

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

Relazione per la prova finale
Biomateriali Metallici

Tutor universitario: Prof. Katya Brunelli

Laureando: Dalla Vecchia Martino

Padova, 13/11/2024

Classificazione generale

- Biomateriali tradizionali
- Biomateriali innovativi

Classificazione dettagliata

Eseguita sotto tre aspetti:

- Influenza dell'ambiente biologico sul materiale
- Impatto che il materiale ha sui tessuti circostanti
- Composizione chimica del biomateriale stesso



in base agli effetti
prodotti sul materiale

- biostabili
- biodegradabili

in base agli effetti
prodotti sull'organismo

- bioinerti
- biotossici
- bioattivi
- bioriasorbibili

in base alla natura
chimica

- polimerici
- metallici
- ceramici
- compositi
- di derivazione biologica

Biocompatibilità

- Non tossicità
- Non cancerogenicità
- Stabilità chimica
- Resistenza alla corrosione

Caratteristiche chiave che determinano longevità degli impianti nel corpo

- Elevata resistenza alla fatica
- Elevata resistenza all'usura
- Eccellente resistenza alla corrosione

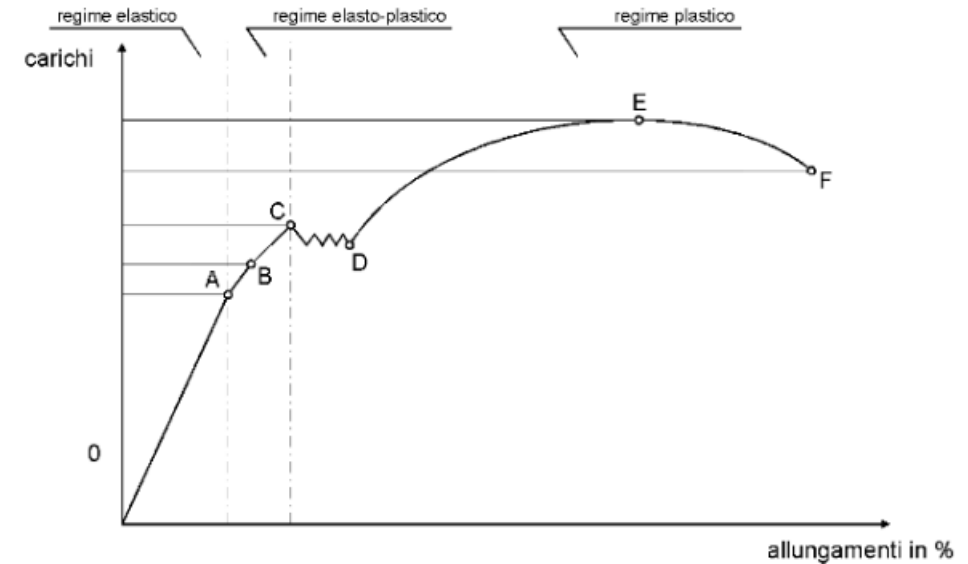
Caratteristiche dei materiali metallici

- Comportamento elasto-plastico
- Elevato modulo di Young (E)
- Elevato carico di snervamento
- Buona duttilità → Bassa fragilità
- Elevata resistenza alla fatica

Leghe metalliche più utilizzate in campo biomedico

- Acciai inossidabili
- Leghe di cobalto
- Titanio e leghe di titanio

Problematiche di biocompatibilità legate a corrosione e conseguente cessione di ioni metallici nell'organismo



Metallo	Effetto nell'organismo
Nickel	dermatiti
Cobalto	anemia
Cromo	ulcere e disturbi a carico del sistema nervoso centrale
Alluminio	epilessia e Alzheimer
Vanadio	effetti tossici

Quattro famiglie

- Acciai inossidabili Martensitici
- Acciai inossidabili Ferritici
- Acciai inossidabili Austenitici
- Acciai inossidabili Duplex

Four categories of stainless steels and typical medical applications

Material type	Application grade
Martensitic	Dental and surgical instruments
Ferritic	Very limited surgical instruments
Austenitic	A large number of non-implantable medical devices Many short-term implants Total hip replacements
Duplex	Not yet applied in the biomedical field

Martensitici e Ferritici non trovano applicazione come biomateriali d'impianto a causa di alcune loro caratteristiche:

