



# UNIVERSITÀ DI PISA

---

## CHIMICA APPLICATA ALL'AMBIENTE E TECNOLOGIA DEI MATERIALI

**SARA FILIPPI**

Anno accademico 2023/24  
CdS INGEGNERIA CIVILE AMBIENTALE E  
EDILE  
Codice 001IC  
CFU 12

Moduli	Settore/i	Tipo	Ore	Docente/i
CHIMICA APPLICATA ALL'AMBIENTE	CHIM/07	LEZIONI	60	SARA FILIPPI
TECNOLOGIA DEI MATERIALI	ING-IND/22	LEZIONI	60	SARA FILIPPI

### Obiettivi di apprendimento

#### *Conoscenze*

Conoscenza dei fondamenti di chimica generale necessari per la comprensione dei più importanti fenomeni e processi chimici nel settore dell'Ingegneria Civile-Edile. Conoscenza delle diverse classi di materiali utilizzati in questo settore (leghe metalliche, leganti, ceramici, vetri, materiali polimerici, con particolare attenzione al processo di produzione ed al tipo di trattamenti e lavorazioni possibili).

#### *Modalità di verifica delle conoscenze*

La verifica delle conoscenze sarà valutata durante le esercitazioni in aula, mediante domande agli studenti e attraverso le ore di ricevimento.

#### *Capacità*

Capacità di individuare le relazioni fondamentali tra struttura e proprietà dei principali materiali da costruzione così da iniziare ad acquisire la capacità di scegliere e valutare quello più adatto per una determinata applicazione. Capacità di valutare quale sia il materiale più idoneo anche in funzione dei possibili processi di degrado, in relazione al tipo di ambiente.

#### *Modalità di verifica delle capacità*

Vengono svolte periodicamente esercitazioni in aula in modo che lo studente possa verificare la sua comprensione degli argomenti trattati a livello teorico.

#### *Comportamenti*

Lo studente potrà acquisire e/o sviluppare sensibilità nella scelta dei materiali in relazione alle proprietà meccaniche richieste ed ai requisiti di durabilità. Lo studente potrà acquisire una certa conoscenza del rischio chimico connesso con l'impiego di determinati materiali, in relazione ai problemi legati all'inquinamento ambientale ed al corretto trattamento dei rifiuti.

#### *Modalità di verifica dei comportamenti*

Verrà valutata la partecipazione attiva alle lezioni in aula, mediante interventi appropriati e formulazione di risposte ragionate alle domande del docente

#### *Prerequisiti (conoscenze iniziali)*

Nozioni di base di matematica secondo i programmi della scuola superiore.

#### *Corequisiti*

nessuno in particolare

#### *Prerequisiti per studi successivi*

l'esame non costituisce requisito necessario per sostenere gli esami successivi



## UNIVERSITÀ DI PISA

### Indicazioni metodologiche

Durante le lezioni gli studenti sono spesso coinvolti con domande ed invitati ad interrompere il docente se la spiegazione non risulta chiara e sono necessari approfondimenti. I contenuti delle lezioni sono forniti agli studenti come materiale didattico integrativo. Vengono inoltre fornite indicazioni sui testi da utilizzare per lo studio e sono disponibili le soluzioni di molte delle prove di esame.

### Programma (contenuti dell'insegnamento)

#### CHIMICA APPLICATA ALL'AMBIENTE

Introduzione al corso. La teoria atomica. Il modello atomico di Dalton, di Thomson e di Rutherford. I limiti del modello atomico di Rutherford. Il modello atomico di Bohr: le orbite quantizzate. Spettro di emissione e di assorbimento dell'idrogeno. La materia come onda (De Broglie) ed il principio di indeterminazione di Heisenberg. Il modello atomico di Schroedinger: gli orbitali. I numeri quantici principali:  $n$ ,  $l$  ed  $m$ . Gli orbitali  $s$ ,  $p$ ,  $d$ ,  $f$ . Il numero quantico magnetico di spin ed il principio di esclusione di Pauli. La regola di Hund. La costruzione delle configurazioni elettroniche degli elementi e della Tavola Periodica. I gruppi ed i periodi. Numeri atomici e numeri di massa. Gli isotopi. La massa atomica relativa. Il peso molecolare o massa molecolare relativa. La mole ed il numero di Avogadro. Il difetto di massa. L'energia di legame media per nucleone (fusione e fissione). Calcolo del peso molecolare e del numero di moli. Le proprietà periodiche degli elementi. Il raggio atomico ed il raggio ionico.

