

## Sistemi digitali per la protesica dentale<sup>1</sup>

1



Progettazione CAD di un dispositivo.

➤ La tecnologia CAD CAM è una tecnica computerizzata che permette di ottenere un oggetto tridimensionale a partire da un disegno vettoriale eseguito al computer.

I due acronimi **CAD** e **CAM** stanno, rispettivamente, per **Computer Aided Design** e **Computer Aided Manufacturing**, ovvero **disegno assistito dal computer** e **produzione assistita dal computer**.

Nata negli anni '60 del secolo scorso, questa tecnologia è oggi utilizzata nell'industria per la produzione di un'infinità di oggetti ed è prepotentemente entrata anche in campo dentale, nel quale è diventata in brevissimo tempo uno degli standard più diffusi.

I primi esperimenti CAD CAM nel settore dentale iniziarono negli anni '70, ma i primi sistemi commercializzati hanno dovuto aspettare più di un decennio per vedere la luce: si trattava di **Cerec** e **Procera**. Da allora, la tecnologia CAD CAM ha visto un rapido e costante sviluppo commerciale e tecnologico, che l'ha portata in meno di 30 anni ad ottenere una diffusione capillare, se non del sistema nel suo complesso, almeno di alcune sue parti.

 **Espansione online**  
Cerec

Il sistema Cerec è stato uno dei primi CAD CAM per il settore odontoiatrico.



Alcuni laboratori si limitano alla realizzazione dei modelli virtuali, delegando a grossi centri di produzione la realizzazione dei dispositivi finiti. In questi casi, l'invio dei file dei modelli virtuali avviene via Internet, mentre la restituzione dei dispositivi fisici si serve di corrieri o altre forme di spedizione.

<sup>1</sup> Progetto didattico editoriale Odt. Francesco Acquaviva.

➤ Scopo e opportunità del sistema CAD CAM sono attualmente la progettazione e la produzione di **sottostrutture** e **strutture protesiche** da finalizzare in vari nuovi materiali. Rispetto alle tecniche tradizionali, tutte queste lavorazioni avvengono con maggiore **velocità produttiva**, estrema **economicità**, valida **estetica** e notevole **resistenza**.

### ■ Acquisizione delle immagini

➤ Così come il **modello tradizionale** permette all'odontotecnico di realizzare la protesi su un duplicato del paziente, nella tecnologia CAD ci si serve di **modelli virtuali**, ovvero riproduzioni digitali dell'anatomia del paziente.

Per ottenere un modello tradizionale, si è visto che la tecnica fondamentale è quella di rilevarne l'impronta nel cavo orale; per ottenere un modello virtuale, sono invece possibili diverse soluzioni, spesso in combinazione tra loro, tra le quali le principali sono la **scansione** e l'acquisizione di **dati DICOM**.

### Scansione

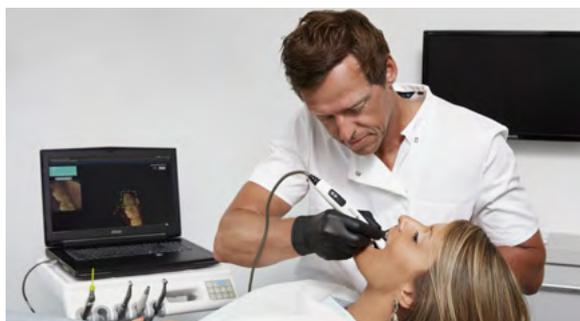
La **scansione** è il metodo principale per la realizzazione dei modelli virtuali utilizzati nella tecnica CAD. È realizzata con appositi macchinari (**scanner**), molto diversi tra loro anche a livello di funzionamento. Possiamo suddividere i tipi di scansione in tre categorie principali:

- **Scansione del cavo orale.** Gli **scanner intraorali** sono la nuova frontiera sulla quale si confrontano i produttori di tecnologie digitali destinate al dentale. Esistono infatti già oggi diversi tipi di scanner intraorali in grado di “leggere” la conformazione morfologica delle varie parti del cavo orale, ma al momento non hanno ancora raggiunto la qualità e l'economicità necessarie per soppiantare completamente il tradizionale rilevamento dell'impronta. Infatti, persistono alcuni problemi come la lettura della morfologia sottogengivale delle preparazioni e il superamento delle alterazioni morfologiche dovute alla presenza dei liquidi orali (sangue, saliva), per il superamento dei quali le soluzioni non si presentano ancora pienamente soddisfacenti dal punto di vista pratico. È comunque opinione condivisa che nel prossimo futuro le rilevazioni intraorali acquisiranno sempre maggiore importanza.
- **Scansione dell'impronta.** In questo caso lo **scanner** “legge” l'**impronta** e realizza direttamente un **modello virtuale** (cioè un disegno 3D) nello stesso modo in cui lo farebbe il gesso, cioè riproducendo in positivo ciò che l'impronta ha “letto” in negativo nel cavo orale. Questo

sistema si sta sviluppando soprattutto perché permette agli operatori di saltare diverse fasi operative, soprattutto la colatura del modello, risparmiando non solo sui passaggi di lavoro e sui materiali, ma anche evitando il **tragitto studio-laboratorio** nei casi in cui essi siano situati in luoghi diversi. L'impronta può infatti essere scansionata direttamente nello studio clinico e, tramite Internet, spedita come file ad un centro di fresatura lontano anche migliaia di chilometri.

Resta indispensabile che, soprattutto nei casi delle impronte per protesi fissa, l'impronta stessa risulti precisa e perfettamente detersa e asciutta, poiché in caso contrario il modello virtuale risulterebbe impreciso.

- **Scansione del modello.** È la tecnica più diffusa di acquisizione delle immagini. Con questo sistema ad entrare nello **scanner** è un **modello** (in gesso o altro materiale) ottenuto da un'**impronta tradizionale**. Il vantaggio, rispetto alle altre tecniche, è che il tecnico dispone di un modello reale e può intervenire prima della scansione per correggerne le imprecisioni. Inoltre, l'impiego di **sistemi di scomposizione** (monconi sfilabili sistemi pindex ecc.) gli permette di procedere alla scansione anche di singole parti, che possono così essere rilevate con maggiore precisione dallo scanner. Per contro, il passaggio aggiuntivo (impronta - modello - modello virtuale) può anche essere esso stesso causa di imprecisioni, in funzione delle alterazioni volumetriche dei materiali coinvolti (contrazione del materiale da impronta, espansione del gesso).



**Scansione intraorale.** Il clinico registra direttamente in bocca la conformazione dell'arcata che viene convertita direttamente in un modello virtuale da un computer al quale è collegato lo scanner intraorale.



**Scansione dell'impronta.** Il modello virtuale è ottenuto dalla scansione di un'impronta generalmente in elastomero. Alcuni scanner prevedono già la possibilità di scansionare le impronte dual arch in un'unica soluzione.



**Scansione del modello.** Dopo aver realizzato il modello con tecnica tradizionale, lo si scansiona per ottenere il modello virtuale.



#### Espansione online

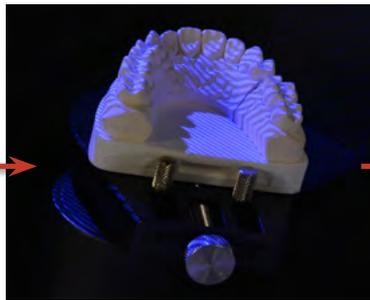
Identica Hybrid scansione doppia impronta



Qualunque sia il tipo di scansione eseguita, il suo risultato è un **modello virtuale**, cioè un disegno in tre dimensioni che riproduce fedelmente ciò che è stato scansionato (cavo orale, impronta, modello ecc.).

## Sistemi digitali per la protesica dentale

4



Indipendentemente dal sistema di scansione, il risultato finale è sempre un modello 3D sul quale verrà progettato il dispositivo.

## Sistemi di scansione

➤ I sistemi di scansione, sulla base di **reticoli predefiniti**, permettono il rilievo automatico di una superficie ignota e velocizzano il processo di acquisizione delle coordinate dei punti, arrivando a memorizzare oltre 1000 punti al secondo.