- Non sufficiente resistenza alla corrosione
- Tendenza alla fragilità
- Proprietà ferromagnetiche

Gli Austenitici grazie alla loro maggiore resistenza alla corrosione sono gli unici utilizzati anche per impianti:

Compositions (wt%) of 316L stainless steel (ASTM F138) and variants

ASTM code/UNS No of stainless steels	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	Cu	N	C	P	S
F138/S31673	17.00–19.00	13.00–15.00	2.25–3.00	2.00	0.75	0.50	0.10	0.030	0.025	0.010
F1314/S20910	20.50–23.50	11.50–13.50	4.00–6.00	2.00–3.00	0.75	0.50	0.20–0.40	0.030	0.025	0.010
F1586/S31675 (Orthinox)	19.50–22.00	9.00–11.00	2.00–4.25	2.00–3.00	0.75	0.25	0.25–0.50	0.08	0.025	0.010
F2229/S29108	19.00–23.00	0.10	21.00–24.00	0.50–1.50	0.75	0.25	>0.90	0.08	0.03	0.010

Problematiche riscontrate con l'utilizzo degli acciai inox austenitici come biomateriali

- Scarsa resistenza alla fatica
- Scarsa resistenza all'usura
- Corrosione sotto sforzo (SCC)
- Tossicità e cancerogenicità di nichel e cromo rilasciati in applicazioni a lungo termine

Vantaggi a favore degli acciai inox austenitici usati come biomateriali

- Costo competitivo
- Facilità di lavorazione

Questi aspetti a favore degli acciai inox austenitici ha mantenuto il loro utilizzo in diversi dispositivi temporanei e mezzi di osteosintesi



L'ASTM ne indica principalmente quattro tipi utilizzabili come impianti chirurgici:

CoCr alloys used in surgical implants

ASTM standard	Nominal compositions	Cast/wrought status	Medical application
F75-98	Co-28Cr-6Mo	Cast	Permanent implant
F90-97	Co-20Cr-15W-10Ni	Wrought	Short-term implant
F562-95	Co-35Ni-20Cr-10Mo	Wrought	Permanent implant
F563-95	Co-Ni-Cr-Mo-W-Fe	Wrought	Short-term implant
F799-99	Co-28Cr-6Mo	Forged	Permanent implant
F961-96	Co-35Ni-20Cr-10Mo	Forged	Permanent implant
F1058-97	Co-Cr-Ni-Mo-Fe	Wrought	Permanent implant
F1537-94	Co-28Cr-6Mo	Wrought	Permanent implant

Queste leghe mostrano maggiore resistenza alla corrosione rispetto agli acciai inox grazie a:

- Il cobalto stesso è relativamente resistente alla corrosione rispetto ad altri metalli
- La presenza di cromo permette la formazione di un film protettivo di ossido di cromo superficiale
- L'aggiunta di alcuni elementi come per esempio il molibdeno contribuiscono a migliorare ulteriormente la resistenza alla corrosione

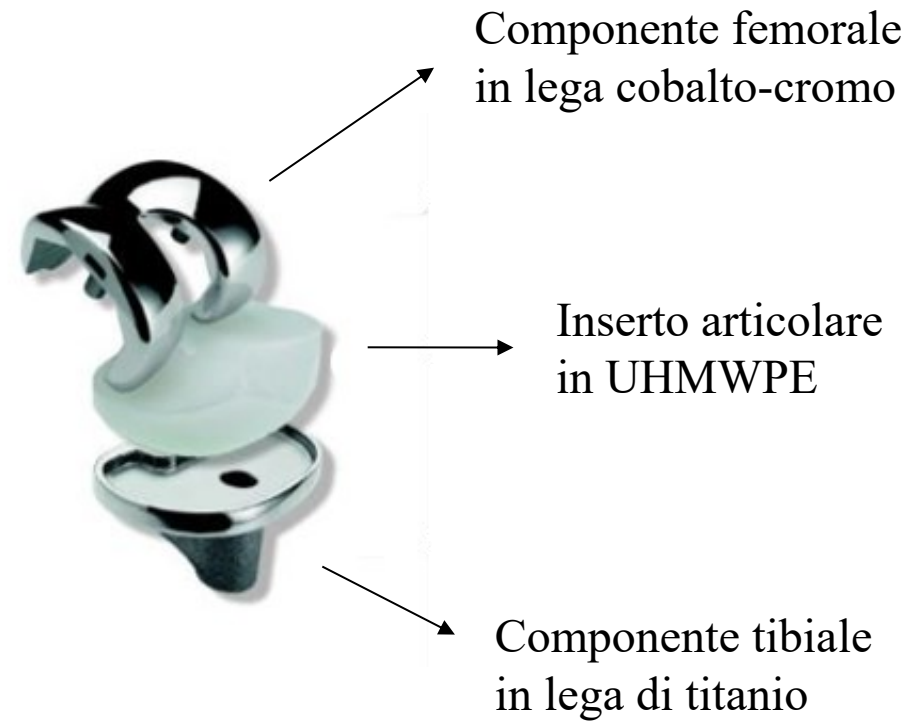
Inoltre mostrano anche migliori proprietà meccaniche e tribologiche grazie alle due strutture cristalline particolarmente impaccate del cobalto: esagonale compatta ($T < 417^{\circ}\text{C}$) e cubica a facce centrate ($T > 417^{\circ}\text{C}$)

