

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PAVIA

FACOLTÀ di INGEGNERIA
LAUREA SPECIALISTICA
in
INGEGNERIA BIOMEDICA

Classe di Laurea specialistica: 26/S – Ingegneria biomedica

REGOLAMENTO DIDATTICO

ai sensi dell'art. 12 del D.M. 509/99

Approvato dal Consiglio di Facoltà del 10 giugno 2008

Art. 1. Denominazione del Corso di studio e classe di appartenenza

Il *Corso di laurea specialistica in Ingegneria biomedica* della Facoltà di Ingegneria dell'Università degli studi di Pavia appartiene alla Classe 26/S delle Lauree specialistiche in *Ingegneria biomedica*.

Art. 2. Norme generali

L'ordinamento e l'organizzazione degli studi del *Corso di laurea specialistica in Ingegneria biomedica* sono disciplinati, nel rispetto della libertà di insegnamento e di quanto stabilito nello Statuto dell'Università di Pavia, dai seguenti regolamenti:

- Regolamento generale d'Ateneo;
- Regolamento didattico d'Ateneo;
- Regolamento della Facoltà di Ingegneria;
- Regolamento didattico del Corso di laurea specialistica (costituito dal presente regolamento).

Art. 3. Struttura responsabile del coordinamento didattico e organizzativo

Nel rispetto delle competenze e dei criteri stabiliti dai regolamenti indicati all'art. 2, il coordinamento didattico e organizzativo delle attività del Corso di studio è assicurato dal *Consiglio Didattico di Ingegneria dell'Informazione*, nel seguito indicato semplicemente come *Consiglio Didattico (CD)*.

Art. 4. Obiettivi formativi del Corso di studio

Il corso di laurea specialistica in Ingegneria biomedica è finalizzato alla formazione di figure professionali dotate di una conoscenza approfondita degli aspetti teorici e pratici delle discipline ingegneristiche di base e di quelle caratterizzanti la classe, capaci di identificare, analizzare, formalizzare e risolvere, all'occorrenza in modo innovativo, i principali problemi, anche complessi, tipici dell'ingegneria biomedica.

L'attività formativa, nella quale particolare importanza verrà data agli aspetti metodologici, sarà organizzata in modo da fornire anche competenze ingegneristiche di frontiera per l'esercizio di attività di elevata qualificazione nei seguenti ambiti professionali:

- progetto e sviluppo di strumentazione biomedica per diagnosi, terapia, sorveglianza, riabilitazione e protesi;
- caratterizzazione, sviluppo e utilizzo di biomateriali;
- metodologie e strumenti per la gestione delle tecnologie sanitarie;
- metodologie e strumenti per l'elaborazione di dati, segnali e immagini biomedici;
- metodologie per applicazioni negli ambiti della genomica e delle biotecnologie;
- metodologie di progetto e tecnologie per lo sviluppo di sistemi informativi sanitari e di sistemi per la gestione cooperativa dei processi di cura e di riabilitazione;
- metodologie di progetto e tecnologie per lo sviluppo di sistemi di telemedicina: diagnosi e monitoraggio degli effetti delle terapie.

Nello sviluppo degli aspetti ingegneristici, particolare importanza sarà data alla generalizzazione dei contenuti teorici e pratici già acquisiti nel precedente corso di laurea, in modo che la preparazione fornita non sia soggetta a rapida obsolescenza, consenta di affrontare con sicurezza anche problemi nuovi e dia gli strumenti concettuali per seguire nel tempo i necessari aggiornamenti.

Contestualmente, il percorso formativo permetterà allo studente di acquisire una personale esperienza nell'uso degli strumenti di indagine sperimentale e degli strumenti matematici tipici dell'approccio moderno ai problemi dell'ingegneria biomedica. Verrà dato adeguato risalto agli aspetti economici, gestionali e organizzativi che caratterizzano il sistema sanitario.

Il corso di laurea specialistica mira inoltre a fornire le conoscenze su cui basare gli ulteriori approfondimenti nell'ambito di eventuali corsi di studio successivi (Master di 2° livello e Dottorati di Ricerca).

Art. 5. Regole per l'accesso al Corso di studio

1. Per l'iscrizione al *Corso di laurea specialistica in Ingegneria biomedica* è richiesto il possesso di un diploma di laurea o di altro titolo di studio equipollente conseguito all'estero e riconosciuto idoneo ai sensi delle leggi vigenti.

2. L'ammissione al corso di laurea specialistica senza debiti formativi è subordinata al possesso dei seguenti requisiti curriculari, fissati attraverso la definizione del numero minimo di crediti formativi universitari (CFU), riconosciuti idonei dal CD, che il candidato deve aver acquisito nella sua carriera pregressa, con riferimento alle diverse attività formative di cui all'art. 10 del D.M. 3/11/99 n° 509 e a singoli settori scientifico disciplinari e/o a gruppi di settori scientifico disciplinari:

Tipo*	SSD	CFU
B	Algebra (MAT/02), Geometria (MAT/03), Analisi matematica (MAT/05)	20
	Fisica sperimentale (FIS/01)	10
	Sistemi di elaborazione delle informazioni (ING-INF/05)	10
A	Elettronica (ING-INF/01), Automatica (ING-INF/04), Elettrotecnica (ING-IND/31)	20
C	Bioingegneria elettronica e informatica (ING-INF/06), Bioingegneria industriale (ING-IND/34)	30

* A = Affine o integrativo, B = di Base, C = Caratterizzante

Il corso di laurea in Ingegneria biomedica attivato presso l'Università di Pavia comprende almeno un curriculum i cui crediti formativi sono integralmente riconosciuti ai fini dell'ammissione al corso di laurea specialistica in *Ingegneria biomedica* e pertanto soddisfano i requisiti curriculari necessari per l'ammissione (v. Art. 6).

