



Il restauro con prodotti chimici

I prodotti, il cantiere, le tecniche,
le misure di sicurezza

Giuseppe Spadola

Uno strumento fondamentale per tutti coloro che operano nel settore del restauro di opere ed edifici, soprattutto di quelli che hanno un interesse storico-artistico. Il volume offre un panorama completo di tutte le informazioni necessarie per operare in questo comparto. Si parte dai concetti teorici di chimica, offrendo al lettore una serie di schede di approfondimenti dei problemi più complessi, analizzando tra l'altro il rapporto causa-effetto tra ambiente aggressivo e manufatto. Di

particolare interesse la rassegna delle principali tecniche di pulitura, consolidamento e protezione, con chiarimenti relativi a vantaggi e agli svantaggi delle stesse, riepilogati da tabelle esplicative. Un capitolo parte è poi dedicato ai prodotti chimici esistenti in commercio e di utilizzo più frequente, correlati dai dati chimici e fisici di maggiore importanza.

Ma il libro non si ferma qui e presenta un quadro aggiornato di tutto quello che è necessario per gestire la sicurezza in tutte le sue fasi, dalla progettazione all'intervento di restauro. Offrendo spunti e suggerimenti utili ai coordinatori per la sicurezza, agli esecutori dei lavori ma anche ai capocantieri. In coda al volume, infine, una ricca appendice che spazia dai laboratori specializzati ad eseguire indagini diagnostiche con indicazioni sui costi, alla pratica chimica di cantiere, dalle prescrizioni operative per i centri storici agli adempimenti 626 e 494 per i Coordinatori per la Sicurezza, Committenti e Imprese.

INDICE GENERALE



QUADERNI
per il coordinatore

Introduzione	9
Cos'è e cosa non è questo testo	9

CAPITOLO 1

PRINCIPI DI CHIMICA	11
1.1 Principi di chimica inorganica	11
1.2 Classificazione petrografica e commerciale	12
1.3 Due parole sulla struttura degli atomi	13
1.4 Legami chimici e altro	17
1.4.1 Legami fisici	20
1.5 Cos'è una reazione chimica	22
1.6 Formazione di composti	24
1.7 Il PH: acidità e basicità delle soluzioni	27
1.8 Cosa può avvenire quando sciogliamo un sale nell'acqua?	28
1.9 Chimica organica	29
1.10 Composti aromatici	31
1.11 Nomenclatura dei composti organici	32
1.11.1 Idrocarburi	32
1.11.2 Composti con l'ossigeno	34
1.11.3 Composti con l'azoto	34

SCHEDA 1 - Solubilizzazione e cristallizzazione dei sali	43
SCHEDA 2 - Acqua, degrado, porosità	46
SCHEDA 3 - Emulsioni e soluzioni	51
SCHEDA 4 - I licheni	53
SCHEDA 5 - Il problema della solubilità nei solventi organici e nell'acqua	56

CAPITOLO 2

INTERAZIONE CON L'AMBIENTE	59
----------------------------------	----

2.1 Interazione ambiente aggressivo-manufatto	59
2.1.1 <i>Il degrado è un equilibrio</i>	59
2.2 Fattori di degrado	63

CAPITOLO 3

PULITURA CONSOLIDAMENTO PROTEZIONE	71
--	----

3.1 Premessa	71
3.2 Pulitura	72
3.3 Meccanismi di pulitura	74
3.4 Pulitura chimica	75
3.5 Impacchi biologici	77
3.6 Resine a scambio ionico	77
3.7 Problemi di puliture particolari	78
3.8 Consolidamento	79
3.9 Modalità d'applicazione	82
3.10 Consolidanti inorganici	84
3.11 Consolidanti a base di silicio: silicati alcalini	86
3.12 Consolidanti organici a base di silicio	89

3.13 Consolidanti organici	92
3.14 Protezione	98



CAPITOLO 4

PRODOTTI CHIMICI	101
4.1 Prodotti chimici generici	101
4.2 Prodotti chimici specifici	115

