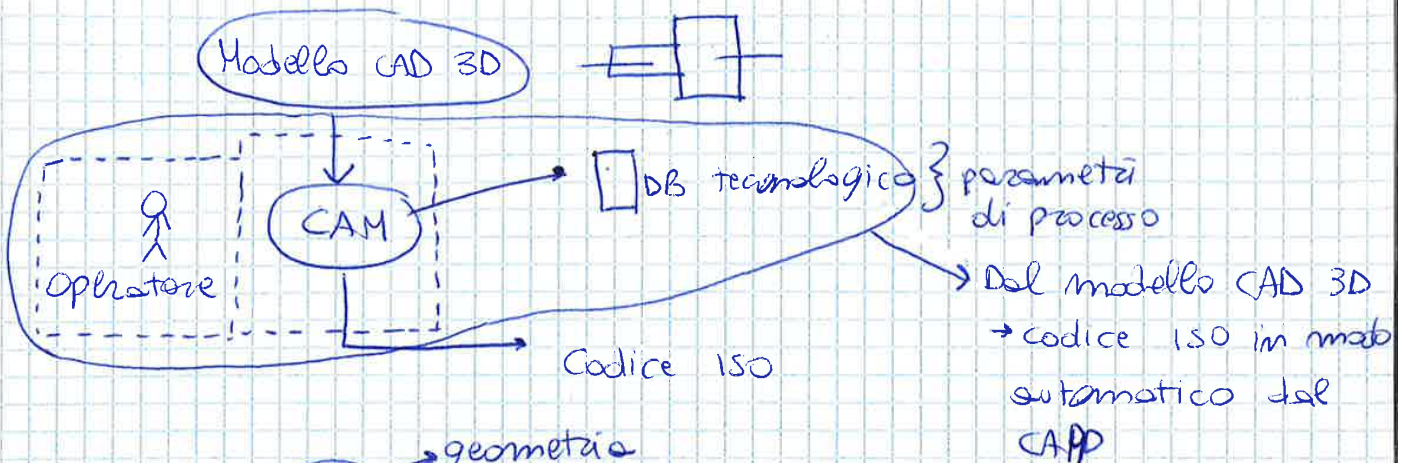
Tutti i diritti sono riservati. È vietata qualsiasi riproduzione, copia totale o parziale, dei contenuti inseriti nel presente volume, ivi inclusa la memorizzazione, rielaborazione, diffusione o distribuzione dei contenuti stessi mediante qualunque supporto magnetico o cartaceo, piattaforma tecnologica o rete telematica, senza previa autorizzazione scritta dell'autore.

**ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTIE NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.**

PIANIFICAZIONE DEI PROCESSI PRODUTTIVI

PAC

28/10/2015



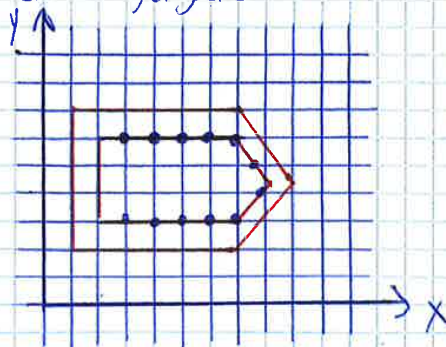
1) ACQUISIZIONE (Reverse Engineering)

29/10/2015

Dato il pezzo:

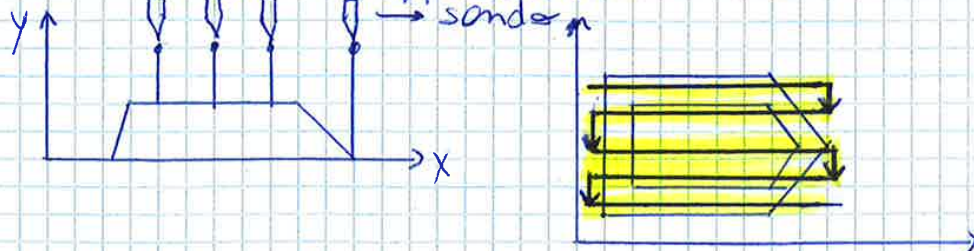


Si definisce una griglia



Questa è la DIGITALIZZAZIONE

La SCANSIONE invece si rappresenta:



Le frecce indicano il movimento della sonda

PRODUZIONE ASSISTITA DAL CALCOLATORE

cap 1 Concorrent Engineering e Integrazione CAD CAM

Prima dei calcolatori → prodotti realizzati manualmente
attività affidate ad abilità delle operatori

Limiti operatori: massima quantità producibile

Oggi → sono richiesti incremento produzioni e riduzione costi



è richiesta AUTOMAZIONE di attività e sistemi di produzione

Esempio: Tornitura

• Antichi Egizi → era impiegata x lavorazione legno ed era alimentata da operatori

controllava macchine

controllava la lavorazione

• Epoca Metalli → nuova fonte di energia
prima acqua → poi vapore

Per avere macchine più flessibili e per lavorare pezzi con geometrie e materiali diversi



nelle macchine introdotti RIDUTTORI DI VELOCITÀ per il controllo di coppia e velocità

• Introduzione di ACCOUPLAMENTI VITE - MADREVITE x movimentare le tavole delle macchine utensili variando la velocità

⇒ Miglioramento delle conoscenze su macchine e alleggerimento x l'operatore da alcune funzioni di controllo

• Introduzione dei SISTEMI DI COPIATURA MECCANICA che utilizzano camme

⇒ Introduzione AUTOMAZIONE INDUSTRIALE x la realizzazione di forme complesse

Anche se era richiesta la sostituzione delle camme

→ costi elevati

→ tempi lunghi per il cambio della produzione

Cause:

- Diversificazione prodotto → impone adozione di **TECNICHE PER LA SCHEDULAZIONE DELLA PRODUZIONE** per rispettare tempi di consegna ← → avere una buona saturazione impianti

Soluzione

Creano esigenze di flessibilità



ADOZIONE DI METODI MATEMATICI ED EURISTICI x

piamificazione & controllo della produzione

- Introduzione utilizzo di **ELABORATI ELETTRONICI** x la pianificazione e gestione dei sistemi produttivi

I primi calcolatori ^{NON} vennero utili



Nascita dei **TRANSISTOR** → con introduzione del

CIM = Computer Integrated Manufacturing
Produzione Integrata con il Calcolatore

1^a applicazione calcolatori in produzione sono

MACCHINE UTENSILI A CONTROLLO NUMERICO e PLC

(controllori e logica programmabile)

x la gestione dei primi sistemi di automazione flessibili

utilizzo → al livello produttivo dell'azienda

Risultati → significativi



Introduzione di calcolatori nei livelli superiori dell'azienda

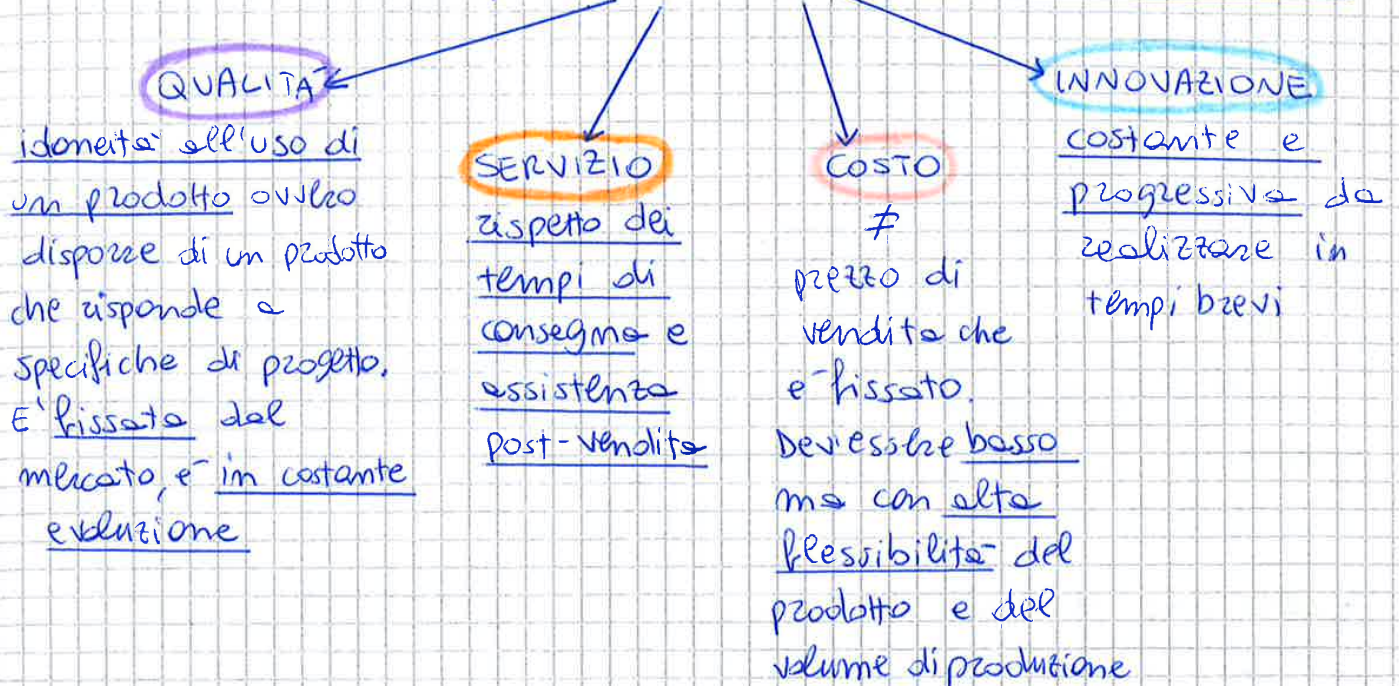
con sviluppo di **RETI DI CALCOLATORI** e

SOFTWARE DI GESTIONE

- **FABBRICA AUTOMATICA**: esegue tutte le operazioni
- da **PROGETTAZIONE** e **PIANIFICAZIONE**, **PRODUZIONE** e **CONTROLLO**
gestite dal calcolatore
Vennero realizzati tentativi di integrazione delle funzioni aziendali → non ebbero successo

Definizione integrata del prodotto e del processo

Per mantenere posizione di leadership → è necessario associare alla dimensione tempo 4 fattori di VANTAGGIO COMPETITIVO



MUTAMENTO DEI SISTEMI PRODUTTIVI → di tipo **TRASVERSALE** ovvero attraverso diversi settori industriali

PROGRESSO TECNOLOGICO → di tipo **LONGITUDINALE** cioè limitato ad uno o pochi settori industriali

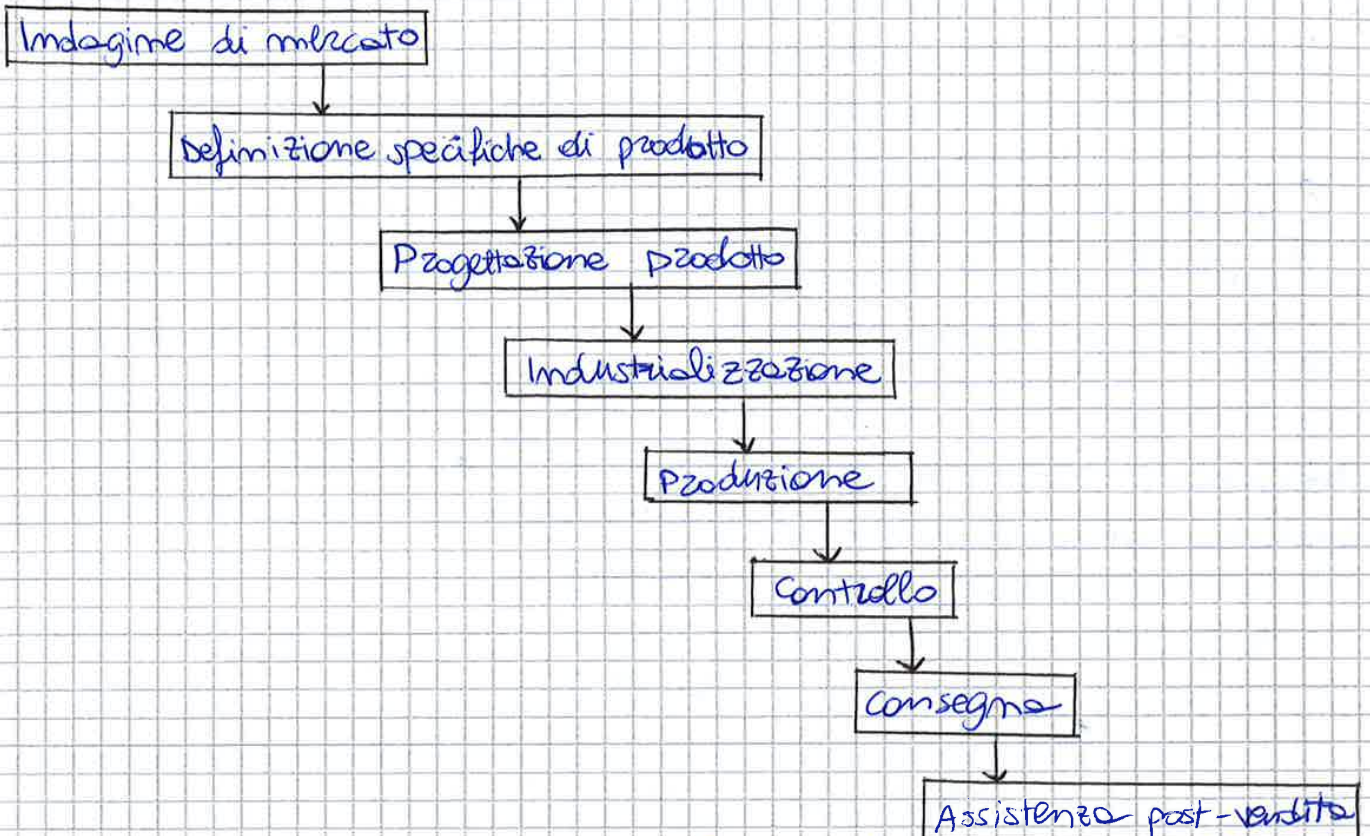
Progresso **TRASVERSALE** si sviluppa su 3 fronti:

- 1) Maggior **INTEGRAZIONE TRA PROGETTAZIONE DEL PRODOTTO E PROGETTAZIONE DEL PROGETTO**
- 2) Maggior **INTEGRAZIONE TRA PROGETTAZIONE DEL PROGETTO E FASE DI PRODUZIONE**
- 3) Impiego di **APPARECCHIATURE E DISPOSITIVI FORTEMENTE INTEGRATI CON L'ELETTRONICA** × anche flessibilità

Progettazione sequenziale PRODOTTO - PROCESSO

PASSATO → Plz beni di largo consumo → progettazione sequenziale del prodotto e relativo processo produttivo

Progettista ordinava ciò che doveva essere fatto senza preoccuparsi della fattibilità



Non sono previste retroazioni tra le varie funzioni aziendali
Errori del progettista → individuati in fase di Produzione e Collaudo
⇒ costi elevati x la correzione

OGGI → non è più possibile questo approccio (Leggi della concorrenza)

LIMITI progettazione sequenziale prodotto - processo

- Difficile individuare errori e attribuire responsabilità
- Difficile gestire modifiche richieste da clienti
- Difficile definire standard hardware e software comuni alle funzioni aziendali
- Difficili relazioni interne

Obiettivo: Riduzione TIME TO MARKET → azione combinata che prevede la revisione dell'intero processo di sviluppo dei nuovi prodotti con i seguenti guida:

1. Parallelismo delle fasi di sviluppo e ingegnerizzazione di prodotto
2. Costo del prodotto e del processo
3. Rispondenza alle specifiche qualitative

È necessario un RINNOVAMENTO AZIENDALE che prevede:

① Modifiche della struttura organizzativa: si passa a una gestione in cui il progetto è sviluppato da un team interfunzionale guidato da un responsabile a tempo pieno.