## Glossario

**Reverse Engineering** (in italiano, *ingegneria inversa*) – È un processo che consiste nell'analisi di un oggetto allo scopo di produrre un nuovo dispositivo o programma che abbia un funzionamento analogo, eventualmente migliorando l'originale o realizzando un secondo oggetto in grado di interfacciarsi con il primo.

Gli **scanner** di scansione vengono generalmente classificati in **sistemi a contatto** e **sistemi senza contatto** (scanner a luce strutturata - scanner laser), a vario titolo adatti a garantire le prestazioni in termini di tolleranze dimensionali richieste per le applicazioni più sofisticate della **Reverse Engineering**.

Possiamo quindi distinguere:

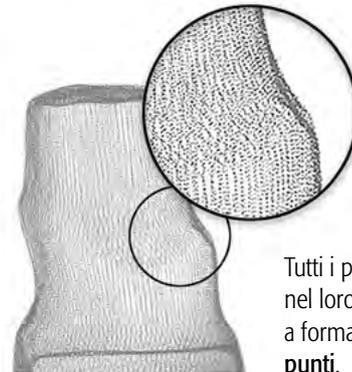
- **sistemi a contatto**;
- **sistemi senza contatto**:
  - **scanner a luce strutturata**
  - **scanner laser**;
- **scanner intraorali**.

Le **fasi** fondamentali comuni a tutte le tecnologie di scansione sono:

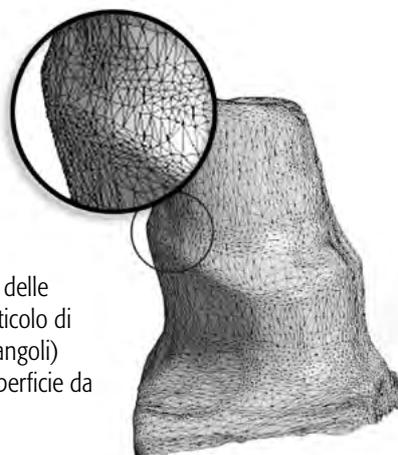
- **Acquisizione dei dati** (scansione): l'oggetto da scansione viene rilevato attraverso lo scanner, che lo "tocca" su tutta la sua superficie (con il sistema **a contatto**), oppure proiettando un **pattern** o un **raggio laser** (a seconda del sistema adottato dallo scanner). Tutte queste rilevazioni (migliaia) vengono convertite ognuna in un **singolo punto** e, nel loro insieme, vanno a costituire una **nuvola di punti**, come in un quadro pointillista.
- **Triangolazione e costruzione della mesh** (telaio di punti). Unendo tra loro i vari punti della nuvola attraverso delle linee, si ottiene un "telaio" di poligoni (quasi sempre, **triangoli**) la cui area rappresenta minuscole porzioni della superficie dell'oggetto scansionato.
- **Creazione del modello 3D** (file STL) ed esportazione/rendering del file per l'uso richiesto (CAD). L'**elaborazione geometrica** della **mesh** realizza il **disegno 3D (shade)** che riproduce l'oggetto scansionato. Ovviamente, questo sarà tanto più preciso quanto più risulterà elevato il numero di punti della nuvola. Il tutto viene quindi convertito in un file (generalmente, **STL – Standard Triangulation Language**) che può essere interpretato dal software CAD come un oggetto tridimensionale.



Come in un **quadro pointillista**, lo scanner registra una serie di **punti** che corrispondono al momento in cui il sistema di rilevazione ha incontrato la superficie da rilevare.



Tutti i punti registrati nel loro insieme vanno a formare la **nuvola di punti**.



Collegando i punti con delle linee, si formano un reticolo di poligoni (in genere, triangoli) che costituiscono la superficie da rilevare (**mesh**).

Elaborazione geometrica della mesh (**shade**), che permette di ottenere il modello virtuale sul quale verrà realizzato il dispositivo.