3. L'ammissione al corso di laurea specialistica è inoltre subordinata alla verifica dell'adeguatezza della personale preparazione del candidato. I criteri e le modalità di verifica sono fissati dal Consiglio di Facoltà su proposta del Consiglio Didattico.

Art. 6. Riconoscimento di crediti formativi ed eventuali debiti formativi

1. Agli studenti in possesso di Laurea triennale in *Ingegneria biomedica* (Classe 9: Ingegneria dell'informazione), conseguita presso l'Università di Pavia e non derivante da mero riconoscimento amministrativo del Diploma Universitario, dopo la verifica di cui all'art. 5, comma 3, vengono integralmente riconosciuti i 180 CFU acquisiti nel corso di laurea di primo livello.

2. Gli studenti in possesso di qualunque altro titolo di Laurea dovranno far valutare dal CD le attività formative superate e i corrispondenti CFU (nel caso di laurea secondo i precedenti ordinamenti didattici, gli esami superati dovranno essere tradotti in CFU). Gli studenti di cui sopra saranno di norma ammessi al *Corso di laurea specialistica in Ingegneria biomedica* se il CD dichiarerà la congruità di tali attività per almeno 150 CFU, indicando contestualmente in quali settori scientifico-disciplinari dovranno essere colmati gli eventuali debiti formativi, che non dovranno superare il numero di 30. Il recupero dei debiti formativi dovrà avvenire entro il primo anno del Corso di laurea specialistica e condizionerà l'iscrizione al secondo anno.

3. Agli studenti in possesso di Laurea secondo i precedenti ordinamenti didattici, ai laureati secondo i nuovi ordinamenti che siano in possesso di un titolo di Master universitario di primo o di secondo livello in discipline affini, e in generale ai laureati che abbiano svolto attività formative e acquisito CFU ulteriori rispetto a quelli richiesti per la laurea di primo livello, il CD, al momento dell'iscrizione e in base alla carriera pregressa, può riconoscere più di 180 CFU. La tesi di laurea specialistica dovrà comunque essere elaborata nell'ambito delle attività formative specifiche del *Corso di laurea specialistica in Ingegneria biomedica* dell'Università di Pavia.

4. Il CD può altresì riconoscere CFU acquisiti in corsi di formazione extra-universitari, organizzati dallo Stato, da Enti locali o da istituzioni scientifiche pubbliche o private, purché pertinenti ad

ambiti disciplinari previsti dal piano didattico del Corso di laurea specialistica, e purché gestiti secondo modalità e criteri assimilabili a quelli universitari e nei quali sia prevista la frequenza obbligatoria. Il riconoscimento dei CFU è subordinato alla presentazione di un certificato, emesso dalla struttura interessata, nel quale vengano precisati la denominazione dei corsi con i voti conseguiti nelle prove d'esame, una breve descrizione dei loro contenuti e degli obiettivi formativi, il numero delle ore di lezione e l'obbligo della frequenza.

5. Possono formare oggetto di riconoscimento anche gli studi compiuti all'estero che non abbiano portato al conseguimento di un titolo accademico, purché adeguatamente documentati.

6. Ogni anno il CD propone alla Facoltà il numero degli studenti stranieri extra-comunitari non regolarmente soggiornanti in Italia da accogliere nel Corso di laurea specialistica.

Art. 7. Ordinamento didattico del Corso di studio e quadro generale delle attività formative

1. La durata del Corso di laurea specialistica è di due anni. Il CD, sulla base dei CFU riconosciuti con le modalità di cui ai precedenti articoli, deciderà l'eventuale abbreviazione del Corso di laurea specialistica.

2. Per conseguire la *Laurea specialistica in Ingegneria biomedica*, lo studente dovrà aver maturato nel suo percorso complessivo di studi almeno 300 CFU, inclusi quelli acquisiti nel corso di studio di primo livello e riconosciuti ai fini dell'ammissione al corso di Laurea specialistica.

3. Le attività formative specifiche del Corso di laurea specialistica corrispondono di norma a un totale di 120 CFU, ferma restando la possibilità per lo studente di acquisire crediti in soprannumero. Il carico di lavoro fissato per ciascun anno accademico dovrà consentire allo studente l'acquisizione di 60 CFU. Eventuali eccezioni, in difetto o in eccesso, potranno riguardare gli studenti per i quali è possibile l'abbreviazione del corso di studio o gli studenti in debito formativo, così come previsto dall'art. 6.

4. L'attività didattica è organizzata secondo diverse modalità d'insegnamento: lezioni frontali, esercitazioni, attività pratiche o di laboratorio. La suddivisione delle ore d'insegnamento nelle tre modalità sopra indicate è stabilita dal docente sulla base dei CFU attribuiti all'insegnamento, prendendo come riferimento i seguenti valori guida per ogni CFU:

7,5 ore di lezione frontale, o

15 ore di esercitazione, o

22,5 ore di laboratorio.

Le ore da aggiungere alle precedenti per completare il monte ore per CFU a carico dello studente, come stabilito dal Regolamento Didattico di Ateneo, sono intese per la rielaborazione personale e per l'acquisizione dei contenuti e dei metodi impartiti nelle lezioni, per lo studio e l'approfondimento dei testi e dei materiali consigliati dal docente, per la stesura di relazioni o di altri documenti relativi all'attività formativa svolta.

5. Nel piano di studio formulato annualmente dagli organi competenti, possono essere previsti percorsi formativi diversi (*curriculum*), per consentire allo studente di approfondire specificamente tematiche particolari di proprio interesse nel settore dell'Ingegneria biomedica.