Team leader → gestione delle persone che provengono da tutte le funzioni coinvolte nella realizzazione del nuovo prodotto e del loro tempo.

Si evitano i canali di comunicazioni tra le funzioni se vi è INTERAZIONE DIRETTA E IMMEDIATA tra progettisti

↳ no perdita tempo, scelte di soluzioni + facili

② Impiego di adeguate tecniche e metodologie di progettazione del prodotto e processo

VANTAGGI CE

- riduzione tempo di flusso per progettazione prodotto e processo
- facilità individuazione e correzione errori per la presenza di varie funzioni aziendali
- gestione semplificata delle modifiche richieste da cliente e riduzione tempi risposta
- incremento competitività aziendale
- definizione di risorse hardware e software compatibili per varie funzioni aziendali
- miglioramento relazioni interne all'azienda

Le risorse HW e SW del calcolatore sono di supporto alle fasi di progettazione e produzione dei beni di largo consumo.

PREREQUISITO CE → disponibilità del modello matematico realizzato al CAD 3D del prodotto (per realizzare la progettazione integrata del prodotto e del processo)

CAS = Computer Aided Styling

CAD = Computer Aided Design

CAE = Computer Aided Engineering

RP = Rapid Prototyping

CAM = Computer Aided Manufacturing

CAPP = Computer Aided Process Planning

PP&C = Production programming & Control

CAQC = Computer Aided Quality Control

Produzione assistita da calcolatore

Definita come impiego di risorse HW e SW per:

1. Progettare prodotto e relativo processo produttivo
2. Pianificare, programmare, gestire e controllare produzione tramite interfacciamento diretto e indiretto con il sistema produttivo

Riguardo la produzione vi è una divisione in 2 aree delle applicazioni:

① AREA CAM DIRETTA → monitoraggio e controllo computerizzato: calcolatore connesso direttamente al sistema produttivo

② AREA CAM INDIRETTA → ausilio alle attività produttive: calcolatore impiegato come supporto delle attività produttive a partire dalla fase di prototipazione, no interfacciamento diretto tra calcolatore e sistema produttivo, l'operatore fa da mediatore

1a) MONITORAGGIO DELLA PRODUZIONE → connessione fisica tramite interfaccia HW con processo produttivo, scopo: osservare il processo e raccogliere dati, no controllo diretto



• controllo qualità: tramite i dati raccolti dai sistemi di collaudo, vengono generate automaticamente le carte di controllo per verificare la qualità dei prodotti

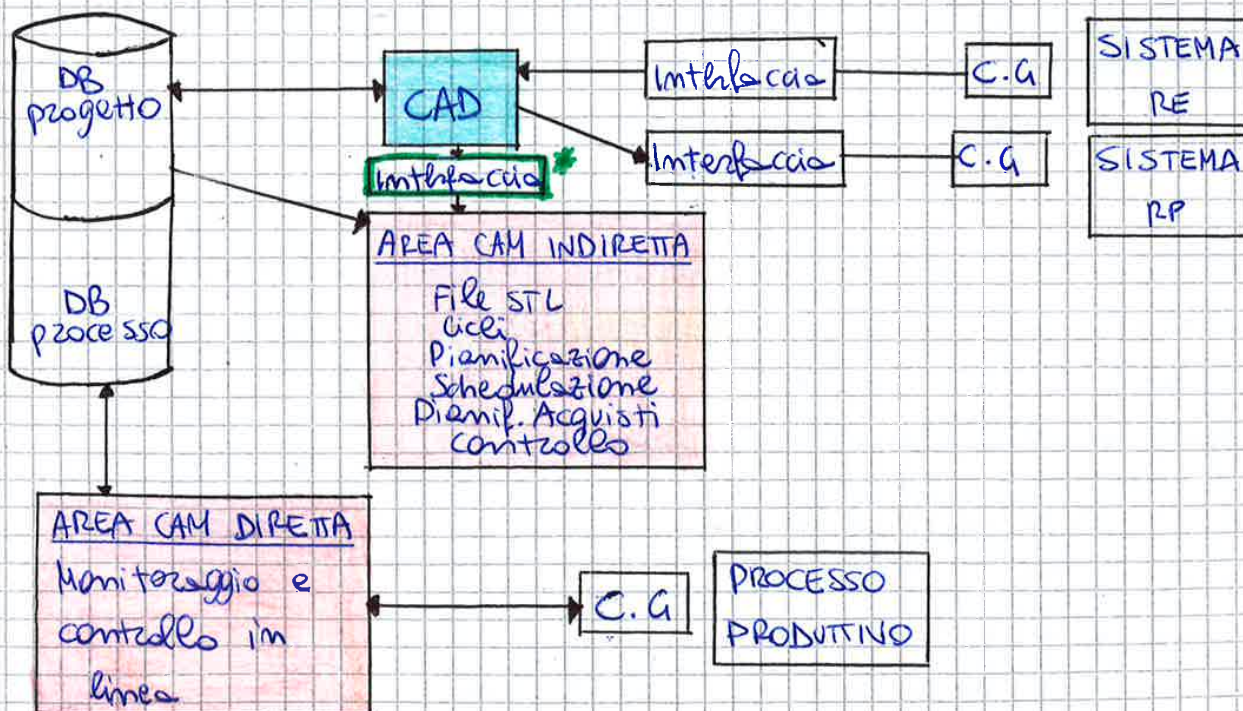
ruolo umano → fondamentale x interpretare i dati e scegliere le strategie di intervento sul processo produttivo.

È importante che la fase CAD sia attiva per reperire nel DB i dati di partenza nelle fasi successive.

Partendo dal DB del CAD (in cui vi sono tutte le specifiche di progetto), con le CAM si può effettuare:

- programmazione e controllo di macchine RP
- realizzazione di DB tecnologici con info su lavorazioni da eseguire, utensili,
- programmazione grafica interattiva di macchine CNC, di celle di lavorazione, robot, macchine di misura a coordinate
- pianificazione processo produttivo
- pianificazione acquisti
- gestione diretta di macchine CNC, robot, macchine di misura a coordinate
- collaudo e controllo di qualità assistito da calcolatore

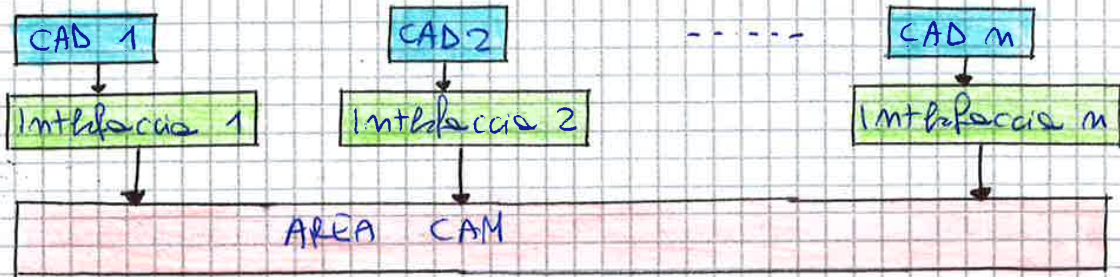
Aree di intervento delle CAD/CAM



6. Discriminazione dati da elaborazione x contenere tempi e costi

7. Altre funzioni di autodiagnostica

È difficile in realtà avere un'interfaccia ^{unica} con questi requisiti, si ha infatti un'interfaccia per ogni CAD:

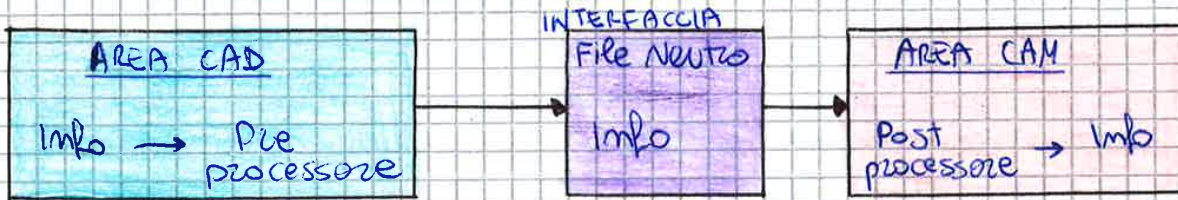


FUNZIONAMENTO DELL'INTERFACCIA

Non è un programma ma un file neutro standardizzato e le info scambiate sono in formato neutro

FORMATO NEUTRO = vengono trasferiti, tramite opportuni programmi, i singoli elementi e i singoli collegamenti tra elementi

- 1) Dati del CAD → con un pre-processore sono convertiti in formato neutro e archiviati nel file dell'interfaccia
- 2) Info contenute nel file dell'interfaccia → tradotte da un post-processore in info comprensibili per l'area CAM



I SW CAD/CAM devono avere pre e post processori per poter generare e leggere il formato neutro dell'interfaccia

TIPICI DI INTERFACCIA: DOMANDA ESAME

① **IGES** = "Initial Graphics Exchange Specifications"

→ sviluppata per scambio di dati tra sistemi CAD e poi adattata anche per l'area CAM

trasforma in formato neutro:

- disegni tecnici
- modelli tridimensionali wireframe (= rappresentazione grafica da computer di oggetti tridimensionali), per superfici e per solidi
- modelli per l'analisi agli elementi finiti

ultima versione → IGES 5.xx

- ③ **STEP** = Standard for external representation of product data
 e' usato per trasferire tutte le info relative al ciclo di vita del prodotto, e' la piu' completa
 Puo' sostituire tutte le interfacce, visto la completezza dei dati disponibili che possono essere utilizzati per:
1. Pianificazione attivita' produttive
 2. Programmazione macchine CNC, robot, CMU
 3. Programmazione produzione interna
 4. gestione materiali
 5. controllo produzione (come sta andando rispetto ai preventivi)
 6. controllo qualita' (come e' rispetto alle specifiche di progetto)

L'interfaccia usa il linguaggio di programmazione ad oggetti

EXPRESS x definire la struttura delle info Info trasferite da STEP:

- 1) si ha l'info legata al ciclo di vita del prodotto, si parte dal MATERIAL MODEL → oltre a indicazione sul tipo di materiale, ci sono info relative al carico a cui vengono sottoposti i materiali
- 2) TOLERANCE MODEL → vengono definite le toleranze, ma si lavora tutto il pezzo ma in base alle tolleranze
- 3) SERVICE MODEL → da' info di rugosità superficiale
- 4) FORM FEATURE → indica gli elementi principali di cui e' composto il prodotto
- 5) SHAPE REPRESENTATION MODEL → forma
- 6) TOPOLOGY MODEL → indica di cosa e' costituito il prodotto, e' la distinta base cioè l'elenco dei componenti che costituiscono il prodotto, essa e' fondamentale per programmare la struttura interna e per gestire gli ordini (cosa acquistare da esterno e cosa produrre all'interno).
- 7) GEOMETRY MODEL → geometria

④ **STL** = Solid To Layer

interfaccia diventata standard di fatto, sviluppata da società americana 3D Systems che per prima ha commercializzato un sistema di prototipazione rapida
 prevede approssimazione della superficie esterna e interna del pezzo con triangoli di dimensione variabile in funzione della complessità geometrica

Attività produttive classificate in 4 categorie principali:

① **Processi continui:**

relativi a produzione di mezzi continui (liquidi, gas, sfusi come cementi).

