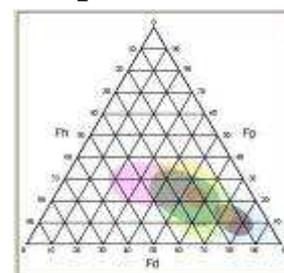


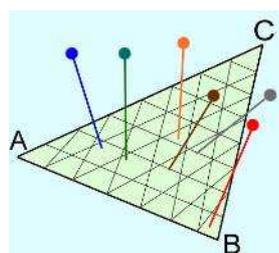
 Nel primo anno di corso presso la scuola di alta formazione dell'ISCR, ancora prima della legge 626/94, che prevede la formazione-informazione relativa alla normativa di sicurezza, si svolge da molti anni, nell'ambito delle lezioni di chimica, un modulo sul "[Rischio chimico nel laboratorio e nel cantiere di restauro](#)"¹. Si riconferma ogni anno l'interesse dei nuovi allievi verso la componente tecnica in grado di ridurre il rischio all'esposizione da sostanze chimiche in uso nella conservazione dei beni culturali.

 La conoscenza e la passione per la professione tengono alta la soglia di attenzione: sono "strumenti" utili ad abbattere i pericoli² nelle fasi operative di restauro e ad assicurare il livello qualitativo dell'intervento.

 Tra le componenti tecniche in grado di ridurre il rischio chimico e di elevare il livello qualitativo degli interventi conservativi si introduce da più di due decenni - durante i corsi di Chimica Applicata - lo "strumento" della conoscenza teorica e pratica delle proprietà dei solventi³ e in particolare del triangolo di Teas⁴ - relativo ai solventi e alle aree di solubilità di sostanze naturali e sintetiche in uso nel restauro. Ciò permette - nelle fasi di pulitura delle superfici, di rimozione dei materiali di alterazione e di applicazione di sostanze protettive o di altro genere - di sostituire i solventi tossici e cancerogeni con miscele alternative a bassa tossicità e di usarne selettivamente il potere solvente⁵.



Triangolo delle solubilità



E' possibile assegnare a ogni solvente puro una posizione sul triangolo dei solventi, definita dalla terna dei valori dei tre parametri di solubilità fd , fp , fh ⁶, che ne rappresenta il potere solvente.

Sono rappresentati sul triangolo i solventi non reattivi, che interagiscono esclusivamente con meccanismo di tipo fisico, non mutando quindi la propria natura chimica e quella dei materiali con cui sono posti a contatto.

¹ Lucidi dalle lezioni ICR sul "Rischio chimico nel laboratorio e nel cantiere di restauro", disponibili presso: http://www.iscr.beniculturali.it/images/stories/file/TriSolv/doc/rischio_chimico.pdf - M. Coladonato, 2008

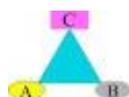
² Per i materiali in uso nel restauro sono da sottolineare, oltre al rischio tossicologico, l'infiammabilità, la reattività e altri aspetti ancora. Vedi atti del convegno: Il restauro visto da vicino - Roma, La Sapienza 18-19 giugno 2004.

³ Masschelein Kleiner, L. - "Les Solvants", Institut Royal du Patrimoine Artistique, Bruxelles -1991.

⁴ Teas, J. P. - Graphic analysis of Resin Solubilities. Journal Paint Technology - vol. 40 n. 516, pagg 19-25 - 1968

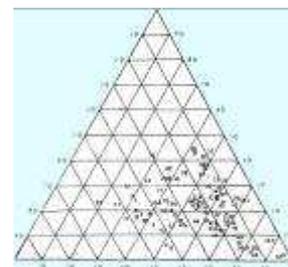
⁵ Talarico F., Coladonato M. - Impiego dei parametri di solubilità nel restauro - Materiali e strutture, a.VII, n. 1 - 1997

⁶ Barton A. F. M., CRC Handbook of solubility parameters and other cohesion parameters, 4th ed, CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida 1998.