L'energia di ionizzazione. L'affinità elettronica. L'elettronegatività.

Il legame chimico: ionico, covalente e metallico. La teoria del legame di valenza (VB). I legami di tipo sigma e pi-greco. Il legame covalente: la teoria di Lewis e la regola dell'ottetto. I limiti della teoria di Lewis. La teoria dell'ibridazione. La geometria molecolare: la Teoria VSEPR. I legami intermolecolari: interazioni dipolo indotto-dipolo indotto, interazioni dipolo-dipolo, legame a idrogeno.

Il numero di ossidazione. La nomenclatura dei composti inorganici: ossidi ionici ed ossidi covalenti, idrossidi ed acidi ossigenati, idruri ionici e covalenti, cationi, anioni, sali binari e ternari.

Le reazioni chimiche: reazioni che non coinvolgono variazione del numero di ossidazione (reazioni acido-base, reazioni di scambio) e reazioni che coinvolgono la variazione del numero di ossidazione (reazioni redox). Coefficienti stechiometrici e bilanciamento equazione chimica senza variazione del numero di ossidazione. Esercizi di stechiometria di base. Concetto di reagenti in quantità stechiometrica e di reagente limite. Bilanciamento delle reazioni redox con il metodo delle semireazioni. Bilanciamento delle reazioni redox con il metodo diretto.

Condizione necessaria ma non sufficiente perché avvenga spontaneamente una reazione chimica (requisito termodinamico). Concetto di variazione di energia libera di una reazione chimica. Requisito cinetico: energia di attivazione. La struttura metastabile del carbonio diamante.

Le reazioni chimiche di equilibrio. Esempi di reazioni di equilibrio: evaporazione-condensazione (tensione di vapore), solubilizzazione-precipitazione (solubilità). La costante di equilibrio in funzione della concentrazione molare. Relazione tra la costante di equilibrio diretta ed inversa. Equilibri omogenei ed eterogenei. La costante di idrolisi dell'acqua ( $K_w$ ) e la costante di solubilizzazione di un sale ( $K_{ps}$ ). I fattori che influenzano l'equilibrio chimico: variazione di concentrazione, variazione di volume e pressione. Influenza della temperatura. Reazioni esotermiche ed endotermiche. Fattori che non influenzano l'equilibrio chimico: aggiunta di un gas inerte, aggiunta di un catalizzatore.

Le soluzioni. Definizione di molarità, molalità e percentuale in peso di una soluzione. Elettroliti forti e deboli. Prodotto di solubilità, costante di dissociazione acida e basica.

Le proprietà colligative: abbassamento crioscopico ed innalzamento ebullioscopico.

La relazione tra solubilità e prodotto di solubilità.

La costante di idrolisi dell'acqua ( $K_w$ ) ed il pH. Determinazione del pH di una soluzione di acido forte e di acido debole. Determinazione del pH di una soluzione di base forte e di base debole. Idrolisi salina. Determinazione del pH di sale di acido forte e base debole e sale di acido debole e base forte.

I gas ideali. La densità dei gas. La composizione dell'aria secca. Calcolo della densità dell'aria a  $T$  e  $P$  fissate. La conducibilità termica dei gas, la resistenza termica e la trasmittanza termica dei gas. I gas reali ed il fattore di comprimibilità. La liquefazione dei gas e l'effetto Joule-Thomson. Il funzionamento dei condizionatori.

L'umidità relativa percentuale e il diagramma psicrometrico. Temperatura di bulbo secco e di bulbo umido, temperatura di rugiada, umidità specifica, entalpia e volume specifico. Diagramma psicrometrico: determinazione dell'entalpia specifica ed esempi di miscele di correnti di aria.