Tipici → impianti chimici

② **Produzioni di massa di elementi discreti:**

relative alla fabbricazione in serie di prodotti discreti con elevate produzioni e limitate varianti (minuteria metallica)

③ **Produzioni a lotti:**

relative alla realizzazione di piccoli lotti e intervalli periodici

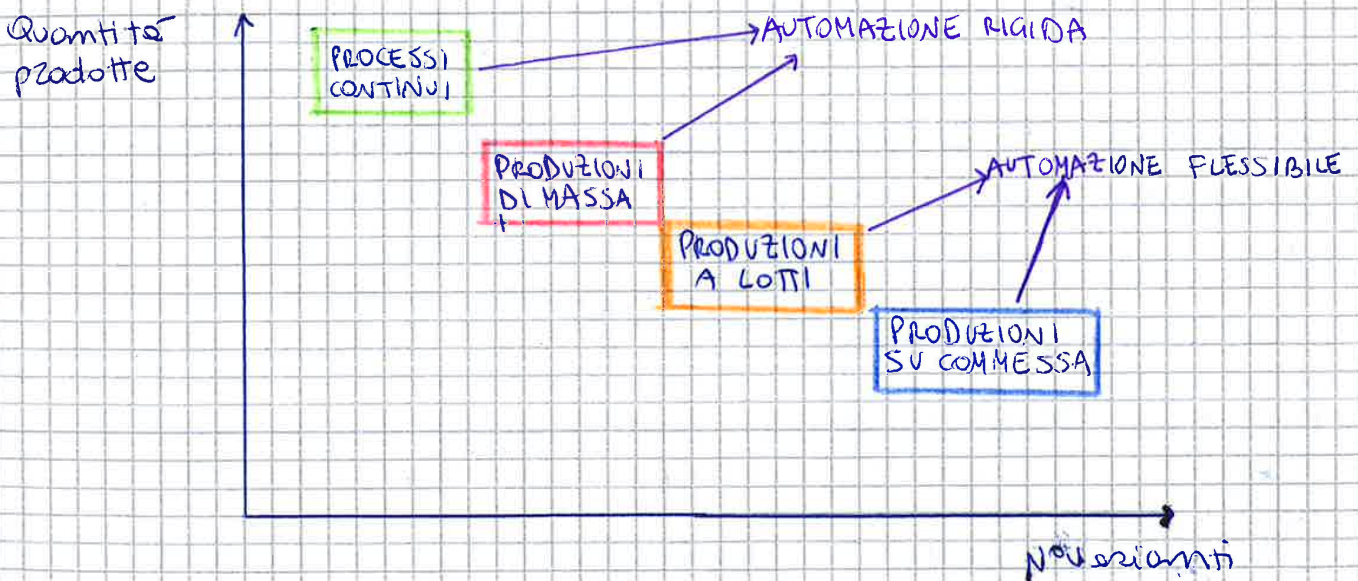
Es. tipici → parti di autoveicoli, libri, abbigliamento

④ **Produzioni su commesse:**

relative alla realizzazione di prodotti singoli molto complessi o di grandi dimensioni

Esempi → satelliti, ponti

Collocazione dei processi produttivi in funzione della quantità e delle varianti:



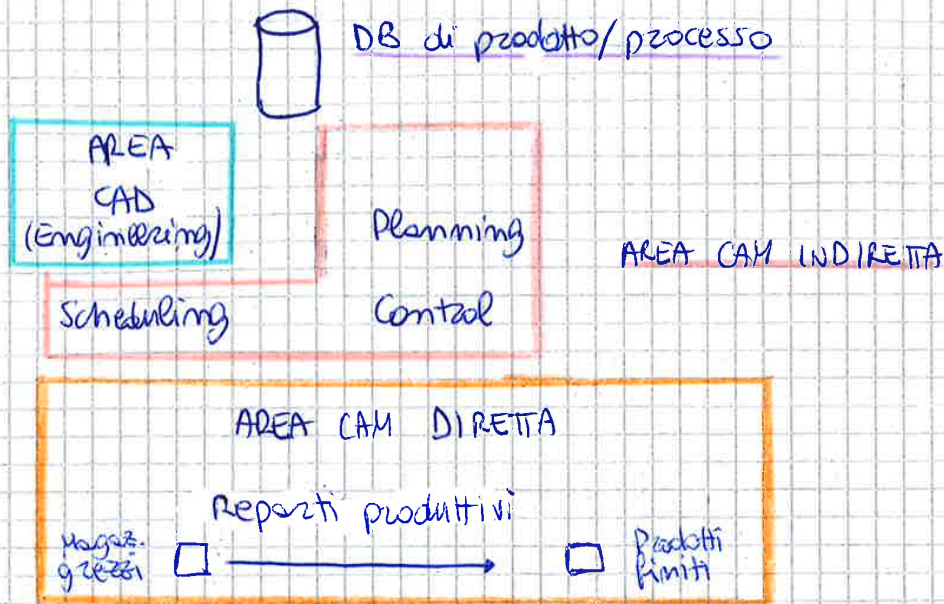
C'è un forte legame tra il CAD/CAM e l'automazione industriale che può essere formalizzato con un modello matematico

Per una generica produzione si considerano alcuni parametri:

T1 → tempo richiesto alla fabbricazione di un singolo elemento
 somma di singoli tempi di produzione + tempi di assemblaggio
 collaudo + tempi di controllo + tempi di imballaggio e spedizione

T2 → tempo associato con la pianificazione e settaggio produttivo. Comprende l'ordine del materiale grezzo, tempo di schedulazione della produzione, tempi di preparazione degli impianti produttivi
 È il tempo che si spende per ogni cambio lotto

Esempio di azienda integrata con tecniche CAD/CAM:



AREA CAD → Progettazione

AREA CAM INDIRETTA → Pianificazione, Schedulazione, Controllo

AREA CAM DIRETTA → Produzione che consiste di:

- 3 macchine utensili
- 1 robot di assemblaggio
- 1 macchina di misure a coordinate
- 1 sistema automatico di movimentazione pezzi AGV
- 2 magazzini automatici

La somma è collegata e gestita da un calcolatore di gestione

I pezzi si muovono da sinistra a destra (dal magazzino dei grezzi a quello dei finiti)

DB di prodotto/processo → contiene:

- descrizione dei prodotti
 - metodi di progettazione
 - metodi di produzione
 - risorse produttive
 - obiettivi di qualità
 - obiettivi di produttività
- ogni azienda ha le proprie e non vuole pubblicarle

e cui devono accedere le varie funzioni aziendali

Attività di ausilio alla produzione:

- pianificazione del processo produttivo
- schedulazione della produzione

4) ORDER RELEASE → indica cosa fare all'interno ^{→ make} e cosa comprare all'esterno (buy)

5) CONTROL = controllo → vengono definiti gli obiettivi di produttività e di qualità

6) VERIFICATIONS = verifiche → compito duplice: verifica dello stato di avanzamento della produzione periodicamente e verifica dei requisiti di progetto in cui i pezzi vengono misurati o fatti o a campione per vedere se si stanno rispettando le specifiche progettuali di prodotto.

Se nella fase di verifica ci si accorge che un pezzo è fuori tolleranza si deve fermare la produzione. Se invece si interrompe una macchina non si può fermare la produzione ma ci sono diverse dinamiche (es. si chiede al fornitore di non mandare più pezzi per le produzioni dei giorni successivi)

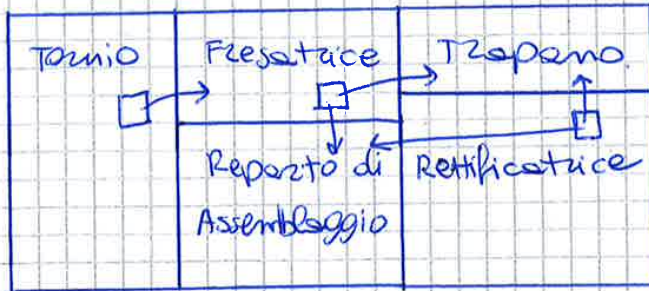
Tra i dati derivanti dalle operazioni di verifica vengono inviati a:

- CONTROL = controllo qualità → in caso di mancata corrispondenza con le specifiche di progetto vengono arrestati impianti produttivi
- ORDER RELEASE = Evasione ordini → per verificare che gli impianti siano o meno in piena efficienza (es. necessità di sostituire gli utensili)
- SCHEDULING = schedulazione → per fornire indicazioni sullo stato delle macchine (es. fermi improvvisi, manutenzione preventiva)
- PLANNING = pianificazione → per ridefinire la pianificazione delle attività produttive in caso di fermi prolungati degli impianti (es. eventi naturali, scioperi prolungati)
- ENGINEERING = Progettazione → per migliorare il progetto del componente ed eliminare eventuali difetti

Vantaggi GT:

- semplifica la pianificazione del progresso produttivo e agevola la gestione delle informazioni
- semplifica l'attività produttiva: analizzando 2 realtà produttive divise:

① Di tipo TRADIZIONALE → macchine utensili suddivise per funzione



I pezzi girano da una parte all'altra
↓
NO G.T.

② con impiego di GT → sistema produttivo organizzato in celle e ognuna può lavorare una ben determinata famiglia di pezzi



- In ① ci sono
- elevati costi di trasporto dei pezzi
 - elevate scorte di materiale
 - tempi lunghi di produzione
 - maggiori attrezzaggi delle macchine

Aumento lead time e costi

- In ②
- riduzione movimentazione complessiva dei pezzi
 - minori tempi di setup degli impianti
 - minori scorte di materiali
 - minore spazio utilizzato
 - Lead time ridotti

In alcune celle ci possono essere dispositivi di trasporto automatico tra le varie macchine

PROBLEMA → raggruppare elementi in famiglie. Per la classificazione ci sono 3 metodi che necessitano di molto tempo per analizzare i dati degli elementi, che viene fatto da personale altamente specializzato

Un sistema di classificazione e codifica può essere basato su:

- a) **ATRIBUTI GEOMETRICI E DI FORMA** → utile per classificare e standardizzare i disegni, ma poco utile per la produzione
- b) **ATRIBUTI TECNOLOGICI** → utilizzati nei sistemi CAPP specifici per definire il ciclo di lavorazione
- c) **ATRIBUTI GEOMETRICI E TECNOLOGICI** → più completi, ha i vantaggi dei primi due, determina uno schema di classificazione unico che tiene conto del progetto e del processo

Attributi geometrici = ATRIBUTI DI PROGETTO

- Forma di base interna
- Forma di base esterna
- Rapporto tra lunghezza e diametro X
- Tipo di materiale
- Funzione dell'elemento
- Dimensione maggiore X
- Dimensione minima
- Rugosità delle superfici X

ATRIBUTI DI PROCESSO:

- Processo di lavorazione principale
- Operazioni secondarie
- Dimensione maggiore X
- Rapporto tra lunghezza e diametro X
- Rugosità delle superfici X
- Macchina utensile
- sequenza delle operazioni
- Tempo di produzione
- Dimensione del lotto
- Produzione annuale
- Tipi di attrezzature
- Utensili

Tra i 2 metodi ci sono attributi comuni → ecco perché con la 3^a classificazione si elimina la ridondanza

Per la codifica e individuazione di una sequenza alfanumerica che identifica l'elemento e i suoi attributi di prodotto/processo ci sono

3 strutture:

GERARCHICA

Il significato del simbolo successivo dipende da quello precedente
Determina una struttura compatta del codice

DOMANDA ESAME

A CATENA O SEQUENZIALE

L'interpretazione di ciascun simbolo è unica, non dipende dal valore precedente. Può essere utile per il riconoscimento di elementi con ciclo di fabbricazione simile

IBRIDA

È una combinazione delle prime due

3 codici di classificazione e codifica più usati:

① **OPITZ** → consiste in sequenze alfanumeriche, 9 caratteri (estendibile a 13).

Primi 5 caratteri (1, 2, 3, 4, 5) → "Codici di forma" → Attributi di progetto
 descrivono attributi geometrici e di forma del pezzo

Successivi 4 caratteri (6, 7, 8, 9) → "Codice supplementare" → Attributi di processo
 danno indicazioni di tipo costruttivo utili alla produzione (dimensione, materiale, forma del pezzo di partenza e tolleranze)

Ultime 4 cifre (A, B, C, D) → "Codice secondario"
 servono a identificare la sequenza e il tipo di lavorazioni da eseguire sul pezzo

- 1° CARATTERE → identifica la forma del pezzo (prismatico o assialsimmetrico) e i rapporti tra le dimensioni dello stesso
- 2° CARATTERE → da informazioni sulla forma esterna
- 3° CARATTERE → identifica la forma interna (pieno o vuoto)
- 4° CARATTERE → indica la presenza sul pezzo di superfici piane
- 5° CARATTERE → da info sui fori ausiliari e sulla presenza di ingranaggi

CODICE OPITZ

	1° CARATTERE	2° CARATTERE	3° CARATTERE
0	$L/D < 0,5$	Liscio, no elementi di forma	No buchi, no sfondamenti
1	$0,5 < L/D < 3$	A gradini da una parte	No elementi di forma
2	$L/D \geq 3$		Cavo
3		A gradini da una parte o liscio	Scanalatura Funzionale
4			No elementi di forma
5		A gradini in entrambe le parti	Cavo
6			Scanalatura Funzionale
7			Cano Funzionale
8			Cavo operativo
9			Tutti gli altri

STAMPARE E
 INCOLLARE

② MICASS = Metal Institute classification system

↓ sviluppato per aiutare in modo automatico la classificazione
in diversi settori della progettazione e della produzione

Campi di applicazione principali:

1. Standardizzazione dei disegni
2. Ricerca di disegni secondo il numero di classificazione
3. Standardizzazione di processi
4. Pianificazione dei processi produttivi
5. Selezione di elementi per la lavorazione sulle stesse macchine utensili
6. Analisi degli investimenti necessari per l'acquisto di macchine utensili

N° caratteri = tra 12 e 30

Prime 12 cifre

→ codice universale applicabile a qualsiasi elemento
identificano i seguenti attributi di prodotto e processo:

- 1 → forma principale
- 2,3 → elementi di forma
- 4 → posizione degli elementi di forma
- 5,6 → dimensioni principali
- 7 → rapporto tra le dimensioni principali
- 8 → dimensione ausiliaria
- 9,10 → codici di tolleranza
- 11,12 → codici del materiale

Restanti 18 cifre

→ sono definite dall'utilizzatore e secondo delle proprie esigenze (dimensioni lotto, costi, sequenze delle operazioni)

MICASS opera con un APPLICATIVO SOFTWARE INTERATTIVO che pone domande all'operatore → N° domande in base alla complessità dell'elemento (Elemento semplice → 6/7 domande, Media complessità → 10/20 domande).
In base alle risposte il programma attribuisce la codifica all'elemento

parte composta → elemento geometrico assialsimmetrico costituito da 7 caratteristiche geometriche e di lavorazione:

- ① Tornitura cilindrica esterna
- ② Sfacciatura
- ③ Tornitura cilindrica esterna a un altro diametro
- ④ Rettificazione per ottenere la rugosità richiesta
- ⑤ Foratura sull'asse
- ⑥ Allargatura foro esterno con utensile
- ⑦ Filettatura esterna

Per lavorare questa parte composta è necessaria una **CELLA DI LAVORAZIONE** per tutte le 7 lavorazioni.