6. Nel piano di studio formulato annualmente dal Consiglio di Facoltà su proposta del CD, i 120 CFU del Corso di Laurea specialistica saranno ripartiti nel rispetto dei limiti sotto indicati:

Formazione di base: insegnamenti scelti negli ambiti e nei settori scientifico-disciplinari sotto indicati, per un totale di CFU compreso tra 10 e 30 e tale che, sommato al numero minimo di CFU richiesto per l'ammissione alla laurea specialistica, dia un totale di almeno 50:

– Matematica, informatica e statistica (ING-INF/05, MAT/02, MAT/03, MAT/05, MAT/06, MAT/08, SECS-S/02)

– Fisica e chimica (CHIM/07, FIS/01, FIS/03, FIS/07)

Formazione caratterizzante: insegnamenti scelti negli ambiti e nei settori scientifico-disciplinari sotto indicati, per un totale di CFU compreso tra 40 e 60 e tale che, sommato al numero minimo di CFU richiesto per l'ammissione alla laurea specialistica, dia un totale di almeno 70:

– Ingegneria biomedica (ING-IND/34, ING-INF/06)

Formazione affine o integrativa: insegnamenti scelti negli ambiti e nei settori scientifico-disciplinari sotto indicati, per un totale di CFU compreso tra 10 e 30 e tale che, sommato al numero minimo di CFU richiesto per l'ammissione alla laurea specialistica, dia un totale di almeno 30:

- Discipline ingegneristiche (ICAR/08, ING-IND/06, ING-IND/31, ING-IND/35, ING-INF/01, ING-INF/02, ING-INF/03, ING-INF/04, ING-INF/05)
- Cultura scientifica, umanistica, giuridica, economica, socio-politica (BIO/06, BIO/09, BIO/10, BIO/11, BIO/13, BIO/18, CHIM/07, MED/03, MED/46, M-FIL/02, M-PSI/02, M-PSI/03, SECS-P/01, SECS-P/06, SECS-P/07, SECS-P/08, SECS-P/10, SECS-S/05)

Attività formative a scelta dello studente per un totale di 5 CFU

Altre attività (art. 10, comma 1, lettera f): lo studente potrà scegliere fra diverse attività utili ai fini dell'inserimento nel mondo del lavoro, specificate annualmente nel piano di studio, per le quali sarà riconosciuto un massimo di 10 CFU. Queste attività possono comprendere, tra l'altro:

- lavori autonomi (di tipo progettuale, sperimentale o informatico) assegnati e seguiti da un docente;
- tirocinio da svolgersi presso Aziende ed Enti pubblici o privati, operanti nel settore;
- insegnamenti riguardanti argomenti quali l'etica, le tecniche redazionali e di comunicazione o altri aspetti legati al mondo del lavoro e della professione;
- conseguimento di certificazioni professionali ufficiali, rilasciate da Enti nazionali o internazionali.

Prova finale: per la preparazione della tesi di laurea verrà riconosciuto un numero di CFU compreso fra 10 e 30.

7. A norma dell'art. 30 del Regolamento didattico di Ateneo, il CD può attivare entro il Corso di laurea specialistica corsi intensivi o particolari percorsi di studio finalizzati al conseguimento di specifici obiettivi formativi, anche in un quadro di convenzioni e/o collaborazioni internazionali. L'università può rilasciare ai partecipanti a tali corsi un attestato di frequenza o, quando previsto dai protocolli di attivazione, uno speciale e specifico attestato.

Art. 8. Insegnamenti attivabili, tipologia e relativi obiettivi formativi

Gli insegnamenti attivabili, con l'indicazione dei settori scientifico-disciplinari di appartenenza, del tipo di attività formativa e dei relativi CFU, sono i seguenti

Insegnamento	Settore Scientifico-Disciplinare	Tipo di attività formativa (*)	CFU	Numero di moduli
Apprendimento automatico in biomedicina	ING-INF/06	C	5	1
Basi di dati LS	ING-INF/05	A	5	1
Bioimmagini	ING-INF/06	C	5	1
Bioinformatica	ING-INF/06	C	5	1
Biologia dello sviluppo	BIO/06	A	5	1
Biomacchine	ING-IND/34	C	5	1
Biomatematica	MAT/08	B	5	1
Biomateriali e ingegneria tissutale	CHIM/07	B	5	1
Biomeccanica LS	ING-IND/34	C	5	1
Calcolo numerico	MAT/08	B	6	1
Campi elettromagnetici e impatto ambientale	ING-INF/02	A	5	1
Controllo dei processi	ING-INF/04	A	5	1
Elettronica industriale	ING-INF/01	A	5	1
Fisica II	FIS/01	B	6	1
Fisiologia degli organi di movimento	BIO/09	A	5	1
Fondamenti di Neuroingegneria	ING-INF/06	C	5	1
Genetica umana + Biologia generale	MED/03 + BIO/13	A	5	2

Gestione delle tecnologie sanitarie	ING-INF/06	C	5	2
Identificazione dei modelli e analisi dei dati LS	ING-INF/04	A	5	1
Ingegneria della riabilitazione e protesi	ING-INF/06 ING-IND/34	C	5	2
Impianti di elaborazione LS	ING-INF/05	A	5	1
Intelligenza artificiale II	ING-INF/05	A	5	1
Intelligenza artificiale in medicina	ING-INF/06	C	5	1
Laboratorio di ingegneria dei tessuti	ING-IND/34	C	5	1
Legislazione e ordinamento professionale	IUS/10	Aa	3	1
Meccanica dei fluidi LS	ICAR/01	A	6	1
Meccanica dei materiali biologici	ING-IND/34	C	5	1
Metodi matematici	MAT/05	B	5	1
Microsensori, microsistemi integrati e MEMS	ING-INF/01	A	5	1
Modelli di sistemi biologici	ING-INF/06	C	5	1
Modelli probabilistici in medicina	ING-INF/06	C	5	1
Neurofisiologia	BIO/09	A	5	1
Optoelettronica biomedica	ING-INF/06	C	5	1
Progetto di sistemi digitali	ING-INF/01	A	5	1
Progetto, gestione e produzione di beni e servizi	ING-IND/35	Aa	3	1
Robotica	ING-INF/04/05	A	5	2
Sicurezza nei sistemi e nei servizi	ING-INF/05	A	5	1
Sistemi biomimetici	ING-INF/06	C	5	1
Sistemi decisionali in medicina	ING-INF/06	C	5	1
Sistemi dinamici: teoria e metodi numerici	MAT/08	B	5	1
Sistemi e tecnologie multimediali	ING-INF/05	A	5	1
Strumentazione biomedica LS	ING-INF/06	C	5	1
Telemedicina	ING-INF/06	C	5	1
Teoria dei segnali e comunicazioni elettriche	ING-INF/03	A	5	1
Valutazione dei servizi socio-sanitari	SECS-S/05	Aa	5	1