Si rimanda ad uno studio piu' approfondito dell'argomento: i limiti e i vantaggi di qualsiasi strumento sono connaturati in esso ma dipendono soprattutto dalla "saggezza" che si ottiene con la sperimentazione legata alla conoscenza teorica.

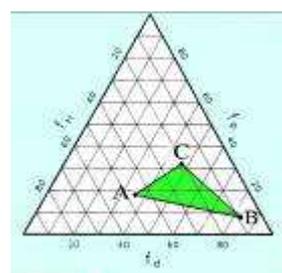
In queste note viene presentato un **TRIANGOLO INTERATTIVO DEI SOLVENTI E DELLE SOLUBILITÀ**[©], per formulare miscele, con i relativi parametri di solubilità, senza ricorrere al metodo grafico - semplice⁷ ma di non elevata precisione – o al matematico, preciso ma più complicato⁸



Triangolo dei solventi

E' possibile, in tempo reale, sul **TRIANGOLO INTERATTIVO DEI SOLVENTI E DELLE SOLUBILITÀ**[©]:

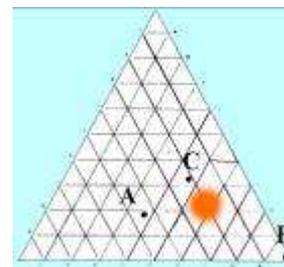
1-Centrare con il puntatore del mouse - all'interno del triangolo sotteso da tre solventi predefiniti A, B, C - una terna di parametri di solubilità f_d , f_p , f_h e ottenere la composizione della miscela di A, B, C avente gli stessi valori dei parametri di solubilità centrati con il puntatore.



Miscela ternarie

2-Formulare miscele⁹ con parametri di solubilità relativi a solventi puri "virtuali": il comportamento di queste miscele e' - dal punto di vista dei parametri di solubilità – equivalente a quello di un ipotetico solvente puro che ricade sullo stesso punto del triangolo di Teas.

3-Individuare selettivamente un punto sull'area di solubilità di sostanze naturali o sintetiche¹⁰ e ottenere miscele di solventi predefiniti A, B, C idonee alla loro dissoluzione, anche se questi non solubilizzano individualmente le sostanze stesse.

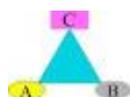


⁷ Talarico F., Coladonato M. – op. cit., pagg. 31-33.

⁸ Talarico F., Coladonato M. – op. cit., pagg. 33-34.

⁹ La formulazione delle miscele viene sempre espressa in rapporti in volume; i risultati sperimentali indicano che la differenza tra volumi e volumi molari – che andrebbero correttamente usati da un punto di vista teorico – non è operativamente significativa.

¹⁰ Le aree di solubilità delle resine naturali e sintetiche inserite nell'elenco sono estrapolate dal testo di Horie, C. V., Materials for conservation. Organic Consolidants, Adhesives and Coatings – Butterworth-Heinemann, Oxford - 1987. Il contorno tratteggiato delle aree indica che miscele borderline potrebbero interagire con discreta efficacia.

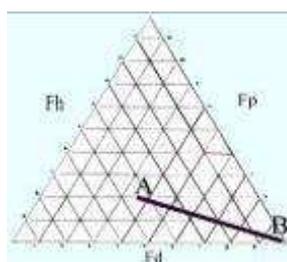


Nell'esempio a fianco i tre solventi A, B, C non ricadono nell'area di solubilità colorata in arancione ma è possibile formulare con essi miscele ternarie che si posizionino all'interno di tale area.

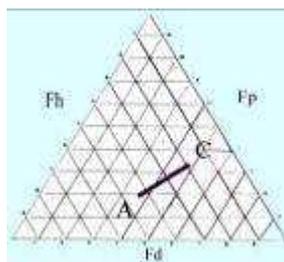
4-Selezione un solvente puro¹¹ o una miscela¹² di solventi puri o un formulato commerciale¹³ dal menù *lista solventi e miscele* e ottenere la miscela sostitutiva desiderata, qualora rientri nell'area sottesa dai solventi A, B, C.