## Sistemi digitali per la protesica dentale

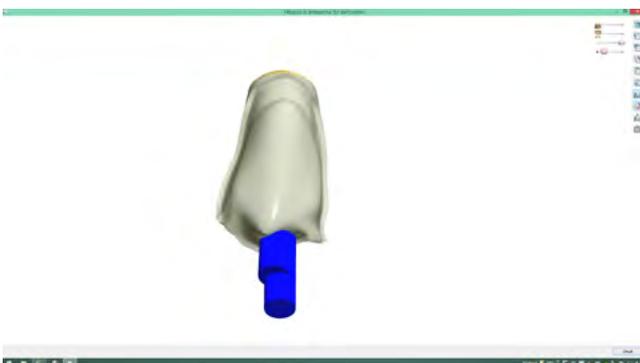
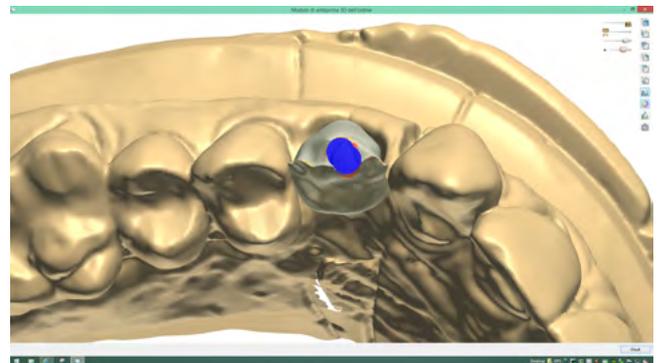
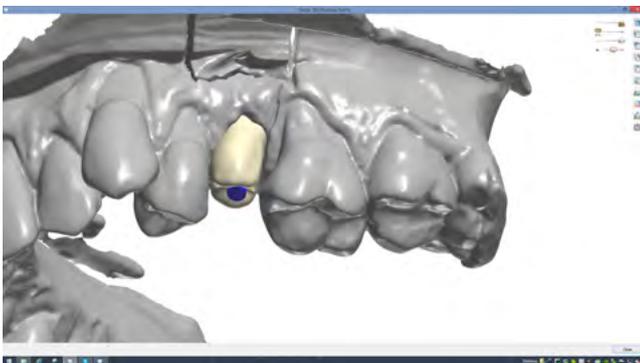
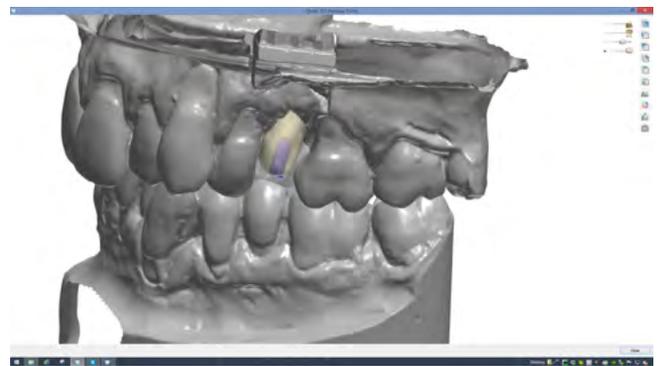
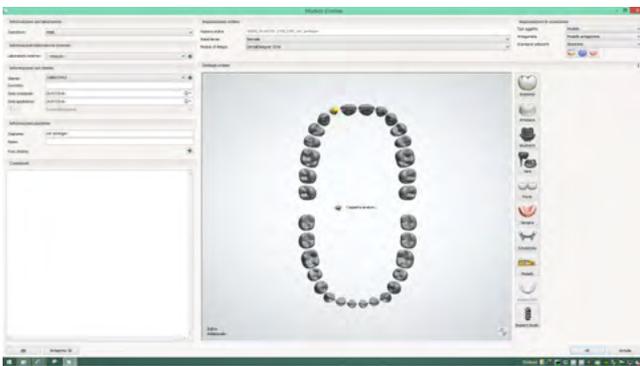
## ■ CAD

Una volta ottenuto il **modello virtuale**, il dispositivo protesico viene **progettato** al computer utilizzando un **software di disegno CAD**.