CAPITOLO 5

IL RISCHIO CHIMICO NEL CANTIERE DI RESTAURO	121
5.1 Il rischio chimico generico	121
5.2 Definizioni	122
5.3 Stoccaggio degli agenti chimici pericolosi	124
5.4 Prodotti chimici nel settore dell'edilizia e del restauro	125
5.5 Alcune miscele in uso nel restauro	126
5.6 Scheda di sicurezza	128
5.7 Tossicità dei solventi organici	129
5.8 Calcolo tossicità	134
5.9 Dispositivi di protezione individuale	136
5.10 Incompatibilità	143
5.11 Ulteriori raccomandazioni	145
5.12 Nozioni fondamentali per prevenire l'incendio	147
5.13 Bombole di gas compressi	151
5.14 Elenco presidi di pronto soccorso ed emergenze più frequenti	154

APPENDICI	159
-----------------	-----

APPENDICE A

DEFINIZIONI	161
-------------------	-----

APPENDICE B

PROPRIETÀ DEI MATERIALI	163
-------------------------------	-----

B.1	Caratteristiche dei materiali	163
B.1.1	<i>Cosa si valuta nei materiali lapidei</i>	164
B.1.2	<i>Densità e peso specifico</i>	164
B.1.3	<i>Porosità</i>	166
B.1.4	<i>Proprietà meccaniche</i>	166
B.1.5	<i>Altre proprietà importanti per i lapidei</i>	166

APPENDICE C

TECNICHE DI ANALISI DEI MATERIALI, LABORATORI SPECIALIZZATI, RIF. NORMAL E COSTI ANALISI	171
---	-----

C.1	Indagini diagnostiche sui materiali	171
C.1.1	<i>Conoscenza del materiale lapideo artificiale</i>	188
C.2	Costo indagini analitiche	193

APPENDICE D

PRATICA CHIMICA DI CANTIERE	197
-----------------------------------	-----

D.1	Principi di base	197
-----	------------------------	-----

D.2	Preparazione di soluzioni diluite da soluzioni concentrate	198
D.3	Preparazioni di soluzioni molari da soluti solidi	200
D.4	Regola della croce o delle miscele	201
D.5	Riconoscimento di cationi ed anioni	202

APPENDICE E

ESEMPI DI PRESCRIZIONI PER I CENTRI STORICI

E.1	Prescrizioni operative per interventi nei centri storici	207
E.2	Protocollo per la pulizia e protezione delle superfici esterne degli edifici regolamentazione degli interventi esterni	207
E.3	Metodi per la pulizia di edifici di particolare valore storico-artistico	208
E.4	Allegato "P1" Prodotti per la pulizia dei manufatti lapidei	212

APPENDICE F

TAVOLE DEGLI ADEMPIMENTI PER LA SICUREZZA

F.1	Gli schemi riassuntivi degli adempimenti di cui al D.Lgs. 626/94 e smi	217
F.2	Compiti del committente, del responsabile del procedimento (in caso di LL.PP.), del responsabile dei lavori	221
F.3	Compiti del coordinatore nella fase di esecuzione	224
F.4	Compiti delle imprese	226

APPENDICE G

ESEMPIO DI SCHEDA DI SICUREZZA.....

Bibliografia essenziale	237
-------------------------------	-----



Introduzione



QUADERNI
per il coordinatore

Il testo riunisce le conoscenze necessarie per affrontare le tematiche del restauro chimico in particolare e l'uso dei prodotti chimici nel campo dell'edilizia in generale.

Il fatto di non essere un testo di chimica né tanto meno uno sul restauro nel senso tradizionale del termine, costituisce una specificità perché vengono affrontati tutte le tematiche che danno alla trattazione una sua univocità che spazia dalla teoria alla pratica che a mio avviso mancava nel panorama editoriale di settore.

Per arrivare a questa impostazione, è stata fondamentale l'attività di docenza svolta nella Scuola Edile di Ragusa per molti anni, e la partecipazione come componente alla Commissione Risanamento Centri Storici di Ragusa Ibla (istituita ai sensi della Legge Regionale Siciliana 61/81, la cui applicazione ha contribuito a far includere Ibla, set privilegiato della serie televisiva del Commissario Montalbano, nel patrimonio UNESCO).

Il testo risponde non solo ai perché del degrado dei materiali e al ruolo potente che giocano in quest'ambito l'acqua e l'ambiente aggressivo, ma mette insieme elementi di conoscenza di pratica chimica di cantiere, di conoscenza di prodotti e di misure per il loro utilizzo in sicurezza, ma dà anche le cognizioni per orientarsi nel complesso mondo dei prodotti chimici per il restauro che l'industria mette a disposizione.