5-Selezione una sostanza dal menù *aree di solubilità* (relativo a resine naturali e sintetiche) da sovrapporre alle aree delle altre sostanze naturali e poi formulare miscele che solubilizzino selettivamente le sostanze di interesse¹⁴.

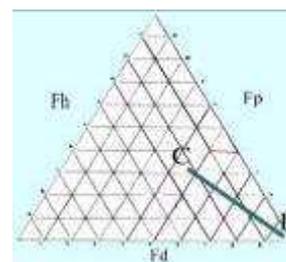
6-Inserire le percentuali dei tre componenti prescelti A, B, C e ottenere i parametri di solubilità fd, fp, fh della miscela binaria (ponendo la percentuale di uno dei tre solventi pari a zero) o ternaria desiderata e la posizione sul triangolo.



Miscele binarie AB



Miscele binarie AB



Miscele binarie AB

7-Preparare miscele *ad hoc* da sperimentare sulle sostanze da rimuovere o da applicare, accanto o in alternativa ai test di solubilità secondo Feller¹⁵, Wolbers¹⁶ o, più recentemente, Cremonesi¹⁷.

In appendice 2 sono suggerite alcune proposte facilmente riproponibili da un punto di vista pratico.

¹¹ Per solvente puro si intende un prodotto a concentrazione vicino al 100% (reagenti di grado analitico o per analisi).

¹² Sono state inserite nell'elenco dei solventi anche miscele "storiche" sostituibili con miscele a base di solventi meno tossici. Vedi Talarico F., Coladonato M. – op. cit., pagg. 35-37.

¹³ Prodotti commerciali come il diluente nitro sono poco indicati per il restauro perché presentano, al di là del rischio tossicologico, formulati diversi per la stessa denominazione; ciò comporta una difficoltà nel conoscere esattamente le composizioni dei singoli prodotti commerciali e conseguentemente un'indeterminatezza del potere solvente.

¹⁴ Esperienze in tal senso sono state condotte presso i cantieri e i laboratori ICR con risultati positivi; alcuni esempi:

- rimozione di acrilici su superfici dipinte ad olio - Cappella della Madonna – S. Giovanni Fiorentini – Roma 1995

- rimozione di cera d'api dalle superfici dipinte della Casa dei Vetti – Pompei 1996

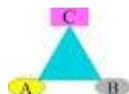
- riadesione pellicola pittorica con acrilico su dipinto a tempera – Istituto Studi Romani – Roma 1998

- miscela per applicazione polimero acrilico protettivo della statua del Satiro di Mazara del Vallo - 2002.

¹⁵ Feller, Robert L., The Relative Solvent Power Needed to Remove Various Aged Solvent Type Coatings, in "Preprints of the IIC Congress, Lisbon", pagg. 158-161, London, 1972.

¹⁶ Wolbers, Richard - "Methods of cleaning Painted Surfaces", Archetype Publications, London 2000.

¹⁷ Cremonesi, P. – Signorini, E. – "L'uso dei solventi organici neutri nella pulitura dei dipinti: un nuovo test di solubilità. Progetto restauro n. 31/2004.



Quanto ora esposto concorre a definire le molteplici applicazioni della formulazione **in tempo reale** di miscele per mezzo del **TRIANGOLO INTERATTIVO DEI SOLVENTI E DELLE SOLUBILITÀ**[©].

I solventi attualmente prescelti sono sette, appartenenti alle classi:

A – Alcoli

B – Idrocarburi alifatici

C – Chetoni

Sono così rappresentati i tre tipi di interazioni – fh, fd, fp – che contribuiscono alla formazione dei legami intermolecolari:

1 – legame idrogeno (fh)

2 – legame a corto raggio (Van der Waals o dipolo istantaneo) (fd)

3 – legame dipolo-dipolo (dipolo permanente) (fp)

Solventi predefiniti:

-**Alcoli: alcol etilico**¹⁸, **alcol isopropilico**

-**Idrocarburi: isoottano, n-ottano**¹⁹, **n-nonano**

-**Chetoni: dimetilchetone - metiletilchetone**

I motivi della scelta di questi solventi - che sono i componenti delle miscele dal 1995 denominate TaCo presso i laboratori di restauro ICR²⁰ e ora aggiornate - sono riportati di seguito.