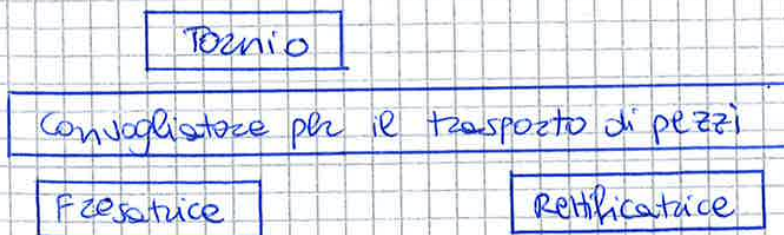
Macchine, attrezzature, utensili della cella → devono essere disposti in modo da rendere efficiente il flusso di materiale.

Elemento ricavato dalla parte composta eliminando operazioni, può essere lavorato sulla stessa cella saltando le operazioni che non servono.

Si ricavano i problemi progettuali della cella di lavorazione

TIPOLOGIE DI CELLE DI LAVORAZIONE:

- ① **CELLE MONOMACCHINA** → la famiglia di pezzi necessita di operazioni eseguibili su 1 sola macchina (tornio, fresatrice, centro di lavorazione)
- ② **GRUPPI DI MACCHINE** → comprendono un determinato no di macchine utilizzate contemporaneamente sulla famiglia di pezzi.
No dispositivi x movimentazione automatica dei pezzi o degli utensili da una macchina all'altra
- ③ **CELLE FLOW LINE** → costituite da un insieme di macchine e da un sistema di trasporto automatico dei particolari lavorati da una macchina all'altra



Tempo setup della macchina passando da un elemento all'altro risulta ridotto → si può adottare un sistema di schedulazione dei pezzi: minimizza n° settaggi della macchina

- GESTIONE MATERIALI → riduzione complessiva della movimentazione dei pezzi e dei tempi d'attesa. ottimizzati flussi dei materiali dell'azienda

- PRODUZIONE E GESTIONE SCORTE → Schedulazione semplificata, usando le celle si riduce il n° delle macchine semplificando la programmazione della produzione.

→ Riduzioni di lead time (70%), di scorte di WIP (60%) e di ritardi di produzione (80%)

- PERSONALE → Maggiore soddisfazione degli operatori usando le celle di lavorazione automatiche per la costruzione degli elementi delle famiglie.

→ Migliore responsabilizzazione dei lavoratori ⇒ Miglioramento della qualità del prodotto e del processo

- PIANIFICAZIONE DEI PROCESSI PRODUTTIVI → riduzione tempi e costi grazie alla GT.

→ Ogni elemento appartiene ad una famiglia ed è codificato, un nuovo elemento viene codificato e attribuito ad una famiglia di cui sono già noti i cicli di fabbricazione

→ si possono implementare in modo semplificato le procedure di COMPUTER AIDED PROCESS PLANNING per la pianificazione del processo produttivo (CAP)

Eliminato COLLO DI BOTTIGLIA dettaminato dal programmatore → non deve più prendere in mano i disegni per fare la programmazione della lavorazione

Eliminato COLLO DI BOTTIGLIA del flusso produttivo → tramite collegamento automatico dell'integrazione tra CAD e CAM

↓ si ha

quando si ha un software che interpreta i dati nel DB del CAD e li converte (con limitati interventi dell'operatore) in un programma di lavorazione, assemblaggio o collaudo per essere utilizzato nelle macchine CNC, robot e macchine di misura a coordinate.

↓

Tecniche chiamate C.A.P.P. - Pianificazione assistita dei processi produttivi

C.A.P.P. serve per effettuare

↳ Scelta dei processi produttivi

↳ Scelta dei parametri di lavorazione (per essere fatta in modo differente privilegiando tempi o costi)

tenendo conto dei fattori organizzativi, economici e tecnologici questa attività è svolta dal personale tecnico con alta esperienza che assicura validi risultati.

Riferendosi alla programmazione delle lavorazioni alle macchine CNC si individua:

- ① Sequenza delle operazioni
- ② Macchine → su cui eseguire le operazioni
- ③ Utensili → che si hanno a magazzino
- ④ Attrezzature
- ⑤ Parametri di processo

} Scelte che devono essere fatte in autonomia, si fanno se si ha sufficiente base di conoscenza

Tenendo conto di:

- ① Forme
- ② Dimensioni
- ③ Materiali
- ④ Quantità da produrre
- ⑤ Tolleranze dimensionali
- ⑥ Rugosità delle superfici

Problematiche sistemi CAPP:

- Ancora in fase di sviluppo, ci sono le prime applicazioni industriali ma limitate ad alcune parti del processo produttivo
- Maggiori difficoltà nella:

1) **INTEGRAZIONE CON AREA CAD** → oggi con interfaccia STEP si facilitano le cose per ogni sistema CAPP → è necessaria una chiara conoscenza di tutti gli aspetti geometrici e tecnologici del componente da realizzare.

Progetto del pezzo effettuato con sistema CAD → info contenute nel DB associato al modello tridimensionale

↓
 Difficoltà → nell'interpretazione dei dati e ricerca di ciò che interessa davvero alla lavorazione

Info geometriche

relative alle superfici del pezzo
 → contenute nel modello 3D

Info tecnologiche (es. tolleranze, rugosità) → sono nelle viste e sezioni di tipo bidimensionale

→ ricavate dal modello 3D e archiviate separatamente

⇒ Difficoltà nell'associazione dei dati

Esistono vari tipi di **interfacce** per trasmettere dati non completamente efficienti che individuano le **FORM FEATURE** (superfici o gruppi di superfici lavorate) e estraggono info geometriche e tecnologiche.

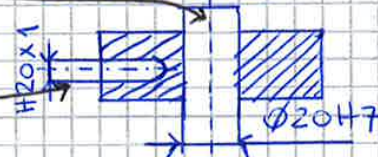
ES. di form feature → fori, sedi di lingette, superfici dentate.

Form feature sono parametrizzate

Ricerca form feature nel DB del CAD:

Modello solido 3D

Sezione quotata in 2D



DB solidi 3D

DB disegni 2D

Ricerca delle form features e relative geometrie

Ricerca dei dati tecnologici corrispondenti alle form features trovate

Programma CAPP

Informazioni geometriche e tecnologiche complete

2) CONOSCENZA TECNOLOGICA (altra difficoltà del CAPP)

- Sistema CAPP sostituisce parzialmente o totalmente la figura del programmatore della produzione



è indispensabile per chi abbia la conoscenza tecnologica necessaria a risolvere i problemi che vengono posti

- Sistema CAPP deve fare scelte tecnologiche importanti come:

Definizione delle varie fasi del ciclo di lavorazione

Individuazione geometria degli utensili

Scelta dei parametri di processo

Scelta delle attrezzature di produzione

Per qualunque tipo di elemento e di materiale da lavorare e per qualsiasi cadenza produttiva

- Sistema CAPP deve essere FLESSIBILE e ADATTABILE a diverse situazioni
→ le esigenze cambiano da un ambiente aziendale all'altro

- Sistema CAPP deve considerare storia ed esperienza aziendale e con l'esperienza deve affinare le scelte fatte



È molto difficile realizzare un software con queste caratteristiche soprattutto per la flessibilità, la generalità di applicazione, l'eliminazione degli interventi dell'operatore.

Sistemi CAPP attuali solo parzialmente soddisfanno tali requisiti

SISTEMI CAPP ATTUALI

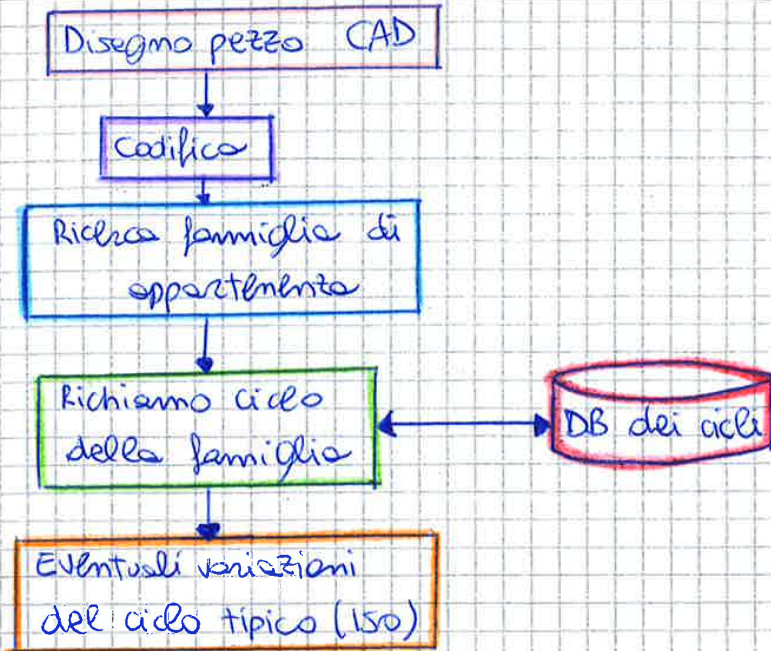
La logica di funzionamento segue 2 approcci:

① VARIANTE → basato sulla considerazione che pezzi simili tecnologicamente hanno anche simili:

- macchine
- utensili
- attrezzature

→ Alla base di questo c'è la GT

Richiamare da un DB le info del pezzo tipo e applicarle con opportuni adattamenti ad ogni componente simile che si deve produrre



VANTAGGI APP VARIANTE:

- Conveniente per aziende che producano un no limitato di famiglie, ciascuna con elementi differenti
- GT è applicabile se da un insieme di famiglie si riescono a ridurre i numeri dei pezzi
- I programmi esistenti si basano su colloqui interattivi facilitati da menu solo alcuni pro sono integrati con la fase CAD

② **GENERATIVO** → si usa dove l'attività della GT non porta a benefici, ovvero non si riescono a fare poche famiglie con pochi pezzi

Genera automaticamente il ciclo di lavorazione scegliendo macchine utensili, utensili e attrezzature per ogni componente, a prescindere dalla sua classificazione in famiglie e da cicli memorizzati

Si basa sulla conoscenza tecnologica derivante dalla esperienza dell'operatore e tradotta in un applicativo software intelligente

Può definire delle regole

PUNTO CRUCIALE → logica decisionale su cui si basano tutte le scelte operate. La logica si può basare su:

① Alberi decisionali

② Sistemi basati sulla conoscenza (knowledge based)

DIFFICOLTÀ SISTEMI APP GENERATIVI: generalità e completezza

Non esiste un sistema applicabile per ogni azienda o che consideri tutte le tecnologie di lavorazione disponibili o che sia in grado di risolvere ogni problema produttivo

Esempi

1) SISTEMA APP VARIANTE

MIPLAN → applicativo software interattivo, implementa sistema APP variante e ha numerosi moduli.

Dato un nuovo particolare di cui si vuole definire il ciclo di lavorazione l'operatore può scegliere una delle opzioni:

- 1) In base alla classificazione del pezzo fatta con la CIT, viene richiamato il ciclo di produzione della parte composta e può essere modificato manualmente
- 2) Può essere richiamato un ciclo di produzione simile già memorizzato tramite il suo codice e modificato manualmente
- 3) Può essere generato ex-novo un ciclo di lavorazione utilizzando le risorse del DB interno al programma. L'operatore definisce in modo interattivo il ciclo di lavorazione sfruttando le conoscenze del APP presenti nel DB
- a) Si può richiamare un ciclo di lavorazione già iniziato e incompleto per mancanza di conoscenze. Si interrompe la procedura, si acquisiscono le conoscenze sufficienti, si richiama il ciclo incompleto e si completa

- Dopo la FASE DI PIANIFICAZIONE si emette documento cartaceo con tutte le info necessarie alla realizzazione del pezzo e al suo costo.
- Il nuovo ciclo viene memorizzato e si potrà usare come base per un nuovo elemento o per lo stesso pezzo con variazioni sulle macchine o sull'attrezzatura
- Per facilitare la comunicazione nell'azienda si può ottenere una uscita grafica che fornisce lo schema dell'attrezzatura da usare per ogni operazione del ciclo di lavorazione.

2) SISTEMA APP GENERATIVO

Applicativo pre-industriale basato su un sistema "Knowledge-Based"

Base della conoscenza → su regole basate sulla logica IF THEN

Gestione della conoscenza (aggiunta, modifica, cancellazione e lettura)

3 metodi per selezionare i parametri di lavorazione:

① Esperienza dell'operatore addetto alla pianificazione

- presenta fatti rischiosi → scelta affidata ad un'unica persona (dipende da chi la fa e dall'esperienza che ha) → Approccio poco scientifico basato solo sull'esperienza.
- condizioni di lavorazione derivano dall'esperienza e non su considerazioni economiche

② DB di dati di lavorazione

Scelta migliore perché è il risultato del lavoro di più persone basato su analisi sistematica di tanti dati derivanti da prove sperimentali

Ha controindicazioni:

- Dati forniti → sono di tipo cautelativo basati sulle peggiori condizioni riscontrabili
- Dati → di tipo generale e non specifici della produzione di ogni azienda
- Se ne un'interfaccia per l'utilizzo dei dati nel sistema CAPP

È la soluzione che usano molti soprattutto se si devono lavorare pezzi che richiedono tempi lunghi in cui si ha necessità che non si rompa l'utensile.