Il problema rilevante del rischio chimico e delle tematiche connesse in ordine agli adempimenti per la sicurezza in cantiere è comunque l'aspetto centrale del volume, perché dà suggerimenti operativi utili a chi deve gestire la sicurezza sia nella fase di progettazione dell'intervento di restauro sia in quella di restauro, fornendo spunti e suggerimenti utili agli esecutori dei lavori ma anche a capocantieri, a imprese che devono redigere POS, ai Progettisti e ai Coordinatori per la Sicurezza che devono approntare i Piani di Sicurezza e Coordinamento.

Chiude il testo un'appendice, che contrariamente al ruolo "riempitivo" che gioca in genere nei testi, rappresenta una parte complementare forse più importante del resto, perché spazia dalla pratica chimica di cantiere alle definizioni NorMaL, dalle proprietà dei materiali ai laboratori specializzati a eseguire indagini diagnostiche con indicazioni sui loro costi, dagli adempimenti 626 e 494 per Coordinatori, Committenti e Imprese, alle prescrizioni operative per Amministrazioni e Commissioni per i Centri Storici.

Penso in definitiva che il testo possa essere da un lato considerato un inizio per favorire approfondimenti, dall'altro un mezzo per acquisire assieme alla necessaria esperienza, la cognizione sulle tematiche esistenti quando si affronta un restauro, e non solo.

Naturalmente sarò grato a tutti coloro che vorranno segnalare mancanze ed errori, proporre integrazioni, sottoporli critiche.

Giuseppe Spadola

(giuseppespadola@tiscali.it)

Anzitutto abbiamo rilevato che l'edificio è un corpo, e, come tutti gli altri corpi consiste di disegno e materia: il primo elemento è in questo caso opera dell'ingegno, l'altro è prodotto dalla natura; l'uno necessita di una mente raziocinante, per l'altro si pone il problema del reperimento, della scelta e della cura.

Leon Battista Alberti

De Re Aedificatoria-Firenze 1484

PRINCIPI DI CHIMICA

1.1 Principi di chimica inorganica

Sulla base di un gran numero di analisi chimiche effettuate su campioni di rocce raccolti seguendo un criterio statistico di rappresentatività nella crosta terrestre, è stata compilata una graduatoria degli elementi più diffusi nelle rocce, indipendentemente dalla genesi di queste:

**ossigeno: 46,6%; silicio: 27,7%; alluminio: 8,1%;
ferro: 5,0%; calcio: 3,6%; sodio: 2,8%;
potassio: 2,6%; magnesio: 2,1%**

Questi otto elementi, che hanno ciascuno una percentuale superiore all'1%, costituiscono quasi il 99% e sono detti elementi maggiori.

Fosforo, titanio, e manganese hanno una percentuale compresa fra 1% e 0,1% sono detti elementi minori. Gli altri elementi (inferiori allo 0,1%) sono detti elementi in traccia.

Dopo gli elementi, consideriamo adesso i composti ovvero i minerali che più frequentemente sono presenti nelle rocce:

1. **ELEMENTI:** rame **Cu**, argento **Ag**, oro **Au**
2. **SOLFURI:** pirite **FeS₂**
3. **ALOIDI(*)**: salgemma **NaCl**
4. **OSSIDI:** quarzo **SiO₂**, ematite **Fe₂O₃**
5. **CARBONATI:** calcite **CaCO₃**, dolomite **CaMg (CO₃)₂**
6. **SOLFATI:** gesso **CaSO₄ · 2 H₂O**
7. **FOSFATI, ARSENIATI, VANADIATI:** apatite
8. **SILICATI:** sono costituiti da silicio, ossigeno e metalli e sono caratterizzati dalla presenza di tetraedri ("piramidi" a base triangolare con quattro facce eguali tra loro) corrispondenti al gruppo **(SiO₄)⁴⁻**.

() Minerale nella cui composizione chimica ci sono metalli e alogeni (cloro, bromo...)*



1.2 Classificazione petrografica e commerciale

La classificazione petrografica è basata su un criterio genetico.