1-Minore tossicità: i valori di TLV-TWA, compresi nell'intervallo tra 200 e 1000 mg/mc (ppm - appendice 1- sono tra i più elevati rispetto ai solventi organici comunemente impiegati nel restauro e rientrano nella fascia di minor rischio tossicologico.

La minore tossicità non è opportuna solo per l'operatore, i benefici si riversano anche sull'ambiente.

A tal proposito vanno osservate procedure ben definite per l'immagazzinamento, la raccolta e lo smaltimento dei rifiuti tossici e nocivi²¹.



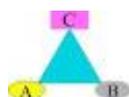
56° corso. Allievi dopo le lezioni sul rischio chimico

¹⁸ L'alcol etilico forma con l'acqua un azeotropo (95:5); l'uso dell'alcol al 95% in miscela con altri solventi dà risultati paragonabili a quelli dell'alcol al 99%-100% (i parametri di solubilità variano pochissimo: rispettivamente Fd: 35 – 36, Fp: 19 – 18, Fh: 46 – 46). L'acqua miscelata con solventi non reattivi contribuisce alle interazioni di tipo fisico; le interazioni chimiche avvengono in presenza di acidi o basi ma non sono rappresentabili con il triangolo di Teas.

¹⁹ Il n-ottano si pone - dal punto di vista delle caratteristiche chimico-fisiche - tra l'isoottano e il n-nonano (tabella in appendice 1). Può essere utilmente impiegato per formulare miscele a media volatilità.

²⁰ Così dal 1995 sono state denominate dagli allievi del corso ICR alcune miscele alternative al diluente nitro - con Fp= 60, 65, 70 e a tre diverse volatilità - proposte in: Talarico F., Coladonato M. – op. cit., pag. 37-39.

²¹ Lucidi delle lezioni sul "Rischio chimico nel laboratorio e nel cantiere di restauro", op. cit.

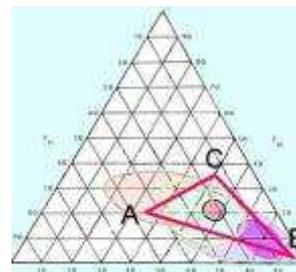


2-Alto grado di purezza²², che si traduce in univocità di:

- parametri di solubilità
- valori tossicologici
- posizione sul triangolo dei solventi
- velocità di evaporazione

3-All'interno dell'area che le tre classi di solventi sottendono nel triangolo e' consentita la formulazione di miscele alternative ai solventi puri o alle miscele con i parametri di solubilità che rientrano nell'area sottesa.

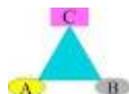
La sovrapposizione di un punto corrispondente a precisi parametri di solubilità con le aree di solubilità delle sostanze naturali e sintetiche individua la idoneità delle miscele formulate a solubilizzare i materiali da rimuovere o da applicare.



4-La diversa velocità di evaporazione dei solventi omologhi all'interno delle tre classi predefinite permette di formulare - a seconda delle esigenze - miscele con parametri di solubilità equivalenti ma con tempi di contatto sulle superfici più o meno prolungati²³

²² Il costo elevato dei solventi a concentrazione di grado analitico è giustificato dalla maggior sicurezza per gli operatori (precisi parametri tossicologici, di infiammabilità, di reattività, assenza di impurezze) e per il manufatto (precisi parametri di solubilità, ritenzione, tensione di vapore).

²³ L'impiego di gel, supportanti e sospendenti contribuisce ad un controllo operativo - da un punto di vista tossicologico, ambientale e di prestazioni - della diffusione, ritenzione e volatilità dei solventi e delle miscele; è disponibile in tal senso una vasta bibliografia, si segnalano tra gli altri i seguenti autori: P. Cremonesi, F. Talarico, R. Wolbers.