③ Valutazione matematica sulla base del tipo di operazione scegliendo di minimizzare i costi o i tempi di lavorazione

- Si bypassano i problemi precedenti.
- Si può avere condizioni di minimo costo o massima produttività.
- uso di tecnologia del controllo numerico con alti costi di investimento → richiede gestione attenta per massimizzare la loro efficienza
- Se ne un modello matematico per le operazioni più complesse che dovrà essere risolto numericamente

Nota la legge di Taylor che lega durata utensili con parametri di processo:

$$t = f(V_t, a, p)$$

V_t = velocità di taglio

a = avanzamento

p = profondità di passata

f → può essere espressa con modello → esponenziale
→ polinomiale

Identificati i modelli si può minimizzare il tempo o il costo della lavorazione in base alle esigenze dell'azienda.

ci sono dei vincoli sulla soluzione rappresentati dai valori limite dei parametri di lavorazione e precisamente

1) Vincoli sulla velocità di rotazione del pezzo o dell'utensile

$$n_{wmin} < n_w \leq n_{wmax} \quad (\text{pezzo})$$

$$n_{tmin} < n_t \leq n_{tmax} \quad (\text{utensile})$$

2) Vincoli sull'avanzamento del pezzo o dell'utensile

$$f_{wmin} < f_w \leq f_{wmax} \quad (\text{pezzo})$$

$$f_{tmin} < f_t \leq f_{tmax} \quad (\text{utensile})$$

3) Vincoli sulla forza di taglio e sulla rugosità

$$F_{min} < F \leq F_{max}$$

$$R_{amin} < R_a \leq R_{amax}$$

Questi vincoli derivano dalle macchine utensili impiegate e dalle specifiche del pezzo da produrre

Imponendo tali vincoli si può ottenere per ogni lavorazione una soluzione numerica costituita dai parametri di lavorazione (n_t, f) che minimizza i tempi o i costi di lavorazione dell'operazione

Metodi per ottenere la soluzione sono molti:

- tecniche iterative
- tecniche di minimizzazione
- programmazione dinamica

} Nessuna da una soluzione unica

2) LAVORAZIONI IN PIU' PASSATE

Il modello è più complicato per la presenza di altre 2 variabili:

- profondità di passata p
- numero di passate m_p

$$t_{pr} = t_h + \sum_{i=1}^{m_p} \left[t_m^i + \left(\frac{t_m^i}{f} \right) t_t \right]$$

t_m^i = tempo richiesto per l'esecuzione della passata i -esima

CAP. 4 REVERSE ENGINEERING

Per il mantenimento della capacità competitiva → riduzione dei tempi di sviluppo di un nuovo prodotto.

Stile e design sono fondamentali per il successo commerciale del prodotto → un prodotto viene acquistato anche per la sua forma estetica
Inizialmente → il designer faceva su carta un bozzetto che poi dava al modellista e realizzava la forma esterna del pezzo

Problema: per dialogare il disegno del designer con il CAD, si prendeva una sonda a contatto che veniva utilizzata per realizzare una serie di punti con una certa strategia, più punti c'erano più era vera la replica del pezzo fisico.

Oggi → si dà la stessa importanza all'estetica e alla funzionalità del prodotto: per questo si ricorre a geometrie "FREE FORM".

- Reverse Engineering = tecnica - metodologia di ricostruzione virtuale o matematica di oggetti reali digitalizzandoli
Permette al progettista e all'azienda di ridurre significativamente i TEMPI ed è considerata una tecnica di **TIME COMPRESSION**.

Realizzazione di un nuovo prodotto (percorso standard):

- 1) Ricerca di un compromesso tra caratteristiche funzionali, strutturali, estetiche e di costo
- 2) Giungere, tramite la realizzazione di un disegno cartaceo o CAD, alla realizzazione di un modello fisico

FINALITÀ RE → recuperare dati maneggiati nel processo di sviluppo di un nuovo prodotto e trasferirli in un modello virtuale tridimensionale

VANTAGGIO FORMATO DIGITALE → immediata interpretazione, facilità di utilizzo e aggiornamento in tempo reale

"REVERSE ENGINEERING" → analisi approfondite di un prodotto software con l'obiettivo di ricostruire nel dettaglio le fasi che lo hanno realizzato, in assenza di indicazioni originali o della conoscenza delle idee di base

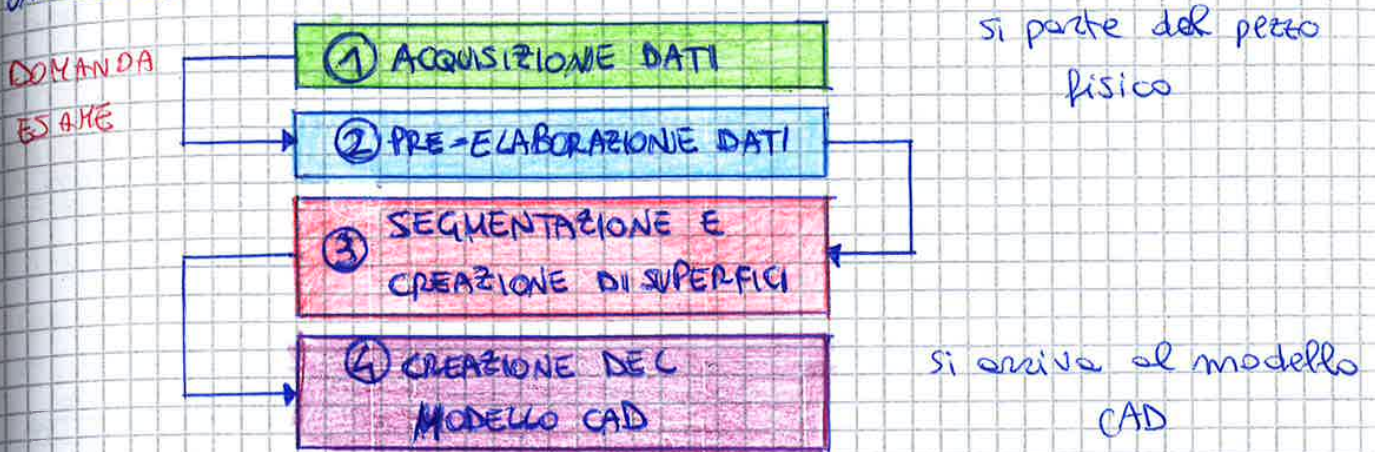
Le tecniche di RE vengono usate in:

- ① Processo di sviluppo di un nuovo prodotto
- ② Ausilio nella classificazione e ricostruzione di disegni di parti di oggetti esistenti

Da un modello fisico → si ottiene la sua ricostruzione virtuale
↓

si esegue un'operazione articolata composta di 4 fasi

Anche se in realtà si effettuano un numero successivo di iterazioni per ottenere un risultato definitivo (schematizzazione in 4 fasi non è universale)



1 ACQUISIZIONE → fase rapida, ^{grossa} intervento operatore
Acquisizione può avvenire:

- DIGITALIZZAZIONE = acquisizione secondo un processo discreto. Richiede un'analisi preventiva dell'operatore, non è molto efficace infatti è stata sviluppata la

- SCANSIONE = acquisizione secondo un processo continuo. Si parte la sonda e esaminare l'oggetto scandendo determinati punti.

In entrambi i casi, alla fine si ottiene una NUVOLA DI PUNTI che è una serie di coordinate spaziali che descrivono le posizioni relative dei punti rilevati sull'oggetto.

PRIMA DELL'ACQUISIZIONE → il pezzo deve avere:

- pulizia delle superfici
- fissaggio del pezzo su un supporto adeguato
- studio preliminare del pezzo per minimizzare il numero di acquisizioni → permette di capire la strategia e il sistema di acquisizione più opportuno da utilizzare
- trattamento di spray opacizzanti delle superfici riflettenti
- posizionamento di marcatori

È fondamentale → esplorante
 → conoscenza dei software di elaborazione

I dati forniti dalla scansione possono essere:

- in ordine sparso → SCATTERED SET OF DATA
- in ordine regolare → REGULAR SET OF DATA

Fase di pre-processing: non cambia la disposizione ma solo il n° dei punti e la loro densità in determinate zone

3 SEGMENTAZIONE E CREAZIONE DI SUPERFICI

È la fase più lunga, complicata e richiede intervento operatore esperto. I sistemi CAD partono da pochi punti per definire la superficie, in questo caso si parte da un insieme molto grande di punti. Si utilizzano applicativi software intermedi per elaborare la nuvola di punti:

- si imposta la nuvola di punti
- si definiscono le superfici minimizzando l'errore tra le superfici e i punti con una regola: non si può realizzare un'unica superficie, si deve dividere la superficie in un certo n° di parti che determinano, sotto la guida dell'operatore, un certo n° di superfici
- si esportano le superfici in formato standard (IGES, UDA, STEP)
- Per ogni area si genera una superficie facendo in modo che le superfici siano tangenti tra loro per evitare spigoli.

↓

Regole delle nuvole di punti → memorizzazione delle NEIGHBORHOOD INFORMATION = info riguardanti la continuità, appartenenza e superfici cilindriche tra due zone adiacenti dello spazio

DATI ORDINATI → algoritmi che riconoscono, catalogano e memorizzano queste info che rendono agevole la realizzazione di una MESH triangolare rappresentativa della superficie rilevata

DATI IN ORDINE SPARSO → info assenti fino alla creazione del modello e triangoli della struttura

Se sono necessarie più scansioni in diversi punti di vista si deve realizzare una operazione di allineamento = ALIGNMENT delle mesh triangolari → possibile se si ha un certo grado di sovrapposizione tra le scansioni

Segmentazione → suddivisione della mesh poligonale in altre

SUB-MESH connesse tra loro chiamate regioni o features

queste regioni hanno le stesse proprietà topologiche e hanno una particolare condizione (superfici di accorzo)

7) si è ottenuto un insieme di PATCHES collegate tra loro che rappresentano la superficie dell'oggetto.

si crea il MODELLO CAD, creato automaticamente dal software e può essere esportato in vari formati per essere gestito da altri programmi (STL, STEP, IGES)

La ricostruzione matematica delle superfici si basa sull'utilizzo di funzioni parametriche come le superfici NURBS o di Bezier che dividono le superfici in patches di 4 lati ciascuna → il modello CAD creato sarà analogo a quello ottenuto con questa suddivisione

④ CREAZIONE DEL MODELLO MATEMATICO (CAD)

Modello matematico = representazione della forma geometrica del modello fisico. Viene creato terminata la fase di segmentazione in cui si è ottenuta la suddivisione.

Se si deve effettuare un'operazione di COLLAUDO non servono le 4 fasi poiché si conosce il modello matematico delle componenti → la RE è meno dispendiosa.

Avendo un oggetto fisico e conoscendo di questo il suo modello CAD, in questo caso la RE consiste nell'acquisizione dati e pre-elaborazione dati (prime 2 fasi della RE) → si ottiene una nuvola di punti del componente di produzione.

con la RE si hanno soluzioni che permettono di acquisire in termini rapidi una densità di punti superiore a quella acquisibile manualmente.

A parità di tempo permette di collaudare molti più punti in un tempo ciclo rapido (diversi minuti), non richiede grosso intervento dell'operatore

Invisita si ha una mappe colorate in cui si evidenzia se l'errore supera la tolleranza

SCANSIONE = Acquisizione continua delle coordinate di punti in un volume di lavoro definito

↓
i movimenti della macchina sono determinati dalla sonda che si muove su una superficie

↓
Così si cerca di rilevare un n° di punti necessario ad ottenere la migliore approssimazione della superficie

DIGITALIZZAZIONE = rilevazione di alcuni punti su un elemento fisico i cui valori nominali nel piano della macchina sono già definiti e memorizzati nel codice che guida la macchina di misura

↓
Rileva un n° di punti minimo significativo e sufficienti per l'operatore o per un software di controllo per la ricostruzione della geometria della superficie con programmi di disegno CAD opportunamente modificati

Distinzione digitalizzata / dispositivi scanner

↓
diversità di approccio al problema della determinazione della matematica delle forme

DIGITALIZZAZIONE

Rilevando un n° minimo significativo di punti e relazioni topologiche (complanarità, circolarità, rettilinearità) sono imposte dall'esterno

SCANSIONE

Si rileva un n° di punti necessario per la migliore approssimazione delle linee che descrivono la forma reale dell'oggetto

Sistemi costituiti da:

DISPOSITIVO DI ACQUISIZIONE

(con o senza contatto) costituito da sonde sensori che rilevano i punti

APPARATO DI TRASPORTO E SUPPORTO

permette la posizione del trasduttore nello spazio. Questo fornisce le info sulla posizione e orientamento del sistema e consente il rilievo di oggetti di varie forme e dimensioni

ATTREZZATURA AUSILIARIA

(di sostegno del pezzo) costituita da tavola rotante dove collocare e fissare l'oggetto con angolo di rotazione riconosciuto automaticamente dal software di gestione del sistema

DISCRETE TOUCH PROBE E BRACCI ARTICOLATI MANUALI

- Apparecchiature discrete touch probe → sistemi manuali con una serie di bracci meccanici connessi tra loro e con sensori
- Bracci antropomorfi → costituiti da una struttura articolata a 5 gradi di libertà alla cui estremità è installata una sonda a contatto. Struttura montata su una piattaforma di sostegno su cui appoggia l'elettronica necessaria alla comunicazione con il PC che elabora i dati

Dispositivo → positionato vicino all'oggetto da digitalizzare e dopo aver stabilito a caso un sistema di riferimento per lo strumento, l'operatore manualmente fa la rilevazione dei punti.

Corse di lavoro: varia da qualche cm a meno di 1 m

2 possibilità di misura

POINT AND CLICK

controlla ogni singola acquisizione

SEMIAUTOMATICA

plumette all'operatore di muovere il braccio facendo scorrere il sensore in modo continuo sulla superficie mentre un timer programmabile gestisce l'intervallo di tempo tra un rilevamento e il successivo

Noti il riferimento nello spazio e la lunghezza dei bracci degli ENCODERS registrano le coordinate dei punti acquisiti un braccio e fisso rispetto ad un oggetto rigido non mobile, l'altro braccio ha una sonda ad un'estremità.

La sonda tocca un punto nell'oggetto e viene registrata la posizione dei bracci e dalla loro lunghezza si conosce la posizione della sonda.

Operazione molto lenta e l'intervento umano limita la densità massima di punti acquisibili.

