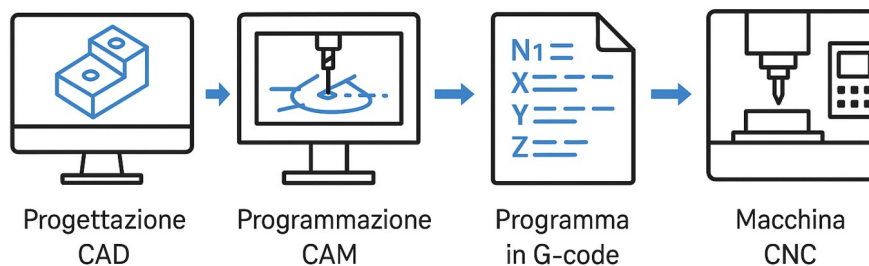


# Introduzione al controllo numerico

Il controllo numerico (in inglese *Numerical Control*, abbreviato NC, o più comunemente CNC – *Computer Numerical Control*) è una tecnologia che consente di automatizzare il movimento e le operazioni delle macchine utensili tramite comandi codificati in forma numerica. Questi comandi, generalmente scritti in un linguaggio standard come il G-code, controllano con estrema precisione i movimenti degli assi della macchina, la velocità di avanzamento, la rotazione del mandrino e altre funzioni operative.

L'introduzione del controllo numerico ha rivoluzionato la produzione industriale, permettendo di ottenere **pezzi complessi con elevata precisione, ripetibilità e produttività**, riducendo al contempo l'intervento diretto dell'operatore. Le macchine CNC sono oggi diffuse in molteplici settori: dall'aerospaziale all'automotive, dall'industria degli stampi alla gioielleria.

## Toolchain tipica nell'uso delle macchine CNC



L'utilizzo di una macchina a controllo numerico avviene attraverso una **catena di strumenti software e hardware**, detta **toolchain**, che va dalla progettazione del pezzo alla sua effettiva realizzazione. Le fasi principali sono:

### 1. Progettazione CAD (Computer-Aided Design)

Il processo inizia con la realizzazione del modello 2D o 3D del pezzo tramite un software CAD (come **Openscad**, AutoCAD, Fusion 360, ..). In questa fase si definiscono le geometrie, le tolleranze e le caratteristiche funzionali del componente.

### 2. Programmazione CAM (Computer-Aided Manufacturing)

Il modello CAD viene importato in un software CAM, che genera i **percorsi utensile** (*toolpaths*) necessari per realizzare il pezzo. Qui vengono definite le strategie di lavorazione (sgrossatura, finitura, foratura, ..), la scelta degli utensili e i parametri di taglio.

Il software CAM produce quindi il **programma in G-code**, interpretabile dal controllo numerico della macchina.

### 3. Simulazione e verifica

Prima dell'esecuzione reale, il G-code viene simulato per verificare la correttezza delle traiettorie, evitare collisioni e ottimizzare i tempi di lavorazione. **Questo passaggio è cruciale per garantire sicurezza e ridurre scarti.**

### 4. Trasferimento del programma alla macchina CNC

Il file G-code viene inviato al **controllo numerico** della macchina, tramite rete, **USB** o altri mezzi. Il **controller** interpreta le istruzioni e comanda i motori degli assi, gli utensili e gli altri sistemi ausiliari.

### 5. Esecuzione e monitoraggio

L'operatore prepara la macchina (fissaggio del pezzo, impostazione degli utensili, azzeramenti) e avvia il programma. Durante la lavorazione, il controllo CNC esegue i movimenti con precisione micrometrica, **monitorando parametri** come velocità, coppia e temperatura.

### 6. Controllo qualità e feedback

**Il pezzo finito viene misurato e controllato, manualmente o tramite sistemi di misura automatici (CMM).** I risultati possono essere usati per correggere o ottimizzare i parametri del ciclo di lavorazione.

In sintesi, il controllo numerico rappresenta il cuore dell'automazione nella produzione meccanica moderna, e la relativa **toolchain — dal CAD al CAM, fino al CNC — costituisce il flusso digitale integrato che permette di trasformare un'idea progettuale in un manufatto fisico con elevata efficienza e precisione.**

## Destinatari del corso

Utenti senza precedenti esperienze tecniche o informatiche, interessati a introdursi nel mondo delle macchine utensili a controllo numerico, delle stampanti 3D e dei sistemi laser.