AVVERTENZE



LA PROPOSTA DEL *TRIANGOLO INTERATTIVO DEI SOLVENTI E DELLE SOLUBILITÀ*® E' SOPRATTUTTO UNO STIMOLO A PROSEGUIRE SULLA VIA DELLA CONSAPEVOLEZZA CHE SI PERSEGUE CONTINUANDO A "IMPARARE AD IMPARARE"²⁴ POICHE', COME GIÀ ACCENNATO, LA CONOSCENZA E LA PASSIONE SONO GLI "STRUMENTI" CHE SALVAGUARDANO L'OPERATORE E I BENI SOTTOPOSTI A INTERVENTI CONSERVATIVI.

IL *TRIANGOLO INTERATTIVO DEI SOLVENTI E DELLE SOLUBILITÀ*® E' UNO "STRUMENTO EVOLUTO": ALLA BASE DEL SUO FUNZIONAMENTO, OLTRE A UN'ESPERIENZA VENTENNALE APPLICATIVA E DIDATTICA DI USO DEL TRIANGOLO DI TEAS, C'E' UNA MOLTEPLICITA' DI INFORMAZIONI E DI SCELTE "FILOSOFICHE" E METODOLOGICHE NON IMMEDIATAMENTE EVIDENTI

PER QUESTO MOTIVO E' OPPORTUNO EVITARE DI USARE QUESTO "STRUMENTO" IN INTERVENTI CHE POSSANO CONDURRE A ESITI NON PRIVI DI RISCHI, SENZA IL NECESSARIO SUPPORTO FORMATIVO

USARE MISCELE ALTERNATIVE OTTENUTE CON IL *TRIANGOLO INTERATTIVO DEI SOLVENTI E DELLE SOLUBILITÀ*® - SENZA ADEGUATA PREPARAZIONE E CONOSCENZA TEORICA E PRATICA - PUO' PORTARE AD EFFETTI IMPREVISTI E INDESIDERATI.

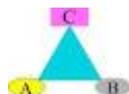
NON SI RISPONDE PERTANTO DELL'USO IMPROPRIO DEL *TRIANGOLO INTERATTIVO DEI SOLVENTI E DELLE SOLUBILITÀ*® DA PARTE DEGLI UTILIZZATORI.

E' VIETATO RIPRODURRE O PUBBLICARE, ANCHE SOLO IN PARTE, I TESTI E LE IMMAGINI DEL *TRIANGOLO INTERATTIVO DEI SOLVENTI E DELLE SOLUBILITÀ*® SENZA IL PERMESSO DEGLI AUTORI

CONTATTI: maurizio.coladonato@beniculturali.it

paolo.scarpitti@beniculturali.it

²⁴ Kopp, S. B., Se incontri il Buddha per strada uccidilo, pag. 167 - Casa Editrice Astrolabio – Roma, 1975



APPENDICE 1

Solventi predefiniti nel **TRIANGOLO INTERATTIVO DEI SOLVENTI E DELLE SOLUBILITÀ**©**INFIAMMABILITÀ, TOSSICITÀ, GRADO DI EVAPORAZIONE E PERICOLOSITÀ RELATIVE**

SOLVENTI	Te	FP_A	FP_C	TLV-TWA	G.E.R.	P.R.
-----------------	-----------	-----------------------	-----------------------	----------------	---------------	-------------

ALCOLI						
ETANOLO	78	16	14	1000	8,3	8300
ISOPROPANOLO	82	20		400	21	8400

IDROCARBURI						
ISOOTTANO	99	-12		300		
N-OTTANO	126	22	15	300		
N-NONANO	151		31	200		

CHETONI						
ACETONE	56	-9	-17	500	2,1	1050
METILETILCHETONE	80	-5,6	-7	200	3,1	620

TLV-TWA = valore limite di soglia (ppm, 8 h/giorno – 5 giorni/settimana)

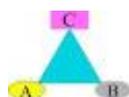
G.E.R. = Grado di Evaporazione Relativa (al dietilere)

P.R. = Pericolosità Relativa (TLV x G.E.R.)