L'acronimo **CAD (Computer-Aided Design**, ovvero progettazione assistita dall'elaboratore) indica il settore dell'informatica volto all'utilizzo di tecnologie software per supportare attività di progettazione (design) di manufatti sia virtuali che reali, avendo come obiettivo la creazione di modelli, soprattutto 3D, del manufatto da produrre, che può essere un dispositivo protesico, un

modello, un ausilio diagnostico ecc.

In questa fase, il lavoro viene svolto interamente al computer, definendo tipo, rapporti volumetrici, morfologia, dimensione delle connessioni ecc. tramite il programma CAD. È un procedimento di **disegno virtuale** che negli anni ha visto avvicinarsi software sempre più precisi e dalle possibilità sempre più ampie. Il file ricavato (nella maggior parte dei casi, un STL), viene poi esportato per essere processato in un altro software che lo prepara per la "produzione".



Alcuni momenti della progettazione CAD di un dispositivo protesico fisso a supporto implantare e il lavoro una volta fresato e ceramizzato.

### ■ CAM

Acronimo di **Computer-Aided Manufacturing**, il **CAM** indica una categoria di prodotti software che analizzano un modello geometrico bidimensionale o tridimensionale (nel caso specifico, il **file STL**) e generano le istruzioni per una macchina utensile a **Controllo Numerico Computerizzato (CNC)** in grado di produrre un oggetto della stessa forma specificata nel disegno 3D (cioè nel file STL creato dal CAD).

I sistemi di produzione a controllo numerico sono piuttosto numerosi: semplificando all'estremo, comunque, possiamo distinguerli essenzialmente in quelli che lavorano per **sottrazione** e quelli che lavorano per **addizione**.

Le fresatrici lavorano per sottrazione, cioè asportando del materiale da un blocco fino ad ottenere il dispositivo finito.



Il procedimento stampa 3D/laser melting avviene per addizione, depositando (o fondendo) il materiale per strati successivi, fino ad ottenere il dispositivo ultimato.

In entrambi i casi è necessaria una leggera rifinitura del materiale per eliminare i bracci di collegamento e finalizzare le strutture.



## Sistemi digitali per la protesica dentale

8

**Lavorazione per sottrazione - Fresatrici**

Le **fresatrici** lavorano per sottrazione e sono **macchine CNC** che, fino agli anni '80, erano usate soltanto per lavorazioni di alta precisione in ambito industriale. Oggi sono invece molto diffuse e vengono impiegate in quasi ogni campo della meccanica.

Si compongono principalmente di un **supporto** sul quale si monta un **blocchetto** del materiale da fresare (resina, zirconia, titanio ecc., di forma simile a una cialda) e di un **mandrino portafrese** rotante (come quello di un trapano) che può muoversi in varie direzioni, eventualmente anche inclinandosi, secondo le istruzioni di movimento definite dal **software di controllo CNC**. La fresatura del blocchetto (che viene fresato da entrambi i lati) genera **per sottrazione** l'oggetto fisico da produrre.

Supporto e fresatore possono muoversi secondo vari **assi di movimento**. Il loro movimento combinato per-

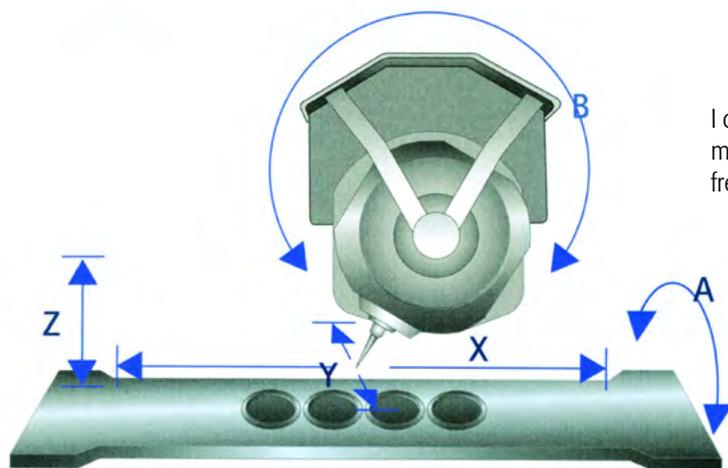
mette di ottenere tutte le forme progettate a livello CAD, asportando materiale dal blocchetto fissato sul supporto. Si tratta quindi di una **prototipazione per sottrazione**.