I diversi tipi di reazioni redox: reazioni di combinazione, reazioni di decomposizione, reazioni di combustione, reazioni di spostamento. La costruzione della pila. Schematizzazione della pila. Elettrodo standard a idrogeno. Determinazione dei potenziali standard di riduzione. Tabella dei potenziali standard di riduzione. L'equazione di Nernst per il calcolo del potenziale di alcune semireazioni in condizioni non standard. Determinazione della costante di equilibrio di una reazione redox dal valore dei potenziali standard.

La corrosione a secco (corrosione chimica) e la corrosione ad umido (corrosione elettrochimica). Requisiti necessari affinché lo strato di ossido risulti passivante. Corrosione elettrochimica di un metallo (es. ferro) con sviluppo di idrogeno nelle zone catodiche (ambiente acido, neutro o alcalino in assenza di ossigeno) oppure con assorbimento di ossigeno nelle zone catodiche (ambiente acido, neutro o alcalino in presenza di ossigeno). La corrosione del ferro in funzione del pH e della presenza o meno di ossigeno. Corrosione galvanica. Corrosione galvanica ed importanza del rapporto tra superficie anodica e catodica. Corrosione dovuta a differenze locali di concentrazione. Esempi di corrosione per aerazione differenziale. Velocità di corrosione in funzione del pH per Fe, Zn e Al. Corrosione generalizzata. Corrosione per pitting. Corrosione sotto deposito. Termodinamica delle reazioni di corrosione generalizzata. Potenziale della reazione di riduzione di  $H^+$  e dell'ossigeno in funzione del pH. Diagramma di Pourbaix nel caso del ferro. Metodi di protezione dalla corrosione: protezione catodica e protezione anodica.

Trattamento dell'acqua destinata al consumo umano. Parametri microbiologici. Parametri chimici con particolare attenzione a IPA, metalli pesanti, THM. Parametri indicatori. Parametri emergenti con particolare attenzione ai composti perfluoro alchilici come PFOA e PFOS.

Regolamento REACH. Potabilizzazione: grigliatura, predisinfezione/ossidazione, sedimentazione, coagulazione-flocculazione, filtrazione, adsorbimento su mezzi attivi, disinfezione finale.

La durezza dell'acqua. Definizione di durezza totale, durezza temporanea e durezza permanente. Definizione di grado francese, °F. Esempi di calcolo della durezza di un'acqua in base alla composizione. Metodi di addolcimento. Metodo calce-soda. Addolcimento mediante resine a scambio ionico. Demineralizzazione completa.

#### TECNOLOGIA DEI MATERIALI

Struttura dei materiali. Reticoli di Bravais. Struttura CCC, CFC ed EC nei metalli. Analisi della struttura cristallina. Soluzioni solide metalliche sostituzionali e interstiziali. Polimorfismo. Le forme allotropiche del ferro. Le leghe Fe-C (soluzioni solide interstiziali). La diversa solubilità del carbonio nelle tre forme allotropiche del ferro. Difetti di punto, di linea, di superficie e di volume. Dislocazioni e deformazione plastica.



## UNIVERSITÀ DI PISA

Le proprietà meccaniche dei materiali. Il diagramma sforzo-deformazione. Modulo elastico. Carico di snervamento. Carico a rottura. Allungamento percentuale. Tenacità. Coefficiente di Poisson. Incrudimento per deformazione plastica. Comportamento a rottura: frattura duttile e fragile. Resistenza ad impatto: resilienza. Resistenza a compressione. Durezza.

Diagrammi di stato. Definizione di fase, soluzione, composto, microstruttura. Diagramma di stato di un sostanza pura (es. acqua e ferro). Il punto triplo. La varianza e la regola delle fasi di Gibbs. Curve di raffreddamento. Costruzione di un diagramma di stato di una lega binaria isomorfa. Lega binaria isomorfa (metalli completamente solubili sia in fase liquida che in fase solida): leghe Cu-Ni. La regola della leva. Microstruttura della lega in condizioni di raffreddamento di equilibrio e di non equilibrio (segregazione). Leghe binarie eutettiche (metalli completamente solubili allo stato liquido ed immiscibili allo stato solido): leghe Bi-Cd. Trasformazione eutettica. Leghe binarie eutettiche (metalli completamente solubili allo stato liquido e parzialmente miscibili allo stato solido).