(*) A = affine o integrativa; Aa = altre attività (art. 10, comma 1, lettera f); B = di base; C = caratterizzante

Gli obiettivi formativi dei predetti insegnamenti sono i seguenti.

Apprendimento automatico in biomedicina - L'insegnamento si propone di fornire allo studente competenze metodologiche e tecniche per impiegare in ambito biomedico una vasta classe di algoritmi che sono in grado di apprendere regole decisionali da dati e di migliorare automaticamente le loro prestazioni sulla base dell'esperienza. Ogni argomento trattato durante le lezioni sarà oggetto di esercitazioni e laboratori.

Basi di dati LS - Lo studente acquisirà i concetti avanzati della gestione delle basi di dati, estendendo la trattazione a database multimediali, con particolare riguardo alle tecnologie emergenti nella memorizzazione e gestione dei dati e alle ottimizzazioni delle interrogazioni. Saranno inoltre forniti esempi di studi e ricerche per fornire le necessarie conoscenze e il metodo di studio per approfondire tematiche avanzate.

Bioimmagini - L'insegnamento si propone di illustrare i principi fisici di generazione e le tecniche di formazione delle principali immagini diagnostiche e le relative modalità di elaborazione, di archiviazione, di trasmissione e di verifica di sicurezza e di qualità. L'obiettivo è di mettere lo studente in grado di valutare e di affrontare le problematiche poste dall'introduzione delle apparecchiature per immagini in una struttura sanitaria, sia dal punto di vista del fornitore che da quello dell'utilizzatore.

Bioinformatica - L'insegnamento si propone di introdurre lo studente alle principali problematiche relative allo sviluppo di adeguati strumenti computazionali per la soluzione di problemi derivanti principalmente dall'analisi di sequenze biologiche (DNA, RNA). L'obiettivo principale è di fornire allo studente un inquadramento sistematico del problema, in un settore caratterizzato da una recente

e rapida evoluzione, oltre gli strumenti necessari per affrontare lo studio di problemi di confronto di sequenze biologiche e di alberi evolutivi, quali le reti neurali e gli Hidden Markov Models.

Biologia dello sviluppo - L'insegnamento intende fornire nozioni generali sulla funzione e differenziamento delle cellule germinali e sui processi di fecondazione e sviluppo embrionale nei Mammiferi sia sotto il profilo citologico che molecolare.

Biomacchine - L'insegnamento si propone di fornire gli elementi basilari per lo studio delle macchine che interagiscono con il corpo umano. Data l'importanza dei problemi legati al sistema circolatorio, la prima parte del programma sarà volta a fornire i necessari approfondimenti di meccanica dei fluidi.

Biomatematica - L'insegnamento si propone di introdurre lo studente ad alcune problematiche relative alla modellazione matematica e alla simulazione di fenomeni fisiologici (elettrofisiologia cellulare, fenomeni di reazione-diffusione, processi bioelettrici cardiaci) fornendo gli strumenti concettuali e metodologici sia analitici che numerici.

Biomateriali e ingegneria tissutale - L'insegnamento si propone di presentare allo studente le principali problematiche dell'interazione tra materiali artificiali e tessuti viventi e, conseguentemente, di definire le proprietà che determinano la maggiore o minore idoneità dei materiali stessi alla realizzazione di protesi e di impianti (biocompatibilità).

Biomeccanica LS - L'insegnamento fornisce allo studente conoscenze di meccanica e metodologie per lo studio di sistemi biomeccanici. In particolare vengono estesi i concetti di statica, cinematica e legame costitutivo sino ad includere alcuni comportamenti non-lineari fondamentali relativi ai materiali biologici. Il corso include inoltre i fondamenti della modellazione meccanica monodimensionale, fornendo anche conoscenze di base relative a metodi analitici e numerici per lo studio e la modellazione di problemi meccanici in ambito biomedico.

Calcolo numerico - L'insegnamento si propone di portare gli studenti ad un sufficiente grado di dimestichezza nella classificazione dei problemi e degli algoritmi numerici idonei alla loro risoluzione, introdurre il concetto di stabilità e di condizionamento per problemi ed algoritmi, fornire i risultati elementari relativi alla convergenza dei processi iterativi e dei metodi di approssimazione e sviluppare la pratica computazionale matriciale e l'uso individuale delle funzioni di MATLAB.

Campi elettromagnetici e impatto ambientale - L'insegnamento si propone di fornire i principi fondamentali della teoria dei campi elettromagnetici, dai fenomeni di generazione e propagazione alla loro interazione con l'ambiente e i sistemi biologici. Al termine del corso lo studente avrà acquisito sia la capacità di individuare gli elementi caratteristici della emissione elettromagnetica delle più importanti sorgenti presenti sul territorio e negli ambienti industriale e residenziali (ad esempio elettrodotti, antenne, elettrodomestici, macchine industriali etc.) che quelli dell'interazione bioelettromagnetica; avrà acquisito anche la capacità di poter scegliere i metodi e gli strumenti di misura adeguati ai fini del rilevamento dell'esposizione elettromagnetica.

Controllo dei processi - Nel corso vengono descritti e analizzati gli schemi di controllo più utilizzati a livello industriale. Vengono inoltre fornite le nozioni di base per la progettazione di sistemi di controllo digitale.