## Durata complessiva

100% del tempo formativo (equivalente, ad esempio, a 150 ore ma scalabile).

Introduzione al controllo numerico.....	1
Uso base del computer e ambiente Windows 11.....	3
Sicurezza generale e specifica delle macchine digitali.....	3
Fondamenti di meccanica e mecatronica (GRBL 1.1).....	4
Uso pratico delle macchine CNC (fresatrici, pantografi).....	4
Uso pratico della macchina Laser (CO <sub>2</sub> o diodo).....	5
Uso pratico della stampante 3D (FDM).....	6
Modellazione e progettazione CAD/CAM (strumenti open source).....	7
Progetto finale e verifica delle competenze.....	7
Sintesi delle percentuali (indicativo).....	8
Metodologia.....	8
Competenze in uscita.....	8

# Uso base del computer e ambiente Windows 11

**Peso sul totale: 15%**

## **Obiettivi**

- Acquisire sicurezza nell'uso del PC e di Windows 11
- Gestire file e cartelle, installare software e driver
- Comprendere i formati di file tipici della fabbricazione digitale

## **Contenuti**

- Interfaccia e gestione base di Windows 11
- File system e salvataggio organizzato dei progetti
- Installazione di software open source (*OpenSCAD, Candle, LaserGRBL, Ultimaker Cura*)
- Nozioni base di sicurezza informatica e backup

## **Attività pratiche**

- Installazione guidata dei software di lavoro
- Gestione di file di progetto (.stl, .nc, .gcode)

## **Introduzione al controllo numerico**

# **Sicurezza generale e specifica delle macchine digitali**

**Peso sul totale: 10%**

## **Obiettivi**

- Acquisire consapevolezza delle norme di sicurezza di laboratorio
- Conoscere i rischi associati a CNC, laser e stampanti 3D
- Applicare comportamenti corretti durante l'uso e la manutenzione

## **Contenuti**

- Sicurezza generale in laboratorio: DPI, comportamento e segnaletica
- Rischi elettrici, meccanici e termici
- Procedure di emergenza e primo intervento
- Sicurezza specifica:
- **CNC:** rischio meccanico e proiezione trucioli
- **Laser:** radiazioni ottiche, ventilazione e protezioni visive

- **Stampante 3D:** surriscaldamento, fumi e movimentazione materiali
- Verifica pre-uso e manutenzione preventiva

### **Attività pratiche**

- Simulazione delle procedure di accensione, spegnimento e arresto d'emergenza
- Check-list di sicurezza personalizzata per ogni macchina

### **Introduzione al controllo numerico**

## **Fondamenti di meccanica e mecatronica (GRBL 1.1)**

**Peso sul totale: 15%**

### **Obiettivi**

- Comprendere il funzionamento meccanico ed elettronico delle macchine CNC e affini
- Conoscere i principi base di motori, guide, assi e controllori

### **Contenuti**

- Struttura e componenti delle macchine a controllo numerico
- Motori passo-passo, driver e schede GRBL
- Sensori di finecorsa, homing e controllo degli assi
- Concetti di G-code e logica di movimento numerico
- Panoramica dei software di controllo (**Candle**, LaserGRBL, Cura)

### **Attività pratiche**

- Osservazione di una macchina reale e identificazione dei componenti
- Simulazione del movimento assi su software

### **Introduzione al controllo numerico**

## **Uso pratico delle macchine CNC (fresatrici, pantografi)**

**Peso sul totale: 20%**

### **Obiettivi**

- Operare su una mini CNC in sicurezza
- Impostare i parametri di lavorazione e avviare una semplice fresatura
- Gestire i file G-code tramite *Candle*

## **Contenuti**

- Configurazione iniziale della macchina CNC con GRBL 1.1
- Settaggio zero pezzo e calibrazione assi
- Parametri di taglio: velocità, profondità, passate
- Gestione utensili, materiali e morsetti
- Sicurezza specifica: protezioni, aspirazione trucioli, DPI visivi e uditivi

## **Attività pratiche**

- Simulazione di fresatura in *Candle*
- Esecuzione reale di incisione o taglio su materiali teneri