Esempio braccio articolato

Modello Microscribe di Immersion: piccolo robot che rileva la posizione dei punti, non ha motori, l'operatore deve muoverlo a mano. Cambiano le articolazioni, e comunque necessario un allineamento più facile si che il sistema di misura sia allineato con il pezzo. I pezzi vengono quotati sulla base di un sistema di

8.2) VALUTAZIONE linea l_2

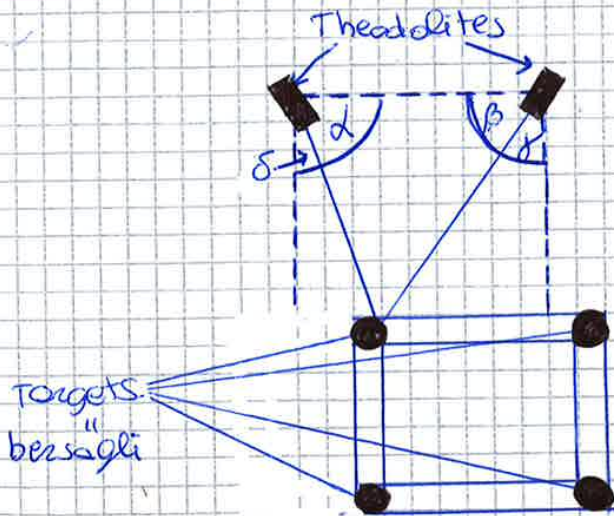
8.3) INTERSEZIONE l_1 e $l_2 \rightarrow$ Trovo $x(0)$ e $y(0)$

Questa si chiama **PROCEDURA 3 2 1** \rightarrow 3 individua il piano
 \rightarrow 2 " la linea
 \rightarrow 1 " il punto
 prevede la funzione di un piano, definizione asse x e un punto

THEODOLITES E TOTAL STATIONS

- Sistemi utili per zilevamento di punti su oggetti di grandi dimensioni
- Forniscono buona accuratezza, ma velocità di acquisizione molto bassa (1 punto al minuto)
- Applicati limitatamente all'ingegneria civile (realizzazione di piante tecniche)

SISTEMA A THEODOLITE \rightarrow zileva i punti sfruttando le indicazioni di encoder digitali che misurano gli angoli $\alpha, \beta, \delta, \delta'$ che definiscono la posizione dei bersagli disposti prima della digitalizzazione



TOTAL STATIONS

\rightarrow funzionamento simile ai dispositivi a theodolite ma forniscono risultati migliori riguardo l'accuratezza ($\pm 0,8 \text{ mm su } 100 \text{ m}$) e la velocità d'azione (1 punto al secondo)

\rightarrow composti da diodo che emette un raggio laser che colpisce uno ad uno i bersagli disposti dall'operatore vicino ai punti che si vogliono zilevare

\rightarrow forniscono l'elevazione degli encoder e l'azimut (angoli) del bersaglio, il **RANGE FINDER** fornisce la distanza tra il bersaglio e il diodo

SISTEMI NON A CONTATTO

VANTAGGI: velocità di acquisizione, maneggevolezza, facilità di trasporto

DIFETTO: manca di accuratezza (i sistemi più avanzati hanno precisioni paragonabili a quelle dei dispositivi a contatto)

A seconda del dispositivo, può essere richiesta la CALIBRAZIONE del sistema e il trattamento della superficie con spray opacizzanti per limitare la riflessione

SISTEMI OTICI

• Sfruttano la cattura dell'oggetto fisico con un fascio di LUCE BIANCA o un RAGGIO LASER emessi da una sorgente

• Sono costituiti da:

- una sorgente di luce che illumina e colpisce l'oggetto
- un senso ottico che registra le info necessarie per il rilevamento di punti
- un sistema di posizionamento che permette al sistema di conoscere la posizione degli elementi e, per i sistemi portatili, che consente di conoscere la posizione assoluta di ogni parte dello strumento rispetto ad un riferimento fissato

• Molto diffusi grazie a:

- ↳ basso costo
- ↳ facilità con cui ottenere e gestire il fascio di luce bianca

• Talvolta si preferisce usare le laser per:

- ↳ esistenza di più onde elettromagnetiche che si propagano insieme interferendo tra loro
- ↳ la proprietà di non coerenza

→ SISTEMI OTICI RANGE FINDER No spiegazione

Si basano sulla proiezione di un fascio di luce bianca o laser direttamente sulle superfici da analizzare in modo che questo sia riflesso verso un elemento di ricezione (DETECTOR) che misura la distanza tra la sorgente luminosa e il sensore

• DISPOSITIVI A TEMPO DI VOLO No spiegazione → sistemi ADM = Absolute Distance Measurement

Tempo di volo = intervallo impiegato dal segnale emesso più lontano alla testa del tracciatore e misurato attraverso

Tra i sistemi di scansione a tempo di volo e a differenza di fase ci sono i **TRACCIATORI O TRACKERS** che funzionano in modo simili a quelli visti prima ma utilizzano dei **TARGETS RETROFLETTENTI** cubici o sferici (**SMR = Spherically Mounted Retroreflector**)

↓
vengono fatti scorrere manualmente lungo la superficie da scandire.

Emettitore → posto ad una certa distanza dall'oggetto, invia un segnale (raggio di luce bianca, raggio laser, onda sonora, impulso elettromagnetico) che colpendo il target è riflesso indietro verso il ricevitore

→ **SISTEMI OTTICI AD INTERFEROMETRIA** No spiegazione

INTERFEROMETRO = strumento che utilizza per le misurazioni della distanza le frange causate dall'interferenza di 2 onde (ottiche, acustiche o elettromagnetiche) che si propagano in fase.

Il funzionamento si basa su un principio fisico della descrizione dell'esperimento di Young.

ESPERIMENTO DI YOUNG:

- 1) onda monocromatica (frequenza ν costante e durata molto maggiore del periodo T) viene fatta passare attraverso una lastra in cui c'è un foro con dimensioni pari alla lunghezza d'onda λ . Per il fenomeno della diffrazione, l'onda uscente è sferica.
- 2) L'onda attraversa una lastra con due fenditure poste a distanza s tra loro ed equidistanti dal centro che si comportano come 2 sorgenti coerenti (hanno differenza di fase costante) con la fase iniziale.
- 3) Le 2 onde interferiscono tra loro e creano delle bande chiare o scure a seconda che ci sia interferenza positiva o negativa.
- 4) Le **FRANGE** sono visibili su uno schermo posto a distanza D dalla lastra con i 2 fori.
 In base al valore di D cambia la distanza x tra una banda scura e una chiara. Il valore di D si ottiene da:

$$D = \frac{sx}{\lambda}$$

PHASE STEPPING → elaborate molte immagini in serie per ogni vista e ognuna è caratterizzata da un PATTERN diverso, creato attraverso la traslazione della griglia di protezione nel suo piano.
Risultato: modifica del passo delle frange

• OLOGRAFIA CONOSCOPICA No spiegazione

si basa sulla proprietà dei cristalli birifrangenti che permette di dividere il raggio incidente in

Raggio primario

che si propaga ad una velocità variabile

Raggio secondario

che si propaga a una velocità variabile che dipende dall'angolo di incidenza

sono caratterizzati da una differenza di fase

Se sono monocromatici, la loro interferenza dà luogo ad un'immagine caratterizzata da frange concentriche con periodo proporzionale alla distanza tra sensore e superficie inquadrata

Periodo delle frange → misurato elaborando il segnale dal CCD lineare su cui cade l'immagine formata dall'ottica del sensore.

Illuminazione monocromatica dell'area inquadrata

viene fatta attraverso un DIODO LASER che proietta coassialmente all'ottica di misura un punto luminoso sulla superficie da misurare

PROCEDIMENTO:

1) Esaminare la figura (pattern) interferenziale prodotta da 2 fasci di onde monocromatiche coerenti derivati dallo stesso sorgente

Il 1° detto FASCIO DI SEGNALE O RAGGIO OGGETTO, dopo aver irradiato il pezzo che si vuole rappresentare viene diffuso in modo da colpire un mezzo di registrazioni (es. una lastra fotografica)

Il 2° detto FASCIO DI RIFERIMENTO arriva direttamente sulla lastra in modo da originare, interagendo con il primo, una figura interferenziale (OGRAMMA) che rimane fissa sulla lastra

→ SISTEMI OTICI A TRIANGOLAZIONE

Si fissa un sistema di riferimento locale che ha origine nel centro del target (o in un punto di deflessione del raggio utilizzato come segnale)

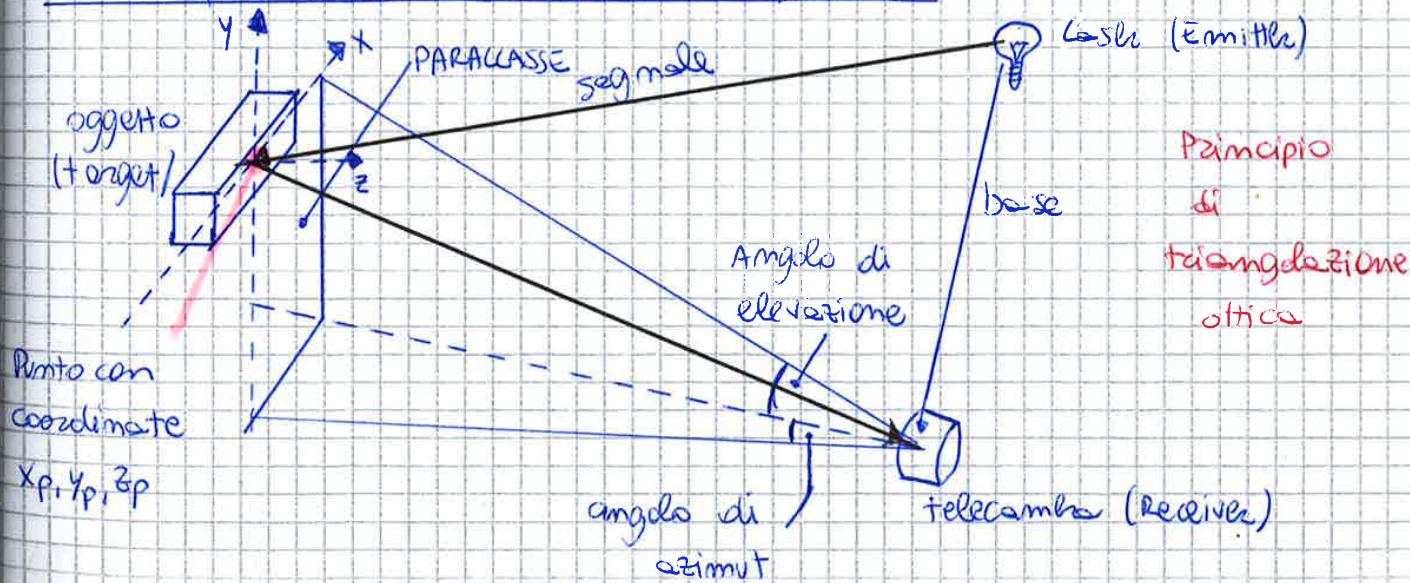
Asse z ortogonale e uscente dalla superficie del bersaglio

Asse y diretto verso l'alto

Asse x forma una linea destra

La posizione lungo x e y è stabilita attraverso ENCODERS che misurano l'angolo di elevazione e di azimut

Nota gli angoli e la misura della base che dipende dalla geometria e dalle dimensioni di ogni dispositivo attraverso l'applicazione di semplici formule trigonometriche → si ricava il valore della distanza tra il dispositivo di scansione e la superficie



Sorgente Laser → bassa o bassissima potenza che con un'ottica opportuna produce una lama di luce coerente e monocromatica rilevata da una o due CCD (Dispositivo ad accoppiamento di carica) e successivamente elaborata con un processo di triangolazione. Il raggio laser rende quasi nullo l'angolo di divergenza e genera lame di spessore limitato e costante su grandi profondità di proiezione.

Luce laser è monocromatica → è possibile mettere davanti al CCD un filtro passa-banda centrato sulla frequenza di emissione del

superfici piane) e i patterns deformati.

Deformazione → dipende dalla posizione del dispositivo rispetto all'oggetto quindi prima dell'acquisizione ci deve essere la calibrazione del sistema.

La telecamera risale alle coordinate x, y, z grazie alle deformazioni della fringe. Osservando il reticolo proiettato sulla superficie da un angolo diverso a quello di proiezione l'immagine appare deformata → Cambia la posizione apparente delle linee in proporzione alla distanza (h) della superficie da un ideale piano mediano di allineamento (S)

Spostamenti angolari (α) sono misurati sull'immagine dal punto (O) (posizione della telecamera).

Estrazione dell'immagine tridimensionale da quella della griglia deformata avviene attraverso la misura della fase del reticolo.

Algoritmo di estrazione della fase → opera sull'immagine con reticolo liberanda dal contrasto dello sfondo attraverso il confronto con l'immagine senza reticolo.

MAPPA O IMMAGINE TRIDIMENSIONALE (ottenuta dal software)

↓
si ottiene confrontando il reticolo deformato con quello originale ricavato durante la calibrazione e ha come riferimento la distanza dell'oggetto dalla telecamera, misurata per triangolazione se ci sono modifiche da fare nello stampo l'operatore interviene e lo modifica, si aggiorna il modello matematico dello stampo.

Sistemi di acquisizione 3D **OTTICO TOPOMETRICI** a luce strutturata

ATOS e **ATOS II** sono sensori che rilevano forme nello spazio, basati sul principio della messa in fase di due immagini provenienti da 2 telecamere ad una distanza tra loro nota e convergenti verso un punto con un angolo noto.

Immagini acquisite dalle telecamere → avviene grazie alla proiezione sulla porzione dell'oggetto da digitalizzare inquadrato di pattern a passo e geometria noti



Con 2 telecamere si riducono gli errori

SISTEMI FOTOGRAMMETRICI DIGITALI → basati sul principio della **STEREOSCOPIA**

- immagini bidimensionali di un punto sulla superficie di un oggetto (prese da punti e angolazioni diversi) sono COMBinate tra loro con dei marker → permettono di calcolarne la posizione nello spazio e restituire le coordinate in formato ASCII XYZ.

Metodologia **LOCAL QUALITY CONTROL** → basata su caratteristiche di:

- totale trasportabilità
- svincolo da sistemi di allineamento
- elevata precisione di acquisizione
- merge dei sistemi fotogrammetrici digitali (serie Tz4top).