Elettronica industriale - L'insegnamento si propone di descrivere il principio di funzionamento dei microprocessori, dei trasduttori e delle relative reti di condizionamento con particolare enfasi all'acquisizione di variabili fisiche in tempo reale.

Fisica II - L'insegnamento si propone di fornire conoscenze operative e capacità di risolvere semplici problemi relativi agli argomenti introduttivi all'elettromagnetismo (elettrostatica, magnetostatica, correnti, campi quasi stazionari, ottica geometrica; parte iniziale delle onde elettromagnetiche.).

Fisiologia degli organi di movimento - L'insegnamento mira a fornire allo studente le conoscenze fondamentali riguardo alla fisiologia del sistema neuro-muscolare e del controllo sensori-motorio.

Fondamenti di Neuroingegneria – L'insegnamento si propone di fornire conoscenze sugli aspetti teorici e tecnologici relativi allo studio dei sistemi neurali (dal livello cellulare al Sistema Nervoso Centrale) e di fornire conoscenze sugli aspetti tecnici e metodologici dell'utilizzo di trasduttori e microtrasduttori per elettrofisiologia (interfaccia neuro-elettronica).

Genetica umana + Biologia generale - Conoscere i meccanismi fondamentali, che regolano i processi vitali negli organismi viventi. Conoscere le modalità di trasmissione dei geni, la loro struttura e le basi delle mutazioni. Conoscere i diversi metodi di mappaggio genico nell'uomo.

Gestione delle tecnologie sanitarie – L'insegnamento si propone di fornire allo studente le competenze metodologiche e tecniche necessarie per affrontare le problematiche poste dalla gestione delle tecnologie in ambito ospedaliero e sanitario. Vengono analizzate l'organizzazione e la gestione delle attività di ingegneria clinica e quelle del sistema informativo sanitario.

Identificazione dei modelli e analisi dei dati LS - Conoscenza delle nozioni di base di: teoria della stima (stima a massima verosimiglianza, stima a posteriori); identificazione di modelli mediante reti neurali; processi casuali (media, autocovarianza, densità spettrale di potenza, predizione ottima); identificazione di modelli ARMAX. Capacità di risolvere problemi di identificazione e predizione a partire dalla formalizzazione del problema di identificazione fino all'uso di strumenti informatici per stimare i parametri ed effettuare simulazioni.

Impianti di elaborazione LS - Il corso si propone di studiare gli impianti di elaborazione con particolare riferimento alla valutazione delle prestazioni e della Qualità del Servizio (QoS). Si introdurranno le tecniche e gli strumenti per analizzare e prevedere le prestazioni di un impianto e si discuteranno alcuni casi di studio. Al termine del corso lo studente avrà acquisito competenze sufficienti per pianificare e intraprendere autonomamente attività di valutazione delle prestazioni e di capacity planning.

Ingegneria della riabilitazione e protesi - L'insegnamento si propone di fornire allo studente le conoscenze di base riguardanti le problematiche dell'*handicap* sensoriale e motorio e i criteri di progettazione e di valutazione funzionale delle protesi.

Intelligenza artificiale II - L'insegnamento si propone di fornire gli elementi di base delle tecniche di programmazione di sistemi informatici basati sulla rappresentazione cognitiva (simbolica o numerica) e sulle forme di programmazione indiretta tramite calcolo evolutivo. Al termine del corso, lo studente dovrà aver acquisito le nozioni fondamentali relative alle tecniche trattate ed al loro ambito di applicazione, anche attraverso la realizzazione di un progetto di laboratorio.

Intelligenza artificiale in medicina - Lo studente potrà acquisire i concetti fondamentali dell'ingegneria della conoscenza e i problemi del suo utilizzo all'interno di organizzazioni complesse. Particolare enfasi verrà posta sul problema della modellazione dei diversi tipi di conoscenza necessari per costruire sistemi di gestione della conoscenza che permettano alle organizzazioni di migliorare la loro performance. Nella seconda parte del corso lo studente applicherà le metodologie e le tecniche di ingegneria della conoscenza per favorire la diffusione di processi decisionali e di organizzazione del lavoro giustificati dalle evidenze scientifiche disponibili. Lo studente apprenderà l'uso di ambienti di programmazione avanzati che consentono di implementare i modelli sviluppati nella fase di progetti e realizzare sistemi di gestione dei processi di lavoro individuali o cooperativi in ambito sanitario. L'obiettivo formativo prevalente del corso è quello di favorire lo sviluppo di modelli concettuali di sistemi di gestione delle conoscenze prima di procedere a realizzarne i componenti con ambienti di sviluppo specializzati.

Laboratorio di ingegneria dei tessuti - L'insegnamento si propone di illustrare, anche con esperienze di laboratorio, le moderne tecniche di coltura di tessuti biologici, quali: pelle, osso e cartilagine, e di cellule di vari organi, come: fegato, pancreas, rene, ecc. Verranno trattati anche problemi relativi alla costruzione di organi artificiali, per quanto riguarda sia la riproduzione della funzione, sia i materiali impiegati, sia l'interazione con l'organismo.

Legislazione e ordinamento professionale - Il corso ha l'obiettivo di predisporre gli interessati ad affrontare le problematiche di natura tecnico-giuridica che sempre più spesso investono la professione dell'ingegnere nei suoi diversi settori di attività, orientando nel contempo sulla scelta dell'impegno professionale post-laurea più consono e favorevole. E' destinato agli studenti dell'ultimo anno dei diversi corsi di laurea e di laurea specialistica: in particolare a quelli intenzionati a sostenere l'Esame di Stato per conseguire l'abilitazione professionale, per il cui superamento le notizie apprese formano specifico oggetto di verifica secondo il dettato del D.P.R. 328/2001.