I fresatori hanno in genere una struttura molto solida, poiché durante la lavorazione devono assorbire senza oscillazioni le notevoli vibrazioni generate dalla **testa motorizzata**, che è quella che porta e muove il **mandrino portafrese**. Quando si procede a lavorazioni su materiali duri, con numero di giri elevato della fresa (decine di migliaia al minuto), si impiegano inoltre liquidi lubrificanti per ridurre l'attrito e il surriscaldamento di fresa e pezzo fresato.

Caratteristica principale di queste macchine è il numero di **gradi di libertà**: nel settore dentale generalmente si usano fresatrici a **4 o 5 assi**.



Fresatura di una corona singola in titanio. Si può notare come tutto il processo avvenga per sottrazione di materiale dal blocchetto iniziale.



I cinque assi di movimento di un fresatore CAM.

## Sistemi digitali per la protesica dentale

9

Una volta terminata la lavorazione (da eseguirsi su entrambi i lati del blocchetto), il lavoro viene controllato, eventualmente rifinito, quindi, se il processo di lavoro lo prevede, può essere colorato e infine sinterizzato in un apposito **sinterizzatore**, nel quale assume tutte le **caratteristiche fisiche definitive**.

Per alcuni materiali, durante la sinterizzazione, si ha una forte **contrazione** (che può arrivare fino al **25%**). In questi casi, quindi, il software CAM modifica i dati STL provenienti dal sistema CAD in modo da realizzare una **struttura sovradimensionata**, cioè “più grande” della stessa percentuale della quale si contrarrà in fase di sinterizzazione: per esempio, se la contrazione in fase di sinterizzazione si sa che sarà del 18,9% il dispositivo verrà creato il 18,9% più grande. Le due variazioni dimensionali si compenseranno a vicenda e il lavoro finito risulterà quindi delle dimensioni definite in fase di progettazione.



Fasi di realizzazione di una corona in zirconia (subito dopo la fresatura CAM e dopo la sinterizzazione). È evidente la variazione dimensionale cui è soggetta la corona durante la lavorazione.



Foto: KaVo

Il grande vantaggio della lavorazione di alcuni materiali con i sistemi CAD CAM (per esempio, l'**ossido di zirconio**) è proprio quello che, sfruttando la precisione del computer, li si può lavorare più agevolmente e più grandi in **fase bianca**, cioè quando sono ancora teneri; quindi, successivamente, li si può sinterizzare per farli diventare rigidi e resistenti senza che la contrazione di sinterizzazione interferisca con la precisione del lavoro finito.

Ovviamente, il software del computer che dirige la fresatrice dovrà riconoscere con estrema esattezza il tipo di materiale prescelto, applicando la variazione dimensionale in modo estremamente esatto. Per ottenere questo risultato, attualmente tutti i blocchetti per fresatura vengono provvisti di un **codice a barre** che una volta “letto” dalla macchina reimposta automaticamente tutte le caratteristiche definendo le variazioni del caso (tipo di frese da utilizzare, eventuale variazione dimensionale da applicare ecc.).



Blocchetti di zirconia per sistema CAD CAM con i relativi **codici QR** (possono anche essere codici a barre).

### Lavorazione per addizione – Stampanti 3D – Laser melting

Nella **lavorazione per addizione** il dispositivo viene realizzato sostanzialmente a strati: dopo aver **polimerizzato** (o **fuso**, a seconda della tecnica, dell'attrezzatura e del materiale prescelto) uno strato (**layer**) del dispositivo, la macchina passa a realizzarne lo strato successivo, che si lega a quello precedente, quindi passa a realizzare lo strato ancora successivo e così via. Con un paragone azzardato, è come se, a partire da un salame già affettato, si andasse a ricostruire, unendo una fetta all'altra, il salame intero.