Problema riscontrato con l'utilizzo di leghe cobalto-cromo come biomateriali d'impianto

- Stress shielding (ovvero schermatura da stress), a causa del valore del modulo di Young di queste leghe molto maggiore rispetto a quello dell'osso (220-230 vs 20-30 GPa)

Applicazioni

- Attualmente, circa il 20% delle protesi totali d'anca ha steli e/o sistemi di contatto duro su duro realizzati in leghe Co-Cr-Mo
- Le TJR (total joint replacement, ovvero sostituzioni totali dell'articolazione), come protesi di ginocchio e caviglia, sono quasi esclusivamente realizzate in leghe Co-Cr-Mo con un rivestimento in UHMWPE (polietilene ad altissimo peso molecolare)



Il titanio esiste in due forme allotropiche:

- α -Ti, con struttura esagonale compatta, stabile fino a 882°C
- β -Ti, con struttura cubica a corpo centrato, stabile oltre 882°C

Il titanio commercialmente puro (CP) è comunemente impiegato nelle applicazioni non portanti ma resistenti alla corrosione, come gli impianti dentali.

ASTM/UN standards for titanium and titanium alloys used for medical implants.

Category	ASTM	UNs no.	Materials
α microstructure	F67	R50250	CP-Ti grade 1
		R50400	CP-Ti grade 2
		R50550	CP-Ti grade 3
		R50700	CP-Ti grade 4
α - β microstructure	F136	R56401	Ti-6Al-4V ELI (currently standardized)
		R56400	Ti-6Al-4V (currently standardized)
		R56700	Ti-6Al-7Nb (not currently standardized)
		R56320	Ti-3Al-2.5V (not currently standardized)
β microstructure	F1713	R58120	Ti-13Nb-13Zr
		R58150	Ti-12Mo-6Zr-2Fe
			Ti-15Mo

Materials	N	C	H	Fe	O
ASTM grade 1	0.03	0.08	0.015	0.20	0.18
ASTM grade 2	0.03	0.08	0.015	0.30	0.25
ASTM grade 3	0.05	0.08	0.015	0.30	0.35
ASTM grade 4	0.05	0.08	0.015	0.50	0.40

Vantaggi a favore delle leghe di titanio usate come biomateriali

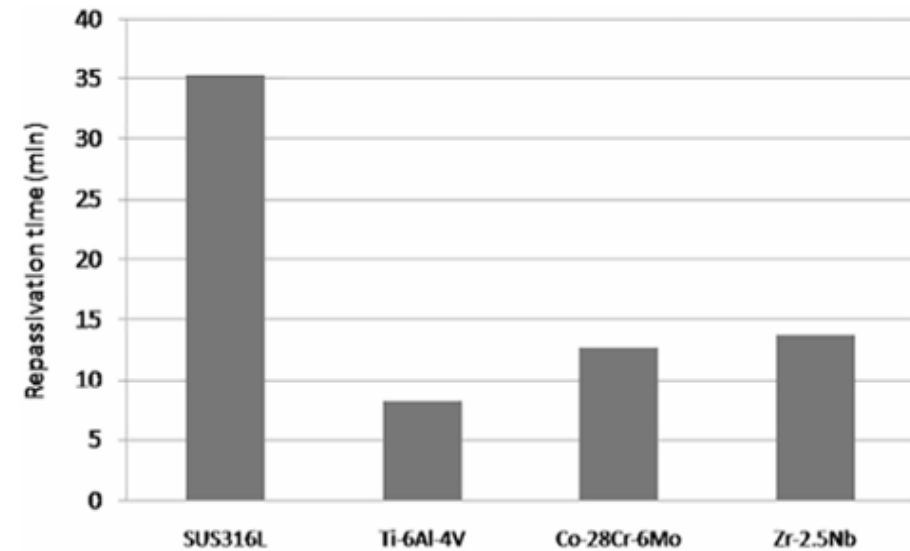
- Elevata biocompatibilità dovuta allo strato superficiale di ossido di titanio che si forma in presenza di ossigeno
- Tempo di ripassivazione minore rispetto agli altri biomateriali metallici
- Formazione di un legame diretto con l'osso dell'ospite