Applicazione di MARKER sui punti che si vogliono controllare o applicazione a mano di segni

il sistema consente di → registrare le coordinate nello spazio
 → generare una lista di punti ASCII XYZ
 e confrontarli con modelli matematici di allineamento in ambienti software che generano report e statistiche

I sistemi di scansione fotogrammetrica digitale per il controllo qualità e le collaudi definiscono, con le riprese fotografiche, fori, asole e profili e generare per queste entità dei file ASCII XYZ da confrontare con i modelli matematici di allineamento 2D e 3D

- **SISTEMI ACUSTICI** No spiegazione

Possono essere:



Funzionamento → analogo a quelli ottici:

onde sonore vengono dirette verso la superficie dell'oggetto da allineare. Le onde riflesse vengono captate da un ricevitore e il segnale viene analizzato per fornire le info per la costruzione della nuvola di punti

SLICING → permette di acquisire contemporaneamente le info riguardo la forma interna ed esterna dell'oggetto mediante i sistemi della serie **CSS Capture Geometry Inside**

1) Pezzo da analizzare → viene inglobato in un particolare cesina di allineamento formando un parallelepipedo

CAP. 5 FABBRICAZIONE ADDITIVA

È una tecnologia innovativa che rende possibile la produzione, in poche ore e senza l'uso di utensili, di oggetti di geometria complessa direttamente dal modello matematico dell'oggetto realizzato su un sistema CAD tridimensionale.

È necessaria la disponibilità del modello matematico del componente realizzato su un sistema CAD tridimensionale.

CICLO DI FA:

- ① Si parte dal MODELLO TRIDIMENSIONALE DELL'OGGETTO
- ② Con interfaccia STL si trasforma il modello CAD in una SERIE DI TRIANGOLI generati in modo intelligente
- ③ Si entra nella MACCHINA DI FABBRICAZIONE ADDITIVA dove c'è una parte software e una hardware

Parte software

Parte hardware

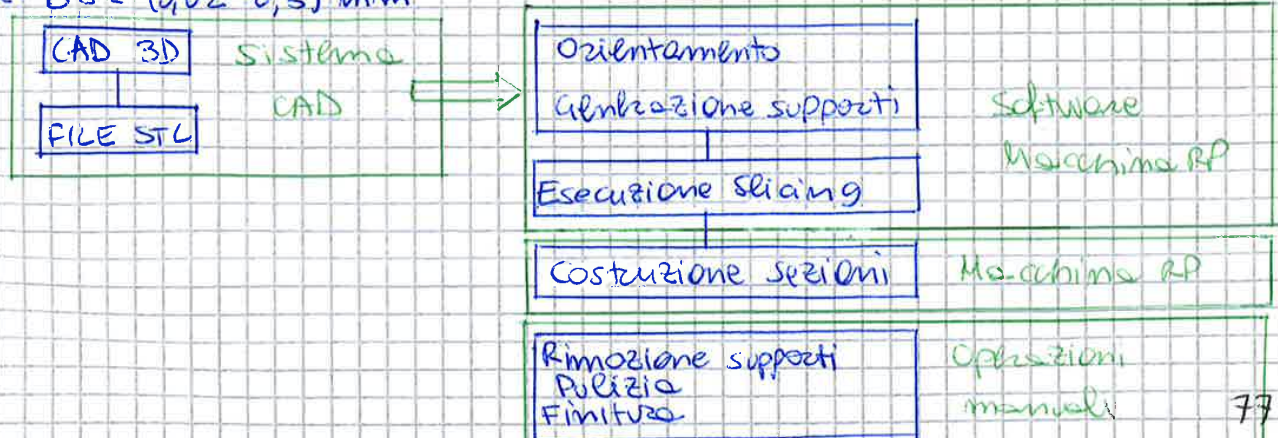
Operatore ORIENTA IL COMPONENTE e vengono GENERATI I SUPPORTI, se sono necessari

- ④ Si esegue lo SLICING ovvero intersezione del modello con i supporti. Viene eseguito dopo aver messo i supporti in modo che ogni pezzo li abbia.
- ⑤ Alla fine si ha una serie di supporti e si COSTRUISCONO LE VARIE SEZIONI in modo da costruire l'elemento fisico. Le sezioni vengono sovrapposte una per volta in modo che aderiscano l'una con l'altra.
- ⑥ Operazioni manuali: RIMOZIONE SUPPORTI, PULIZIA, FINITURA

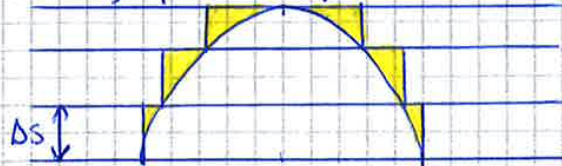
2 tipi di ERRORI:

- 1) File STL → ERRORE DI FACELLING (STL): per minimizzarlo si pone un errore $E_c = 0,01 \text{ mm}$
- 2) Slicing → ERRORE DI SLICE CASE (SLICING): lo spessore della sezione

$$e = DS = (0,02 - 0,3) \text{ mm}$$

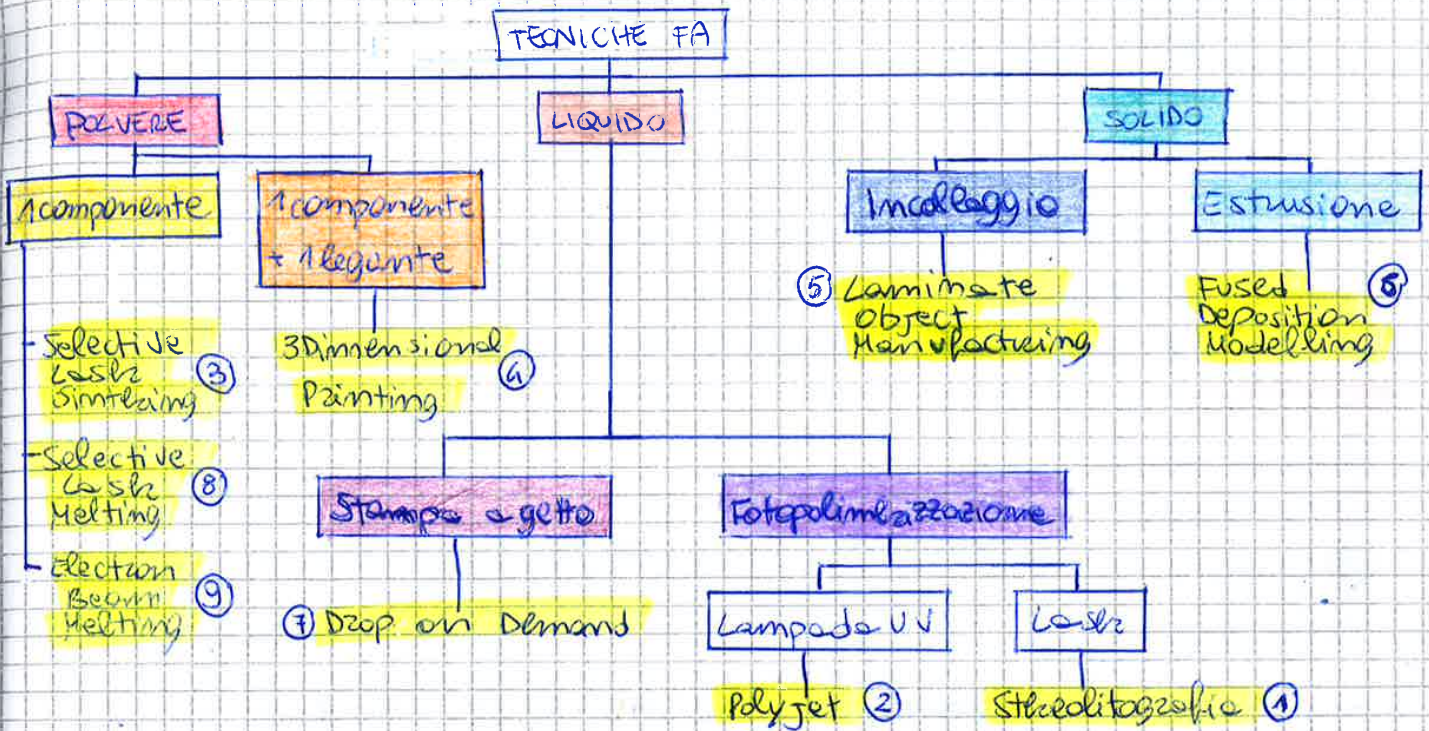


Esecuzione dello slicing per la definizione delle sezioni di costruzione



Parti in giallo
→ eccessi di materiale

CLASSIFICAZIONE DELLE TECNICHE



Le prime apparse sul mercato sono quelle basate sui **LIQUIDI** che sfruttano 2 principi:

- **Fotopolimerizzazione** → prevede inscaldamento di una resina mediante l'effetto di una radiazione tramite il **LASER** o la **LAMPADA UV**
Fotopolimero = resina liquida che si indurisce con il laser o la lampada

- **Stampa a getto** → prevede una testina di stampa

I **SOLIDI** si basano su:

- **Incollaggio**

- **Estensione** → è quella della stampa 3D. Stratasys ha sviluppato il brevetto iniziale, da questo sono stati sviluppati metodi low-cost

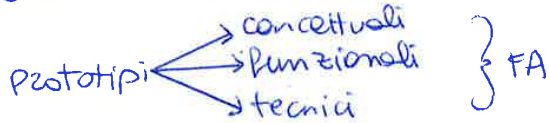
I sistemi basati sulla **POLVERE** sono i più interessanti, possono essere:

- **Unico componente**
- **1 componente e 1 legante**

④ Preserie → tutti i prodotti limiti, i prototipi di preserie sono fatti su tecnologie definitive e su prodotti definitivi

Riassumendo...

BENI DI LARGO CONSUMO:



Preserie + produzione → tecnologia di produzione definitiva

SETTORI CON PRODUZIONI LIMITATE E/O FORTEMENTE PERSONALIZZATE:

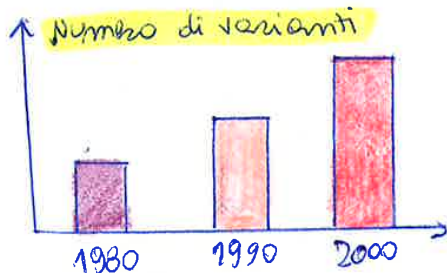
- Racing
 - Premium auto
 - Aerospaziale
 - Biomedicale (protesi)
- } Prototipi
} Produzione Definitiva ⇒ FA

Se volumi produttivi sono piccoli, in cui è complesso ammortizzare le attrezzature di produzione, FA può servire sia x fare prototipi sia x produzione definitiva.

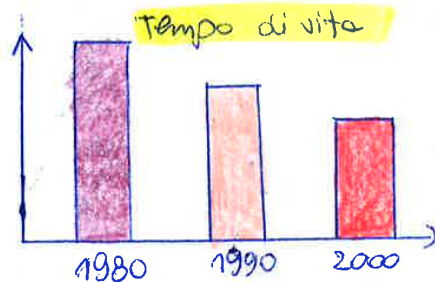
Per prodotti metallici e di alluminio si usa la lega TiAl: il problema è che il Titanio Alluminio non si riesce a trovare, questa lega si trasforma per tre sinterizzazione additive.

La FA può diventare l'unica disponibile tecnica di produzione.

MOTIVAZIONE ECONOMICA

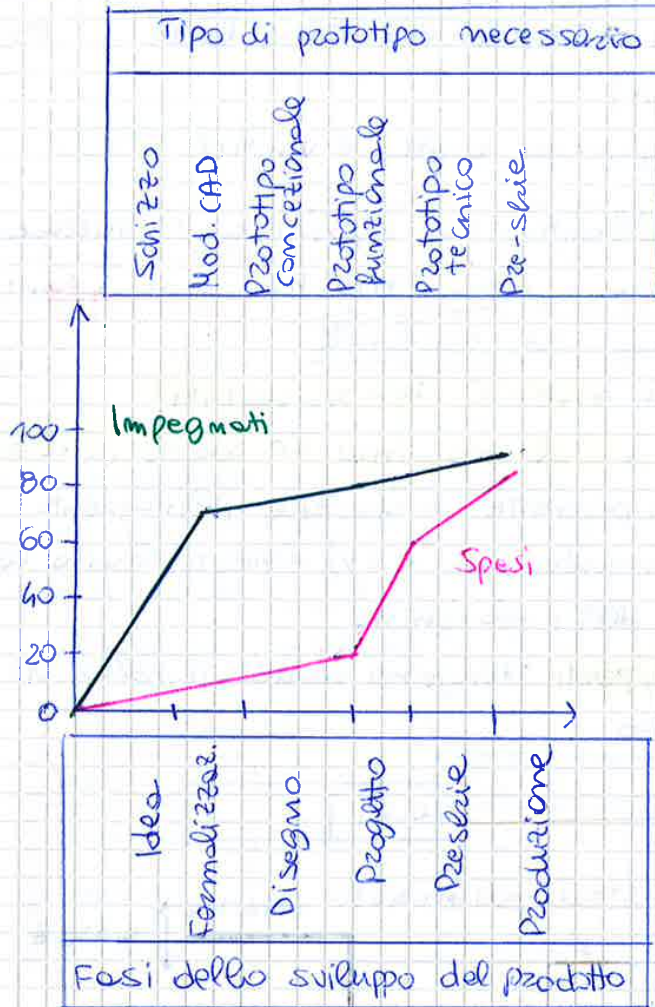


Per i beni di largo consumo, oggi è cambiato il no di varianti di un prodotto rispetto al 1980, infatti è cresciuto



Il tempo di vita si è ridotto (non è la durata del bene ma è il periodo di permanenza del prodotto nel mercato): all'inizio un prodotto restava sul mercato più tempo, oggi si ha meno tempo rispetto al passato per ammortizzare l'investimento, si deve recuperare l'investimento fatto in un tempo minore

% dei costi



tempo non si induce direttamente la parte interna ed esterna una strato per strato.

Si ottiene la **GREEN PART** che è un pezzo parzialmente solido, ha una protezione meccanica sufficiente per poter essere manipolato.