MAGMATICHE - Rocce originate da cristallizzazione di magmi (granito, porfido, basalto).

SEDIMENTARIE - rocce originate da deposizione di sedimenti (arenaria, argilla, tufo; calcare, dolomia, travertino).

METAMORFICHE - rocce originate da aumenti di temperatura e pressione (quarzite, marmo.. ¹).

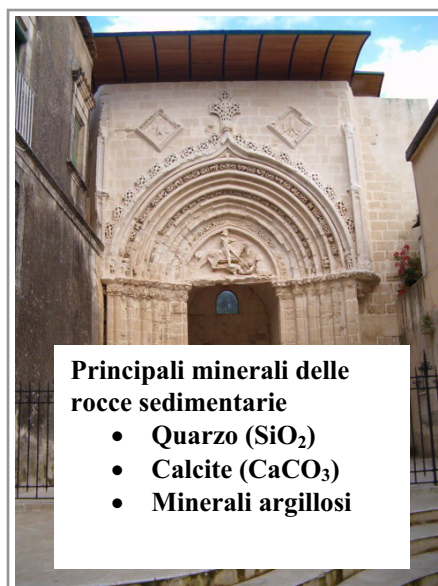
La classificazione commerciale considera invece criteri diversi quali la lucidabilità, la lavorabilità, ecc.

GRANITI - rocce resistenti di natura silicatica, lucidabili.

PIETRE - rocce compatte o porose, non lucidabili.

MARMI - rocce compatte di natura carbonatica, lucidabili.

TRAVERTINI - rocce ricche di cavità, compatte, lucidabili.



Si capisce, già dall'inizio, come sia necessario conoscere i costituenti della materia, partendo dai suoi componenti più semplici: gli elementi.

La Chimica è la conoscenza dei suoi processi elementari a questo punto diventa una necessità per capire.

Questo è possibile cominciando subito a ragionare sulla tavola periodica degli elementi che un chimico russo iniziò a elaborare attorno al 1870². La tavola è detta periodica, perché ci si accorse quasi subito, che certe proprietà degli elementi si presentavano con una certa periodicità al variare degli stessi. Mi spiego meglio.

1. Per citare solo i più noti

2. In appendice è riportata una tavola degli elementi ingrandita per il calcolo dei pesi molecolari dei composti

1.3 Due parole sulla struttura degli atomi

L'atomo può essere semplicemente considerato un sistema solare in miniatura: esso è costituito da un nucleo centrale circondato da "pianeti" che vi ruotano intorno su precise orbite. Il nucleo ha una dimensione 10.000 volte inferiore a quella dell'intero atomo, ma è così denso che vi è concentrata quasi tutta la sua massa; esso è un grappolo di particelle che aderiscono strettamente l'una con l'altra. Si può dire con una efficace espressione che l'atomo è un sistema altamente vuoto.

Tab. 1.1 - Caratteristiche fisiche delle particelle che costituiscono un atomo

	DIMENSIONI (cm)	Massa (grammi)	CARICA
PROTONE	10^{-13}	$1,67 \times 10^{-24}$	Positiva
NEUTRONE	10^{-13}	$1,67 \times 10^{-24}$	Nulla
ELETTRONE	10^{-13}	$9,10 \times 10^{-28}$	Negativa

10^{-13} cm = decimillesimi di miliardesimi di centimetro

10^{-24} g = milionesimi di miliardesimi di miliardesimi di grammo

Ogni elemento è caratterizzato dall'avere un Numero Atomico, che indica il numero di elettroni (o di protoni) posseduti da ogni atomo. Sulla base di questo numero, sappiamo quanti elettroni devono essere considerati per ogni elemento.

Consideriamo nella tabella che segue, la distribuzione degli elettroni nei diversi livelli energetici, a partire da quello più vicino al nucleo. E' questa distribuzione, che genera le proprietà fisiche e chimiche degli elementi. Per cui una volta per tutte dobbiamo capire come funziona l'ordinamento degli elementi nell'ambito della Tavola degli Elementi. Indicheremo con $\rightarrow$ il simbolo che rappresenta i 2 elettroni che può ospitare ogni singolo orbitale.