Leghe di titanio maggiormente utilizzate

- Gradi di titanio CP
- Lega Ti-6Al-4V
- Lega Ti-6Al-4V ELI (variante a bassissimo contenuto di interstiziali)

Problemi riscontrati con l'utilizzo delle leghe di titanio come biomateriali d'impianto

- Reazioni avverse causate dal rilascio di ioni di alluminio e vanadio nell'organismo
- Scarsa resistenza all'usura



Di recente l'attenzione si è spostata sulle leghe di titanio β ...

Vantaggi a favore delle leghe di titanio β

- Elementi di lega più sicuri rispetto a vanadio e alluminio
- Riduzione del modulo di Young

Problema riscontrato con l'utilizzo delle leghe di titanio β

- Resistenza a fatica inferiore rispetto alle leghe di titanio α - β e alle leghe di cobalto

Basic mechanical properties of titanium and titanium alloys developed for orthopedic implants

Materials	Young's modulus (GPa)	0.2% yield strength (MPa)	Ultimate tensile strength (MPa)	Elongation (%)
α microstructure				
ASTM grade 1	115	170	240	24
ASTM grade 2	115	280	340	20
ASTM grade 3	115	380	450	18
ASTM grade 4	115	480	550	15
α-β microstructure				
Ti-6Al-4V	110	860	930	10-15
Ti-6Al-7Nb	105	795	860	10
Ti-5Al-2.5Fe	110	820	900	6
Ti-3Al-2.5V	100	585	690	15
β microstructure				
Ti-13Nb-13Zr	79-84	840-910	970-1040	10-16
Ti-12Mo-6Zr-2Fe (TMZF)	74-85	1000-1060	1060-1100	18-22
Ti-15Mo	78	655	800	22
Ti-15Mo-5Zr-3Al	75-88	870-970	880-980	17-20
Ti-15Mo-2.8Nb-0.2Si-0.26O (21SRx)	83	950-990	980-1000	16-18
Ti-16Nb-10Hf	81	730-740	850	10
Ti-(10-80)Nb	65-93	760-930	900-1030	
Ti-35.5Nb-7.3Zr-5.7Ta (TNZT)	55-66	800	830	20
Ti-(70-80)Ta	80-100	350-600	600-650	10-25
Ti-Ta-Nb/Nb/Sn	40-100	400-900	700-1000	17-26
Ti-Zr-Nb-Ta	46-58	-	650-1000	5-15
Stainless steels and Co-alloys				
316L	200	200-700	500-1350	10-40
Co-alloys	240	500-1500	900-1800	10-50

Applicazioni comuni per le tre leghe metalliche analizzate

Gli acciai inossidabili, in particolare l'acciaio inox 316L e le sue varianti, vengono spesso utilizzati per:

- Strumentazione chirurgica
- Impianti ortopedici temporanei
- Cateteri e dispositivi vascolari

Le leghe di cobalto, offrono resistenza alla corrosione e all'usura, e sono comuni in:

- Protesi articolari
- Componenti di dispositivi cardiovascolari

Le leghe di titanio, tra cui la più nota Ti-6Al-4V, famose per la loro eccellente biocompatibilità, sono impiegate in:

- Impianti ortopedici permanenti
- Dispositivi dentali
- Chiodi intramidollari e placche per ossa
- Strumentazione chirurgica avanzata (come componenti di dispositivi endoscopici o robotici)

GRAZIE PER L'ATTENZIONE