Descrizione del processo di produzione delle ghise. Produzione dell'acciaio. Il diagramma Fe/C. Fasi e costituenti strutturali. Punti invarianti. Trasformazione peritettica, eutettica ed eutetoidica. La microstruttura di un acciaio eutetoidico (la perlite), ipoeutetoidico e ipereutetoidico. Applicazione della regola della leva per la determinazione della percentuale delle diverse fasi presenti in funzione della temperatura. La microstruttura di una ghisa eutettica (ledeburite), ipoeutettica e ipereutettica. Meccanismi di rafforzamento dei metalli. Incrudimento per deformazione plastica. Rafforzamento per aggiunta di elementi di lega. Controllo delle dimensioni del grano. Trattamenti termici: ricottura. Trattamenti termici: normalizzazione, tempra. La bonifica (tempra + rinvenimento). La martensite e la sorbite. La bainite. Le curve di trasformazione isoterma TTT (temperatura-tempo-trasformazione) e di trasformazione per raffreddamento continuo CCT. Le curve di trasformazione per raffreddamento continuo CCT. Elementi in lega austenitizzanti e ferritizzanti. Trattamenti superficiali: cementazione gassosa, nitrurazione, calorizzazione, berillatura. Classificazione acciai: acciai al carbonio, acciai legati, acciai fortemente legati ed acciai da utensili. Nomenclatura degli acciai - UNI EN 10027. Nomenclatura AISI. Acciai da costruzione. Acciai per calcestruzzo armato. Produzione delle armature per calcestruzzo armato. Acciai ad alta resistenza per calcestruzzo armato precompresso. Acciai al manganese. Acciai al silicio. Acciai al cromo. Acciai inossidabili. Acciai CorTen. Le ghise. Ghisa bianca, grigia, sferoidale e malleabile. Saldabilità e tenacità dei materiali metallici.

Le leghe non ferrose: ottoni, bronzi e leghe di alluminio.

Introduzione leganti. Definizione di pasta, malta e calcestruzzo. Definizione di presa ed indurimento. Classificazione dei leganti.

I leganti aerei: il gesso. Materie prime, produzione del legante. Meccanismo di presa ed indurimento. Impieghi.

I leganti aerei: la calce aerea. Materie prime, produzione del legante. Meccanismo di presa ed indurimento. Impieghi. Utilizzo della calce aerea come stabilizzante dei terreni. Sabbie ed acqua per l'impasto (normative).

I leganti idraulici: la calce idraulica ed il Portland. Materie prime, produzione dei due leganti. Processo di cottura. Similitudini e differenze. Altri esempi di calci idrauliche: la calce idrata pozzolanica e la calce idrata siderurgica. I componenti del clinker. Indici o moduli. I meccanismi di presa e di indurimento del Portland. Il ruolo del solfato di gesso biidrato e la formazione di ettringite. I prodotti dell'idratazione: gel di cemento C-S-H e portlandite. Idratazione e sviluppo della resistenza meccanica. Porosità del cemento, grado di idratazione, segmentazione dei pori, resistenza meccanica e permeabilità. Porosità capillare in funzione del rapporto a/c. Acqua nei pori. Tipi di cemento. Cemento Portland bianco. Cemento Ferrari. Cementi di miscela con aggiunte a base di: pozzolane, ceneri volanti, fumo di silice, loppa d'altoforno. Produzione e idratazione del cemento pozzolanico e del cemento d'altoforno. Resistenza meccanica, lavorabilità. La scelta degli inerti e la curva di Fuller. Degrado del calcestruzzo. Additivi (fluidificanti e superfluidificanti).

Ceramiche tradizionali a pasta compatta (porcellane) ed a pasta porosa (laterizi). Materie prime, processo di produzione ed utilizzi dei ceramici tradizionali. Degrado dei laterizi.

Vetri: materie prime, processo di produzione e tipologie principali.

Materiali polimerici. Termoplastici, termoindurenti ed elastomeri. Polimeri amorfi e semicristallini, proprietà meccaniche, tipi principali di materiali polimerici e loro utilizzo con particolare riferimento ai materiali utilizzati in campo civile-edile.