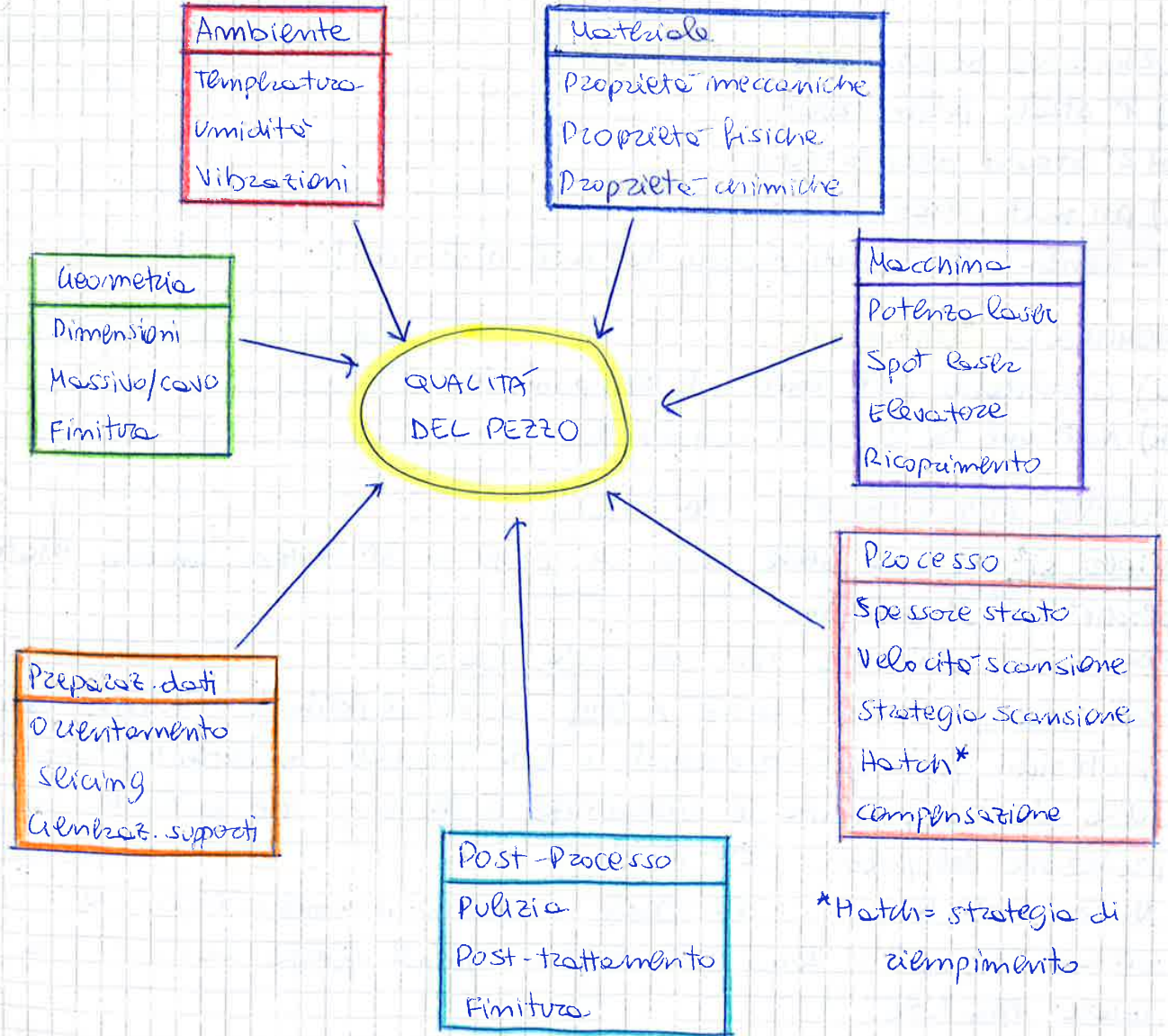
Poi si fa un 2° trattamento: **FASE B: POST INTERVENTO IN FORNO UV**: si ottiene la **RED PART** completamente solidificata. Così si ha un pezzo solido che può essere usato per la prototipazione.

VANTAGGI → tecnica estremamente precisa in termini di tolleranza dimensionale: ecco perché è molto diffusa.

3D system ha difeso molto i suoi brevetti ed è l'unico produttore che fa queste cose, quindi fa il prezzo che vuole.

APPLICAZIONI: prototipi funzionali e tecnici per tutti i settori industriali

VARIABILI CHE INFLUENZANO LA QUALITÀ DEL PEZZO:



*Hatch = strategia di riempimento

La luce solare induce il fotopolimerico.

Operatore a contatto con la resina → protetto con camicia, guanti, mascherina e occhiali

- SCA 5000
 - SCA 7000
- } macchine + vecchie

stereolitografia ha come applicazioni → prototipi anche nel settore biomedicale, zacing in particolare le applicazioni sono:

- Modelli per stampi in silicone
- Test a ero dinamici
- Analisi dei flussi
- Particolari con dettagli molto precisi
- Progetti di stile
- Verifiche di assemblaggio

VANTAGGI STEREOLOGRAFIA

- spessore dei layer (strati) = 0,05-0,025 mm (minimizza l'effetto scala)
Si ottengono dettagli accurati
- Precisione del modello ottenuto al di sotto di 0,1 mm
- Semi trasparenza del materiale che consente la vista interna degli oggetti realizzati

LIMITI STEREOLOGRAFIA

- Materiale termodurente
- Supporti dello stesso materiale del pezzo
- Impossibilità di sfruttare completamente l'asse z (per la presenza dei supporti)

FOTOPOLIMERI = resine sensibili alla radiazione ultravioletta

Caratteristiche:

- elevata reattività alla radiazione laser
- bassa energia di attivazione
- limitate volatilità e tossicità
- viscosità stabile
- basso ritiro
- ridotta sensibilità all'umidità
- buone proprietà meccaniche dopo la polimerizzazione

È importante conoscere le proprietà chimico-fisiche del materiale per coprire il campo di applicazione del prodotto

CAP. 7 ALTRE TECNICHE FA

• **POLYJET** → Fotopolimerizzazione a lampade UV

Presenta 2 lampade UV, una testina di inchiostro, il movimento e lungo l'asse x.

Presenta 1536 ugelli → 768 materiale del pezzo
 → 768 materiale di supporto

$Y_{max} = 200 \text{ mm}$

$\Delta y = \frac{200}{768} = 0,26 \text{ mm}$ a sezione lungo l'asse y

Produttore: Objet Geometries (Israele)

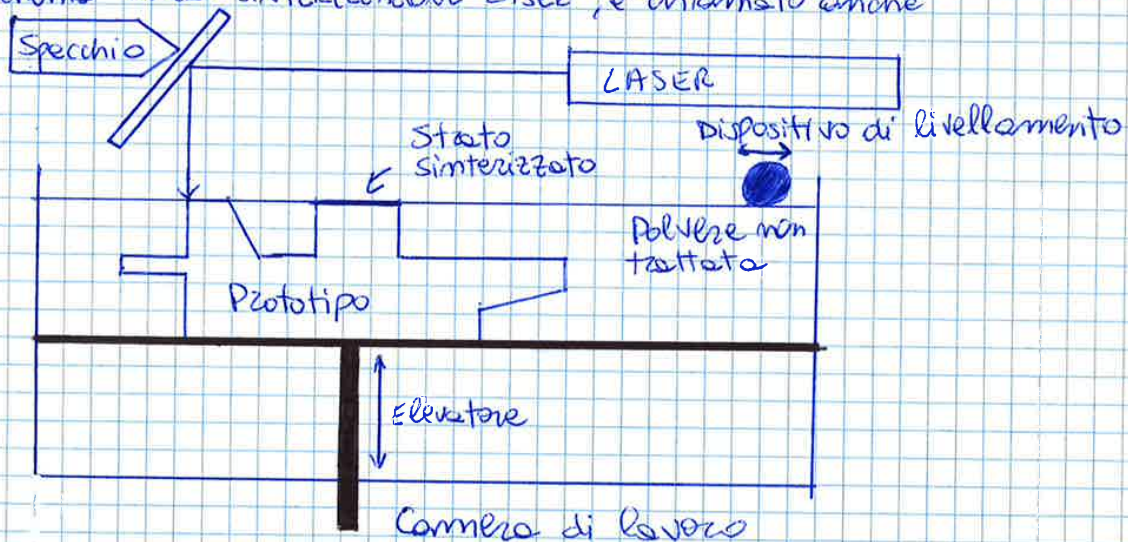
Materiale: polimero

Risoluzione di stampa: $X = 600 \text{ dpi}$
 $Y = 300 \text{ dpi}$
 $Z = 1270 \text{ dpi}$

2 tipologie di stampanti 3D: QUADRA e QUADRA TEMPO

• **SELECTIVE LASER SINTERING** → a polvere, con il componente
 È lo schema della SINTERIZZAZIONE LASER, e' chiamato anche

**DIKANDA
ESANE**

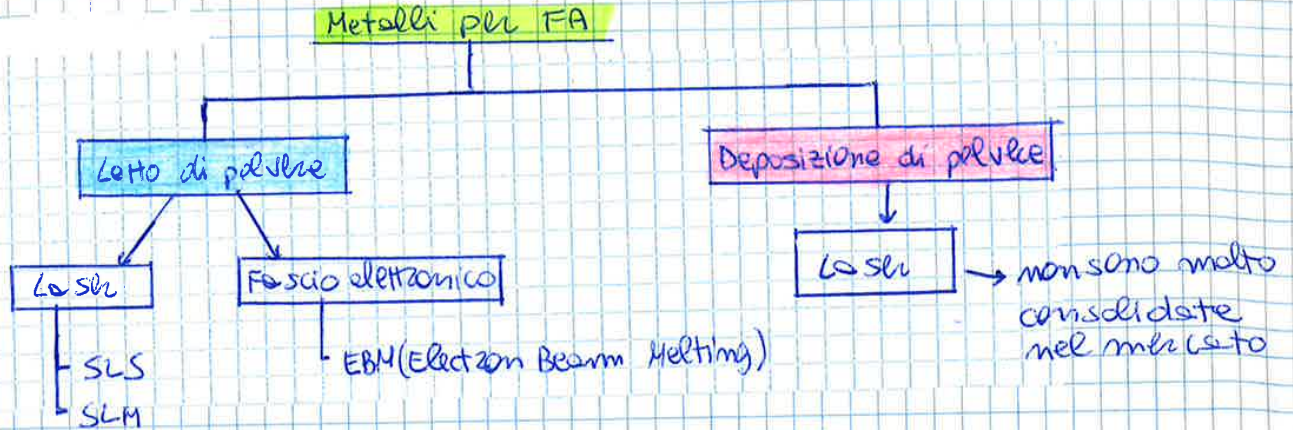


La sorgente e' fissa e la proiezione LASER viene effettuata attraverso un sistema a SPECCHI.

Sotto c'è una CAMERA DI LAVORO con un ELEVATORE che si muove lungo l'asse z. Il RULLO (dispositivo di livellamento) stende la POLVERE e la compiame regolarmente, il RAGGIO LASER porta a fusione le particelle e le aggrega in modo selettivo per realizzare la sezione desiderata. Caldata la sezione, l'elevatore scende, si deposita un secondo strato di polvere sul cello e il processo continua fino alla produzione del prototipo come pezzo definitivo.

DIFFERENZA CON STEREO LITOGRAFIA: il laser in questo caso realizza l'intera sezione, la sezione viene portata a fusione interamente.

SVANTAGGIO: quando si finisce la lavorazione, si ha un blocco di polvere a 180°C e ci vorrà un sacco di tempo per raffreddarsi.



Le tecniche di produzione additiva per i metalli non sono tecniche di lavorazione dei metalli. Si fa un processo preliminare (fusione o deformazione plastica), sono quindi complementari alle tecniche di lavorazione di metalli, non alternative.

Attori presenti sul mercato per quanto riguarda i metalli sono:

- **Eos** (Germania) → è l'attore di riferimento, per fare pezzi di produzione industriale. Ha acquisito aziende che facevamo e stava sul mercato.
- **3D Systems** (USA)
- **Renishaw** (Regno Unito)
- **Concept Laser** (Germania) → si avvicina a EOS, è la 2ª scelta
- **Sisma** (Italia) → ha dimensioni più piccole

Le misure per questi produttori di un sovrametallo sono 0,5-0,8 mm.

EOS ha una serie di brevetti che costano molto alla tecnologia.

① **Letto di polvere - EBM** → prodotto da **ARCAM** (Svezia)

Il sovrametallo da lasciare per questo è di 1-2 mm.

Sia per quello a laser sia per il letto di polvere si ha necessità di supporti e limiti sul volume di lavoro.

② **DEPOSIZIONE DI POLVERE:**

- potenzialmente assenza di limiti sul volume di lavoro
- forti limiti sulle grandezze legate all'impossibilità di gestire i supporti
- possibilità di variare il materiale durante la deposizione
- sovrametalli: 2-5 mm

costruzione scende di un layer e il ciclo si ripete.

VANTAGGI:

- Assenza di supporto → questo facilita la fase di produzione del filo e poi di pulizia e finitura del pezzo
- Possibilità di sfruttare l'intero volume di lavoro in quanto man e il supporto e i pezzi sono separati dalla polvere
- Stampa a colori → non monocromatico ma con tutte le sfumature

LIMITI:

- Materiale non definitivo (gesso) → si possono fare esclusivamente modelli concettuali
- Per dare consistenza al pezzo è necessario impilarlo con della resina epossidica perché la consistenza con il collante è molto bassa

PRODUTTORE: Z Corporation (USA)

MATERIALE: Gesso LEGANTE: colla a base di acqua

Modellettori concettuali di Z Corporation:

- Z 400 monocromatico → 1 cartuccia
- Z 406 a colori → 4 cartucce
- Z 810 → n° cartucce 6

• **LAMINATE OBJECT MANUFACTURING** → a caldo, per incollaggio

PRODUTTORI:

- ① Cubic (USA)
- ② Kiva (Giappone)

MATERIALE:

- Carta
- Termoplastici

Si tratta di produzione di oggetti laminati: impiega fogli di carta particolare tagliata secondo la slice voluta e incollata alla precedente.

VANTAGGIO: ha dimensioni elevate per il volume di lavoro

Supporto: costituito da carta in eccesso e il post trattamento è molto delicato perché bisogna estrarre il materiale in eccesso con attrezzi particolari

• **FUSED DEPOSITION MODELLING (FDM)**

È la tecnologia su cui sono basate anche le stampanti a basso costo.

PRODUTTORE: Stratasys (USA)

MATERIALI: termoplastici