## **Introduzione al controllo numerico**

# **Uso pratico della macchina Laser (CO<sub>2</sub> o diodo)**

**Peso sul totale: 15%**

## **Obiettivi**

- Utilizzare un sistema di incisione/taglio laser in sicurezza
- Gestire potenza, velocità e profondità del fascio
- Comprendere il flusso *progetto* → *G-code* → *macchina*

## **Contenuti**

- Componenti e funzionamento del sistema laser
- Impostazioni di potenza e velocità nel software *LaserGRBL*
- Parametri per materiali diversi (legno, acrilico, cartone, pelle)
- Sicurezza specifica: radiazioni ottiche, schermi, filtri, ventilazione forzata

## **Attività pratiche**

- Esercitazioni con *LaserGRBL*: incisione su superfici piane
- Gestione delle impostazioni e analisi dei risultati

## **Introduzione al controllo numerico**

# Uso pratico della stampante 3D (FDM)

Peso sul totale: 15%

## Obiettivi

- Comprendere il funzionamento di una stampante 3D FDM
- Gestire il software di slicing (*Ultimaker Cura*) e la generazione del G-code
- Stampare modelli semplici in sicurezza

## Contenuti

- Struttura e funzionamento della stampante 3D
- Tipologie di materiali (PLA, PETG, ABS) e relative temperature
- Parametri di slicing: layer, riempimento, velocità
- Sicurezza specifica: alte temperature, ventilazione, movimentazione del materiale

## Attività pratiche

- Slicing e stampa di un oggetto di test (logo, cubo, testo)
- Calibrazione piano e manutenzione base

## Introduzione al controllo numerico

# **Modellazione e progettazione CAD/CAM (strumenti open source)**

**Peso sul totale: 10%**

## **Obiettivi**

- Creare modelli 2D/3D semplici per fresatura, incisione o stampa
- Generare il G-code partendo dal modello CAD
- Integrare il flusso di lavoro digitale completo

## **Contenuti**

- Principi di modellazione parametrica
- Esportazione dei modelli in formato .stl o .dxf
- Conversione in G-code per *Candle*, *LaserGRBL* o *Cura*
- Ottimizzazione dei percorsi utensile

## **Attività pratiche**

- Progettazione di un modello personalizzato
- Simulazione e test di produzione reale

## **Introduzione al controllo numerico**

# **Progetto finale e verifica delle competenze**

**Peso sul totale: 5%**

## **Obiettivi**

- Integrare le competenze acquisite in un progetto completo
- Dimostrare autonomia nell'uso di almeno una tipologia di macchina

## **Attività**

- Progettazione e realizzazione di un manufatto (CNC, laser o 3D a scelta)
- Presentazione del flusso CAD → CAM → produzione
- Discussione delle scelte tecniche e di sicurezza

## **Introduzione al controllo numerico**

## Sintesi delle percentuali (indicativo)

Titolo sintetico	% Tempo totale	Ore (su 150)
Uso base del computer (Windows 11)	15%	20
<u>Sicurezza generale e specifica</u>	10%	15
Fondamenti di meccanica e mecatronica (GRBL)	15%	22
Uso pratico della macchina CNC	20%	24
Uso pratico della macchina Laser	15%	24
<u>Uso pratico della stampante 3D</u>	<b>15%</b>	<b>22</b>
Modellazione CAD/CAM (Freecad, Cura)	10%	15
Progetto finale e verifica	5%	8
	<b>Totale</b>	<b>150</b>

### Introduzione al controllo numerico

## Metodologia

- Lezioni frontali brevi, con linguaggio semplice e supporti visivi
- Laboratori pratici su macchine reali
- Didattica per competenze e progressione graduale
- Schede operative, video-tutorial e checklist di sicurezza
- Verifica finale su progetto pratico

### Introduzione al controllo numerico

## Competenze in uscita

Al termine del percorso i partecipanti saranno in grado di:

- Utilizzare un computer con Windows 11 e software di fabbricazione digitale
- Comprendere la logica di funzionamento di CNC, laser e stampanti 3D
- Operare in sicurezza nel laboratorio di fabbricazione
- Gestire l'intero flusso di lavoro: progettazione, generazione G-code, produzione
- Realizzare semplici lavorazioni in autonomia su macchine digitali

### Introduzione al controllo numerico