Meccanica dei fluidi LS - Fornire gli elementi concettuali indispensabili per lo studio e la simulazione numerica di campi di moto pluridimensionali tipici delle applicazioni tecniche. Introdurre lo studio della propagazione ondosa nelle correnti a superficie libera.

In questa ottica si inquadrano le conoscenze fornite nei precedenti corsi di idraulica per le correnti liquide (moti uni-dimensionali) in contesto pluridimensionale estendendole al caso di fluidi comprimibili e si introducono gli approcci alla simulazione degli effetti turbolenti.

Meccanica dei materiali biologici - L'insegnamento fornisce allo studente conoscenze avanzate di meccanica e metodologie per lo studio di sistemi biomeccanici. Il corso vuole inoltre fornire anche conoscenze di base relative a tecniche numeriche per lo studio e la modellazione di problemi meccanici in ambito biomedico.

Metodi matematici - Alla fine del corso lo studente deve essere in grado di utilizzare con dimestichezza le principali funzioni di variabile complessa e deve avere acquisito le nozioni elementari della corrispondente teoria; deve aver compreso il concetto di convergenza di successioni e serie di funzioni; deve conoscere i risultati fondamentali riguardanti le serie di Fourier e le trasformate di Fourier e di Laplace; deve essere in grado di svolgere calcoli elementari mediante tali trasformate e di applicarli a semplici problemi differenziali.

Microsensori, microsistemi integrati e MEMS - Il corso, a carattere principalmente informativo, si propone di fornire allo studente una panoramica delle tecnologie di fabbricazione, dei principi di funzionamento e delle applicazioni dei sistemi micro-elettro-meccanici (MEMS) e micro-opto-elettro-meccanici (MOEMS) su silicio. Al termine del corso lo studente avrà acquisito anche conoscenze relative agli aspetti di caratterizzazione sperimentale di MEMS e MOEMS, nonché dell'interfacciamento con l'elettronica di elaborazione.

Modelli di sistemi biologici - Il corso si propone di fornire elementi di base di modellistica matematica di sistemi biologici e fisio-patologici, con particolare riferimento a modelli di reazioni enzimatiche, popolazioni di cellule, traccianti, farmacocinetica e farmacodinamica, e sistemi endocrino-metabolici. Dopo un'introduzione in cui si analizzeranno gli obiettivi e gli strumenti per formulare modelli, lo studente apprenderà come simularli ed identificarli. Le lezioni si alterneranno ad attività di laboratorio dove lo studente potrà mettere in pratica quanto appreso durante le lezioni utilizzando tool di Matlab per simulare ed identificare i modelli presentati a lezione. L'obiettivo è quello di fornire allo studente strumenti concettuali ed operativi per sviluppare l'intero processo di modellizzazione per alcune significative applicazioni biomediche.

Modelli probabilistici in medicina - Si forniscono le basi metodologiche e si illustrano gli obiettivi di un approccio allo studio di sistemi biologici complessi basato su metodi di riconoscimento e apprendimento automatico, metodi algoritmici e metodi di modellazione statistica avanzata. Il corso insisterà su approcci statisticamente ben fondati, piuttosto che su euristiche. I metodi verranno motivati in relazione a problemi emersi in aree-chiave della scienza e della tecnologia quali lo studio delle malattie complesse, la bioinformatica, la genetica, l'analisi di sequenze biologiche, lo studio di meccanismi molecolari e la comprensione di immagini.

Neurofisiologia - Lo studente deve acquisire le seguenti capacità/conoscenze:

Possedere i concetti di causa ed effetto nei processi biologici, di condizioni permissive al verificarsi dell'effetto, saper distinguere i meccanismi attraverso i quali si articolano i processi biologici dalle finalità dei medesimi. Possedere il concetto del tempo necessario per lo

svolgimento di un determinato processo fisiologico, e della cooperazione di tessuti organi ed apparati che in parallelo od in sequenza concorrono a realizzare il processo.

Saper descrivere i più importanti meccanismi coinvolti nella regolazione della vita vegetativa e della vita di relazione.

Saper integrare in una visione unitaria le conoscenze sul funzionamento dei diversi organi ed apparati, con particolare riferimento alle funzioni ed al controllo dell'apparato locomotore

Saper risolvere semplici problemi fisiologici.

Optoelettronica biomedica - L'obiettivo dell'insegnamento è di fare conoscere allo studente la rilevanza e le potenzialità dell'optoelettronica per diagnostica, terapia e monitoraggio in campo biomedico. Al termine del corso lo studente avrà una conoscenza generale di sorgenti ottiche, rivelatori, fibre ottiche. Conoscerà il principio di funzionamento dei laser e i meccanismi di interazione fra radiazione laser e tessuti biologici. Conoscerà il principio di funzionamento e la struttura a blocchi di alcuni strumenti e sensori ottici attualmente impiegati in campo biomedico. Avrà acquisito conoscenze relative alla sicurezza laser. Inoltre, saprà affrontare l'analisi critica di alcune tematiche di ricerca nel settore dell'optoelettronica biomedica. Dovrà anche acquisire la capacità di presentare queste applicazioni o tematiche di ricerca, con caratteristiche fortemente interdisciplinari, ad un pubblico con formazione di base diversa (medici, ingegneri).

Progetto di sistemi digitali - L'insegnamento si propone di descrivere il principio di funzionamento dei microcontrollori e dei dispositivi DSP, per mettere lo studente in grado di realizzare sul piano HW e SW piccoli sistemi di controllo e di acquisizione.

Progetto, gestione e produzione di beni e servizi - Il Corso è promosso dall'Unione Industriali della Provincia di Pavia con l'intervento di alcune Aziende associate. Alla fine del corso lo studente deve aver acquisito, nell'ambito di specifiche esperienze direttamente collocate nel mondo del lavoro, le conoscenze fondamentali che stanno alla base dello sviluppo e gestione di un intero progetto industriale dalla sua iniziale caratterizzazione fino alla sua ingegnerizzazione e produzione.