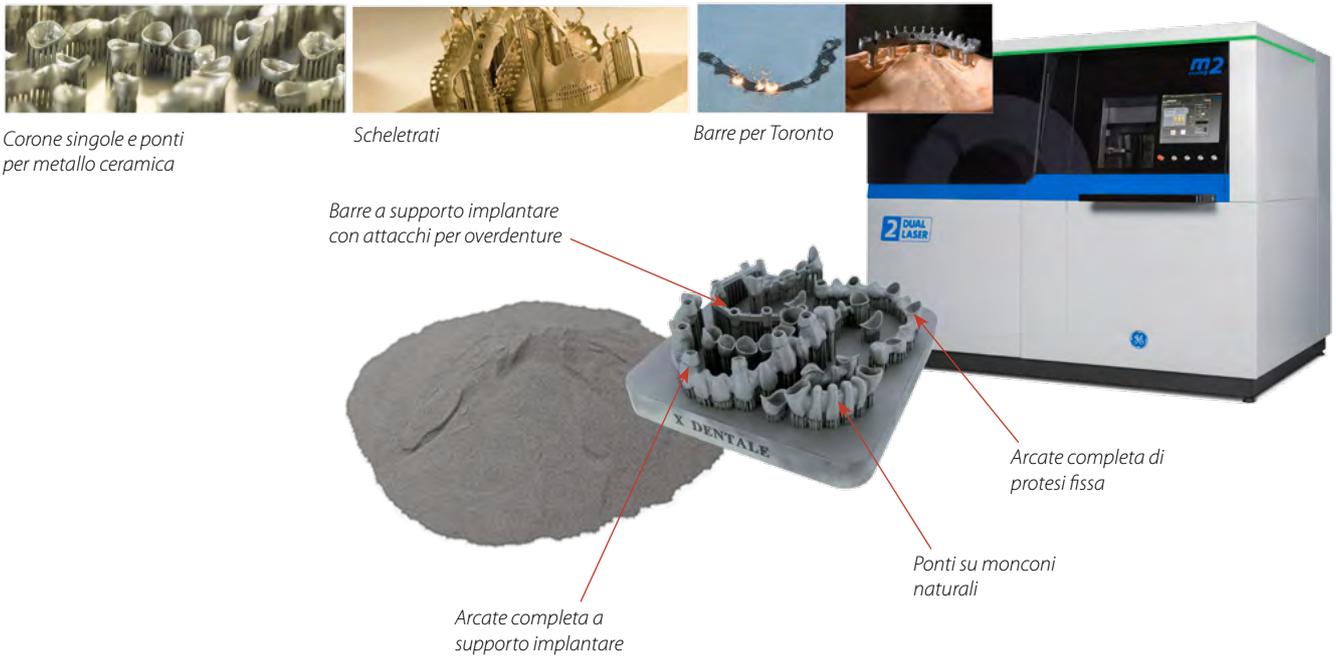
La tecnologia di queste macchine varia molto a seconda del tipo di materiale cui sono destinate.

Raggruppandole in due gruppi principali, possiamo distinguere **stampanti 3D**, destinate alla lavorazione di **resine** di vario tipo, **cera**, **materiali calcinabili** vari, **materiali plastici** ecc., e macchinari per **laser melting** che, invece, riescono a fondere strati di **polveri metalliche** originando dispositivi in leghe di vario tipo.



Con le stampanti 3D si possono realizzare una serie di dispositivi in resina materiali plastici e materiali calcinabili: **A**. dispositivi provvisori; **B**. modellazioni CAD calcinabili per la successiva fusione; **C**. ausili chirurgici di vario tipo; **D**. bite e mascherine (anche per terapie ortodontiche); **E**. modelli in resina, anche con monconi sfilabili e sistemi di articolazione; **F**. scheletrati calcinabili da fondere successivamente in metallo.