****	****	*****
Quarto livello	f	$\rightarrow$ $\rightarrow$ $\rightarrow$ $\rightarrow$ $\rightarrow$ $\rightarrow$ $\rightarrow$ $\rightarrow$
	d	$\rightarrow$ $\rightarrow$ $\rightarrow$ $\rightarrow$ $\rightarrow$
	p	$\rightarrow$ $\rightarrow$ $\rightarrow$
	s	$\rightarrow$
Terzo livello	d	$\rightarrow$ $\rightarrow$ $\rightarrow$ $\rightarrow$ $\rightarrow$
	p	$\rightarrow$ $\rightarrow$ $\rightarrow$
	s	$\rightarrow$
Secondo livello	p	$\rightarrow$ $\rightarrow$ $\rightarrow$
	s	$\rightarrow$
Primo livello	s	$\rightarrow$
Nucleo		



Nella tabella che segue è riportata la disposizione elettronica dei primi elementi che compaiono nella Tavola.

Tab. 1.2

ELEMENTO	N.A.	DISPOSIZIONE DEGLI ELETTRONI
H	1	☹
He	2	☺
Li	3	☺ ☹
B	4	☺ ☺
Be	5	☺ ☺ ☹
C	6	☺ ☺ ☹☹○
N	7	☺ ☺ ☹☹☹
O	8	☺ ☺ ☹☹☹
F	9	☺ ☺ ☹☹☹
Ne	10	☺ ☺ ☹☹☹
Na	11	☺ ☺ ☹☹☹ ☹
....		
Cl	17	☺ ☺ ☹☹☹ ☹ ☹☹☹

☺ la faccina allegra indica che nell'orbitale vi sono due elettroni. E' la situazione migliore da un punto di vista energetico.

☹ questa faccina indica invece che nell'orbitale vi è un solo elettrone. L'espressione triste sta ad indicare il fatto che da un punto di vista energetico il sistema è instabile. Per essere stabile deve avere nell'ultima orbita 2 elettroni o 8.

Questa situazione si esplicita dicendo che l'atomo tende a raggiungere la configurazione stabile (dal punto di vista energetico) dell'ottetto, o meglio, che nel formare legami tende ad assumere la configurazione del gas nobile più vicino nella tavola degli elementi.

Tuttavia il problema del collocamento degli elettroni non è così semplice come potrebbe sembrare. Vi sono infatti delle discontinuità, dovute a motivi energetici, che fanno fare dei salti nell'elencazione degli elementi.

Questo avviene dopo il calcio Ca, dopo lo stronzio Sr, dopo il bario Ba e dopo il radio Ra, dove dopo l'orbitale s di un certo livello, anziché essere riempiti gli orbitali p, vengono riempiti gli orbitali d (e abbiamo gli elementi di transizione) o addirittura f (e abbiamo i lantanidi e gli attinidi).

gruppo A abbiamo:

- Gruppo I A $\Rightarrow$ famiglia dei metalli alcalini
- Gruppo II A $\Rightarrow$ famiglia dei metalli alcalino-terrosi
- Gruppo III A $\Rightarrow$ famiglia dei metalli terrosi
- Gruppo VII A $\Rightarrow$ famiglia degli alogeni
- Gruppo VIII A (Gruppo 0) $\Rightarrow$ famiglia dei gas nobili (vi fa parte anche l'elio He che in linea di principio dovrebbe appartenere al IIA, ma poiché è stabile, inerte a reagire, viene messo in questo gruppo).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1A	2A	3B	4B	5B	6B	7B	8B	8B	8B	1B	2B	3A	4A	5A	6A	7A	8A
TAVOLA PERIODICA DEGLI ELEMENTI																	
1 <u>H</u>	18 Gruppi (colonne verticali)																2 <u>He</u>
3 <u>Li</u>	4 <u>Be</u>	7 Periodi ⁴ (righe orizzontali)										5 <u>B</u>	6 <u>C</u>	7 <u>N</u>	8 <u>O</u>	9 <u>F</u>	10 <u>Ne</u>
11 <u>Na</u>	12 <u>Mg</u>											13 <u>Al</u>	14 <u>Si</u>	15 <u>P</u>	16 <u>S</u>	17 <u>Cl</u>	18 <u>Ar</u>
19 <u>K</u>	20 <u>Ca</u>	21 <u>Sc</u>	22 <u>Ti</u>	23 <u>V</u>	24 <u>Cr</u>	25 <u>Mn</u>	26 <u>Fe</u>	27 <u>Co</u>	28 <u>Ni</u>	29 <u>Cu</u>	30 <u>Zn</u>	31 <u>Ga</u>	32 <u>Ge</u>	33 <u>As</u>	34 <u>Se</u>	35 <u>Br</u>	36 <u>Kr</u>
37 <u>Rb</u>	38 <u>Sr</u>	39 <u>Y</u>	40 <u>Zr</u>	41 <u>Nb</u>	42 <u>Mo</u>	43 <u>Tc</u>	44 <u>Ru</u>	45 <u>Rh</u>	46 <u>Pd</u>	47 <u>Ag</u>	48 <u>Cd</u>	49 <u>In</u>	50 <u>Sn</u>	51 <u>Sb</u>	52 <u>Te</u>	53 <u>I</u>	54 <u>Xe</u>
55 <u>Cs</u>	56 <u>Ba</u>	* <u>La</u>	71 <u>Hf</u>	72 <u>Ta</u>	73 <u>W</u>	74 <u>Re</u>	75 <u>Os</u>	76 <u>Ir</u>	77 <u>Pt</u>	78 <u>Au</u>	79 <u>Hg</u>	80 <u>Tl</u>	81 <u>Pb</u>	82 <u>Bi</u>	83 <u>Po</u>	84 <u>At</u>	85 <u>Rn</u>
87 <u>Fr</u>	88 <u>Ra</u>	** <u>Lr</u>	103 <u>Rf</u>	104 <u>Db</u>	105 <u>Sg</u>	106 <u>Bh</u>	107 <u>Hs</u>	108 <u>Mt</u>	109 <u>Ds</u>	110 <u>Rg</u>	111 <u>Uub</u>	112 <u>Uut</u>	113 <u>Uuq</u>	114 <u>Uup</u>	115 <u>Uuh</u>	116 <u>Uus</u>	117 <u>Uuo</u>
		* <u>La</u>	57 <u>Ce</u>	58 <u>Pr</u>	59 <u>Nd</u>	60 <u>Pm</u>	61 <u>Sm</u>	62 <u>Eu</u>	63 <u>Gd</u>	64 <u>Tb</u>	65 <u>Dy</u>	66 <u>Ho</u>	67 <u>Er</u>	68 <u>Tm</u>	69 <u>Yb</u>	* <u>Lantanidi</u>	
		** <u>Ac</u>	89 <u>Th</u>	90 <u>Pa</u>	91 <u>U</u>	92 <u>Np</u>	93 <u>Pu</u>	94 <u>Am</u>	95 <u>Cm</u>	96 <u>Bk</u>	97 <u>Cf</u>	98 <u>Es</u>	99 <u>Fm</u>	100 <u>Md</u>	101 <u>No</u>	**	

Per il primo e secondo livello di energia la distribuzione è normale ovvero: $1s^2 2s^2 2p_x^2 2p_y^2 2p_z^2$. A questo punto si manifesta il fenomeno delle sovrapposizioni delle energie questo è dovuto al raggio del livello che entra nel livello successivo e alla maggior penetrazione degli orbitali degli orbitali del terzo livello per cui: $3s^2 3p_x^2 3p_y^2 3p_z^2$. Invece di occupare gli orbitali 3d gli elettroni occupano gli orbitali 4s che hanno una minore energia degli orbitali 3d successivamente si occupano gli orbitali 4p che presentano energia maggiore rispetto ai 4s. $4s^2 3d^{10} 4p_x^2 4p_y^2 4p_z^2$. Ora invece di occupare gli orbitali 4d si verifica nuovamente il fenomeno della sovrapposizione e della differente distribuzione delle energie. Distribuzione sotto riportata. $5s^2 4d^{10} 5p^6 6s^2 4f^{14} 5d^{10} 6p^6 7s^2 5f^{14} 6d^{10} 7p^6$. Queste regole della distribuzione sono conosciute come regola dell'Aufbau dato il numero atomico è possibile costruire la struttura atomica e collocare l'elemento nella giusta posizione ovvero il periodo ed il gruppo di appartenenza.