Robotica - L'insegnamento ha l'obiettivo di fornire gli strumenti metodologici di base per la modellizzazione e il controllo dei robot industriali. Prevede due parti tra loro complementari. Una prima parte è dedicata ai sistemi sensoriali, alla rilevazione dell'ambiente operativo e alla sua rappresentazione; la seconda alla formulazione dei modelli geometrico-cinematici e dinamici dei robot e alla risoluzione di problemi di controllo del moto e dell'interazione con l'ambiente.

Sicurezza dei sistemi e dei servizi - L'insegnamento consente di acquisire le conoscenze di base sulla sicurezza dei sistemi informatici e delle reti. Verranno in particolare trattate le tematiche di integrazione della sicurezza nelle applicazioni e nei servizi distribuiti con un approfondimento sugli standard e sugli aspetti normativi italiani ed europei vigenti.

Sistemi biomimetici - L'obiettivo dell'insegnamento è di fornire allo studente alcuni strumenti di conoscenza di base e di tecnologia per la progettazione e la realizzazione di sistemi sensorimotori artificiali in grado di emulare i corrispondenti sistemi biologici. Lo studente dovrà acquisire nozioni di fisiologia e di psicofisica relative alla percezione e al controllo motorio, insieme a competenze tecnologiche e metodologiche per la realizzazione di sistemi robotici *life-like*. Alla fine del corso lo studente dovrà essere in grado di utilizzare strumenti metodologici di *machine learning*, quali i vari paradigmi di apprendimento neurale, ed avere alcune conoscenze tecnologiche su sensori, attuatori e dispositivi utilizzati nel campo della robotica antropomorfa.

Sistemi decisionali in medicina - L'obiettivo dell'insegnamento è di fornire le metodologie per modellare problemi medici complessi, in cui si richiede di prendere decisioni in presenza di incertezza e/o tenendo conto delle preferenze del paziente. Lo studente, alla fine del corso, deve essere in grado di formalizzare un problema decisionale, individuando le variabili del dominio e scegliendo i formalismi più adatti, sia ai fini dell'acquisizione della conoscenza, sia ai fini della soluzione del problema. Fra le classi di problemi decisionali, particolare enfasi sarà data alle valutazioni economiche preliminari alla decisione sull'avviamento di un programma sanitario.

Verrà dato spazio all'utilizzo pratico di strumenti informatici per la risoluzione di modelli decisionali.

Sistemi dinamici: teoria e metodi numerici - L'insegnamento si propone di fornire allo studente le nozioni di base relative ai sistemi di equazioni differenziali ordinarie e alle proprietà qualitative ed al comportamento asintotico delle soluzioni e di sviluppare le problematiche relative ai metodi numerici per la simulazione dei sistemi dinamici.

Sistemi e tecnologie multimediali - Il corso vuole fornire allo studente le basi teoriche e pratiche che gli consentano di muoversi agevolmente all'interno delle tecnologie per la produzione di contenuti e contenitori multimediali (on-line/off-line), mettendolo in grado di operare le scelte più opportune nei diversi contesti.

Strumentazione biomedica LS - L'insegnamento si propone di fornire allo studente le conoscenze di base riguardanti la strumentazione per bioimmagini e la strumentazione terapeutica.

Telemedicina - L'insegnamento si propone di dare un quadro generale sulla telemedicina e sull'*e-health* e di fornire le competenze tecniche per lo sviluppo di semplici prototipi applicativi.

Teoria dei segnali e comunicazioni elettriche - Conoscenza della rappresentazione in frequenza di un segnale deterministico. Conoscenza del concetto di rumore come processo stocastico. Conoscenza delle tecniche più semplici di trasmissione dell'informazione. Capacità di analizzare segnali deterministici e calcolarne proprietà fondamentali (spettro, banda, potenza/energia). Capacità di dimensionare semplici collegamenti per telecomunicazioni utilizzando alcune delle modulazioni introdotte (AM, FM e PCM).

Valutazione dei servizi socio-sanitari - L'insegnamento mira da un lato a fornire un quadro generale dei problemi relativi alla valutazione dei servizi socio-sanitari, dall'altro a presentare le metodologie a sostegno dei processi valutativi dei programmi socio-sanitari stessi.

Art. 9. Propedeuticità

Nel piano di studio formulato annualmente dal Consiglio di Facoltà su proposta del CD, potranno essere stabilite propedeuticità tra gli insegnamenti di cui all'Art. 8. In questo caso, non è possibile sostenere l'esame sotto vincolo di propedeuticità finché non è stato superato l'esame ad esso propedeutico. La collocazione degli insegnamenti negli anni del corso e nei rispettivi semestri sarà compatibile con le propedeuticità esistenti.

Art. 10. Organizzazione dell'attività didattica e manifesto degli studi

1. Ogni anno, in vista della scadenza fissata nel Regolamento d'Ateneo, il CD, sentiti i docenti interessati, organizza l'insieme delle attività didattiche per l'anno accademico successivo, nel rispetto di quanto disposto dai precedenti art. 7, 8 e 9, e predispose il Manifesto degli studi, contenente: (a) il piano degli studi ufficiale, con la definizione degli eventuali *curricula*; (b) l'elenco degli insegnamenti attivati, col relativo settore scientifico-disciplinare, le eventuali propedeuticità e la precisazione di quali insegnamenti siano obbligatori e quali a scelta dello studente, con le relative modalità di scelta; (c) la collocazione degli insegnamenti nei diversi periodi didattici. Il Manifesto degli studi deve essere approvato dal Consiglio di Facoltà.