Sistemi digitali per la protesica dentale



La fusione di vari strati di polvere metallica permette di ottenere dispositivi protesici metallici di vario tipo: corone e ponti di protesi fissa, scheletrati, barre, strutture per Toronto ecc.

■ **Materiali utilizzati per le tecniche CAD CAM**

Come si è visto, la scelta dei **materiali** utilizzati è collegata al tipo di **macchine CNC** che definiscono la loro lavorazione. Di conseguenza, i tipi di dispositivi da realizzare risultano strettamente collegati sia al materiale utilizzabile per produrli che alla macchina che li produce.

Attualmente, i materiali più diffusi per le varie tecniche CAD risultano:



• Zirconia monolitica;



• Zirconia-ceramica da stratificare;

Sistemi digitali per la protesica dentale



• PMMA – provvisori



• PEEK e fibra



• Cr-Co laser melting (metalceramica)



• Disilicato di litio



• Cr- Co laser melting (protesi scheletrata)

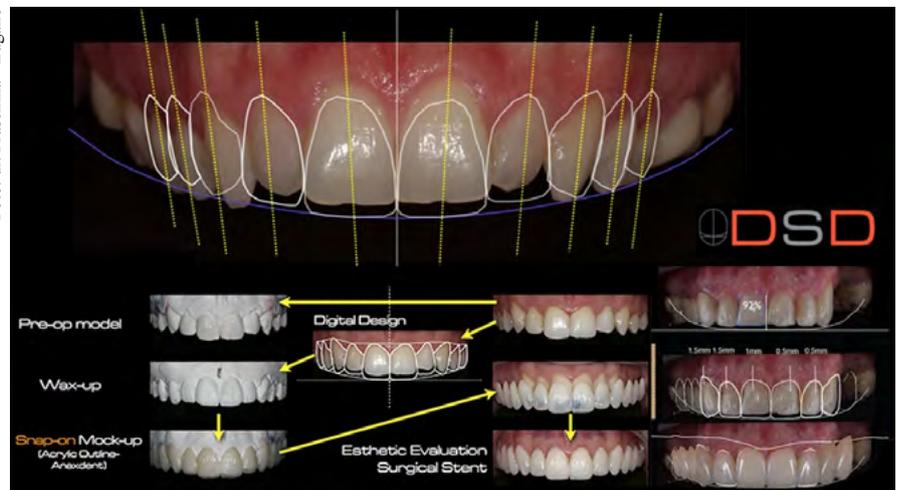


• Resine per protesi mobile fresata

È comunque probabile che, in un futuro molto vicino, queste tecnologie riceveranno un'ulteriore spinta in avanti, magari supportata da altri materiali innovativi di qualità superiore, per cui è bene capire a fondo soprattutto le **dinamiche produttive** che stanno alla base della **tecnologia CAD CAM**, piuttosto che il mero funzionamento di una singola macchina, così da non trovarsi sprovvisti delle conoscenze necessarie per far fronte in modo adeguato all'**innovazione tecnica** e alle richieste del mercato.

Tra i **principali sviluppi** che, a breve termine, è possibile riconoscere come di più probabile diffusione, figurano soprattutto quelli relativi allo **smile design**, che permette di visualizzare ed eventualmente modificare il risultato del piano di trattamento grazie a una serie di **montaggi fotografici** intrecciati con fasi di disegno e progettazione CAD, e tutta una serie di interventi facilitativi per l'**implantologia protesicamente guidata**, un protocollo **full digital** che permette di interfacciare il risultato protesico con tutte le fasi che caratterizzano il flusso di lavoro di tutti i professionisti coinvolti (odontoiatra, laboratorio, azienda implantare, radiologia ecc.) realizzando tutti i dispositivi necessari alla finalizzazione del lavoro, dalla guida chirurgica per inserire gli impianti alle dime radiologiche, ai provvisori, alle strutture definitive ecc.

Foto: dr. Fraschima - Lugano



Alcune fasi del processo di smile design.

Foto: dr. Corrado Cervi – Rivalta (RE)



Esempio di vari ausili e dispositivi per implantologia protesicamente guidata.