### Bibliografia e materiale didattico

materiale didattico fornito dal docente

Testi consigliati

Per la parte di chimica applicata all'ambiente:

un testo di fondamenti di chimica di base. Suggestivi: "Fondamenti di Chimica" Silvestroni - Casa Editrice Ambrosiana; "Fondamenti di Chimica" di A.M. Manotti Lanfredi e A. Tiripicchio - Casa Editrice Ambrosiana; "Chimica" di I. Bertini, C. Luchinat e F. Mani - Casa Editrice Ambrosiana, "La Chimica di Base" di F. Nobile e P. Mastrolilli - Casa Editrice Ambrosiana; "Fondamenti di Chimica Generale" III edizione di R. Chang e J. Overby - Casa Editrice Mc Graw Hill.

Per la parte di Tecnologia dei Materiali:

Materiali da Costruzione - Luca Bertolini - Vol. 1 e 2 - Città Studi Edizioni

Concretum - Luigi Coppola - Mc Graw Hill

"Scienza e Tecnologia dei materiali" - W.E. Smith - Mc Graw-Hill oppure "Scienza e Ingegneria dei Materiali" di W.D. Callister, EdiSES.

Per ulteriori approfondimenti:

Corrosione e protezione dei materiali metallici - Pietro Pedferri - Città Studi Edizioni

### Indicazioni per non frequentanti

Studiare gli argomenti descritti nel Syllabus con l'aiuto dei testi suggeriti, approfondendo gli argomenti presenti nelle slides fornite dal docente. Esercitarsi utilizzando i fac-simile di esame forniti dal docente sulla piattaforma digitale utilizzata nel corso per il superamento della prova scritta.

### Modalità d'esame

L'esame consiste di una prova scritta e di una successiva pro orale.

La prova scritta richiede lo svolgimento di esercizi numerici sia sulla parte di Chimica Applicata all'Ambiente che sulla parte di Tecnologia dei



## UNIVERSITÀ DI PISA

---

Materiali (generalmente 6-7 da svolgere in 2.5 ore). Risulta superata ottenendo una valutazione di almeno 18/30

La prova orale consiste nel rispondere a domande relative agli argomenti teorici trattati nel corso e nel sapere affrontare e commentare lo svolgimento di esercizi numerici analoghi a quelli della prova scritta. La prova orale è superata ottenendo una valutazione di almeno 18/30. Il voto finale non è una media matematica della valutazione dello scritto e dell'orale. Il docente peserà maggiormente le conoscenze e competenze dimostrate in fase di colloquio orale.

Il colloquio orale può essere effettuato in un appello di esame successivo a quello nel quale sia stato sostenuto lo scritto.

L'**esame scritto** degli appelli di esame **può essere sostituito superando due compiti parziali**, uno sulla parte di Chimica Applicata all'Ambiente (primo semestre) e uno sulla parte di Tecnologia dei Materiali (secondo semestre). Sarà possibile svolgere il primo compito parziale nelle tre date ufficiali della sessione di esami gennaio-febbraio. Sarà possibile svolgere il secondo compito parziale nella tre date ufficiale della sessione estiva giugno-luglio. Entrambi i compiti parziali sono superati con una valutazione di almeno 18/30. Il colloquio orale potrà essere effettuato in un appello di esame successivo al superamento del secondo compito.

### Stage e tirocini

non sono previsti stage e tirocini durante il corso

### Pagina web del corso

[https://teams.microsoft.com/channel/19%3a1VKDJr0R33f52q03VrwmcRnC1rgnDOKEQ\\_4czc4g2DQ1%40thread.tacv2/Generale?groupId=ab166a00-b0c3-4477-9af3-8bdf23016b41&tenantId=c7456b31-a220-47f5-be52-473828670aa1](https://teams.microsoft.com/channel/19%3a1VKDJr0R33f52q03VrwmcRnC1rgnDOKEQ_4czc4g2DQ1%40thread.tacv2/Generale?groupId=ab166a00-b0c3-4477-9af3-8bdf23016b41&tenantId=c7456b31-a220-47f5-be52-473828670aa1)

### Note

Il docente riceve nel suo studio (sezione di Chimica, primo piano Polo A) previo appuntamento tramite e-mail (sara.filippi@unipi.it)

*Ultimo aggiornamento 27/09/2023 09:25*