2. Il CD può deliberare che alcuni insegnamenti siano mutuati da un altro Corso di studio della stessa o di altra Facoltà dell'Università di Pavia o di altra Università, nonché dai Collegi universitari pavese che abbiano attivato insegnamenti ufficiali riconosciuti dall'Università di Pavia a norma del Regolamento didattico d'Ateneo. In ogni caso, dovrà essere acquisito l'assenso dei docenti del o dei settori scientifico-disciplinari direttamente interessati e dovrà essere fissato il numero di CFU attribuito all'insegnamento, conformemente al suo carico didattico.

3. L'organizzazione del calendario delle lezioni, il numero degli appelli d'esame e i periodi della loro effettuazione sono deliberati dal Consiglio di Facoltà, in modo da garantire l'indispensabile uniformità tra i diversi Corsi di studio che fanno capo alla Facoltà.

Art. 11. Piani di studio

I piani di studio conformi alle regole e ai *curricula* illustrati nel Manifesto degli studi, sono approvati d'ufficio. Lo studente ha facoltà di presentare un piano degli studi individuale, che dovrà uniformarsi ai requisiti generali indicati nel precedente art. 7, comma 6, e che, in ogni caso, non potrà derogare dall'ordinamento didattico fissato dal Ministero per la Classe 26/s di laurea specialistica. I piani di studio individuali vengono esaminati da un'apposita Commissione, costituita annualmente, che, in caso di valutazione positiva, ne proporrà l'approvazione al CD. La medesima Commissione assisterà gli studenti nella compilazione dei piani di studio, in luoghi e orari che saranno resi noti.

Art. 12. Modalità di frequenza

Il progetto formativo presuppone che lo studente, di norma, partecipi a tutte le attività didattiche organizzate nell'ambito degli insegnamenti.

Gli obblighi di frequenza ai singoli insegnamenti e le relative modalità di verifica sono proposti dal docente, approvati dal CD e indicati sul manifesto degli studi. Come criterio generale, la frequenza obbligatoria è prevista per attività di laboratorio o sperimentali.

L'obbligo di frequenza è assolto con la presenza ad almeno il 70% delle attività didattiche previste dall'insegnamento.

Art. 13. Modalità di valutazione del profitto

1. In base alle caratteristiche dell'insegnamento, le prove di verifica potranno consistere in esami, scritti e/o orali, o in altre forme di valutazione, come: attività progettuali, attività di laboratorio o al calcolatore, tesine, ecc., predisposte in funzione dei contenuti e degli obiettivi formativi dell'insegnamento. Le prove orali sono pubbliche.

2. Indipendentemente dalle modalità di valutazione di cui al comma precedente, il voto dell'esame di profitto deve tenere conto dei risultati conseguiti nelle eventuali prove *in itinere*.

3. In ciascuna sessione lo studente può sostenere tutti gli esami relativi agli insegnamenti inseriti nel suo piano di studio, con il solo vincolo delle eventuali propedeuticità.

Art. 14. Periodi di studio effettuati presso Università estere

1. Gli studenti del Corso di laurea specialistica possono svolgere parte dei propri studi presso Università estere con le quali siano stipulati accordi in regime di reciprocità.

2. Lo studente ammesso a trascorrere un periodo di studio all'estero presenterà al Consiglio didattico, per l'approvazione, un piano di studi nel quale indicherà le discipline da frequentare presso l'Università ospitante e la loro corrispondenza con quelle elencate nel presente Regolamento didattico. Il piano di studi dovrà essere avallato da almeno un docente del *Corso di laurea specialistica in Ingegneria biomedica*. Al termine del periodo di studi, sulla base della certificazione esibita, il CD delibererà il riconoscimento degli esami sostenuti all'estero, attribuendo i relativi CFU.

Art. 15. Prova finale per il conseguimento del titolo di studio

1. La laurea specialistica in *Ingegneria biomedica* è conferita a seguito della prova finale, che verifica il raggiungimento degli obiettivi formativi qualificanti il Corso di laurea specialistica.

2. La prova finale consiste nella discussione in seduta pubblica, di fronte ad apposita Commissione di Laurea Specialistica, di una tesi elaborata in modo originale sotto la guida di un docente con funzione di relatore. La dissertazione deve sviluppare tematiche specificamente attinenti agli obiettivi formativi del Corso di studio e rappresentare uno stadio avanzato e originale di ricerca o un progetto significativo per complessità, in uno dei settori dell'Ingegneria biomedica.

Art. 16. Certificazioni

Ai sensi dell'art. 11, comma 8, del Regolamento Generale sull'autonomia, la Segreteria studenti rilascia, come supplemento dell'attestazione del titolo di laurea specialistica conseguito, un certificato che riporta, secondo modelli conformi a quelli adottati dai paesi europei, le principali indicazioni relative al curriculum specifico seguito dallo studente per conseguire la laurea specialistica.

Art. 17. Tutorato

1. Il servizio di tutorato è organizzato e gestito con le modalità fissate nel Regolamento di Facoltà e nel Regolamento didattico d'Ateneo.

2. L'attività di consulenza agli studenti per quanto riguarda i piani degli studi, i trasferimenti e il riconoscimento dei crediti è svolta dai docenti e dai ricercatori a ciò deputati dal CD.

Art. 18. Individuazione, per ogni attività, delle strutture e persone responsabili

1. Per ogni attività necessaria al regolare funzionamento del Corso di studio in conformità al presente regolamento, ai regolamenti di cui al precedente art. 2, oltre che alla specifica legislazione di riferimento, devono essere individuate le persone che singolarmente o riunite in apposite strutture ne assumono la responsabilità. A tal fine, il CD istituisce le strutture previste dal Regolamento di Facoltà.

3. Le persone che, singolarmente o nell'ambito delle strutture di cui al comma precedente, si assumono la responsabilità delle specifiche attività sono nominate dal CD.

Art. 19. Revisione periodica del Regolamento

È prevista, almeno ogni cinque anni, la revisione del presente Regolamento, in particolare per quanto riguarda il numero dei CFU assegnati ad ogni insegnamento o ad altre attività formative.