Te = temperatura di ebollizione (°C)

FP_a = Flash Point (temperatura di infiammabilità, °C) a contenitore aperto

FP_c = Flash Point (temperatura di infiammabilità, °C) a contenitore chiuso



APPENDICE 2

Miscele per test di solubilità con il **TRIANGOLO INTERATTIVO DEI SOLVENTI E DELLE SOLUBILITÀ**[©]

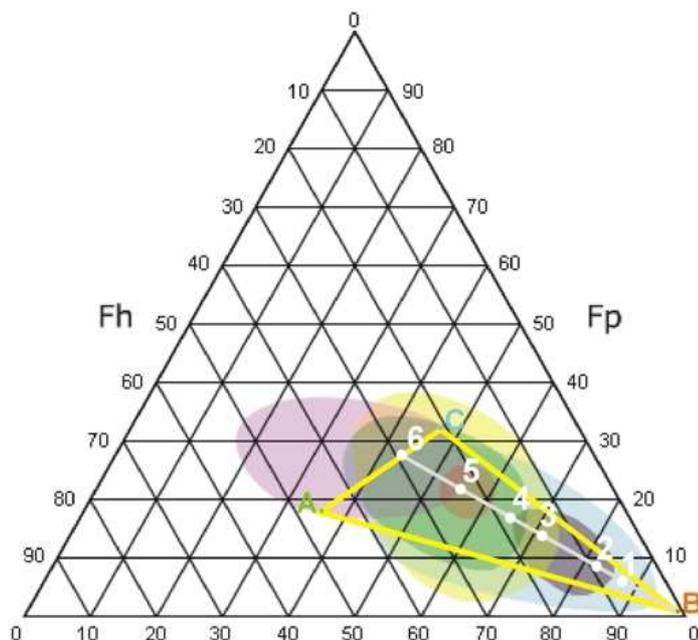


FIGURA 1– Miscele per test di solubilità

Formulata una miscela **6** con i solventi **A** e **C**, e' possibile diluire con questa il solvente **B** per ottenere una serie di miscele che si allineano lungo il segmento **B-6**, utili per i test di solubilità verso le sostanze rappresentate dalle aree su cui le miscele stesse ricadono in successione. Nella fig. 1 sono riportate le miscele **1, 2, 3, 4, 5** che si ottengono diluendo il solvente **B** – isottano - con aliquote diverse della miscela **6** composta dal 30% di alcool etilico (**A**) e dal 70% di acetone (**C**); i valori % sono indicati nelle colonne 6-8-10 della tabella 2. Nella colonna 9 sono evidenziate le aree di solubilità su cui ricadono le miscele. Si noti che il rapporto tra **A** e **C** rimane costante nelle miscele da **1** a **5**²⁵.

n	Fd	Fp	Fh	solvente A	%A	solvente B	%B	solvente C	%C	note
1	87	6	7	ALCOOL ETILICO	6	ISOOTTANO	80	ACETONE	14	av-O
2	82	9	9	ALCOOL ETILICO	9	ISOOTTANO	70	ACETONE	21	av-O, C
3	71	14	15	ALCOOL ETILICO	15	ISOOTTANO	50	ACETONE	35	av-O, C, RS
4	65	17	18	ALCOOL ETILICO	18	ISOOTTANO	40	ACETONE	42	av-O, RS, RN
5	55	22	23	ALCOOL ETILICO	24	ISOOTTANO	20	ACETONE	56	av-O, RS, RN, OI
6	44	28	28	ETHANOL	30	ISOOTTANO	0	ACETONE	70	av-O, RS, RN, PP

TABELLA 2 – Parametri di solubilità e percentuali in volume dei componenti delle miscele 1, 2, 3, 4, 5, 6
 Legenda: PP=proteine e polisaccaridi; RN=resine naturali; RS=resine sintetiche; O=oli;OI=oli invecchiati; C=cere.

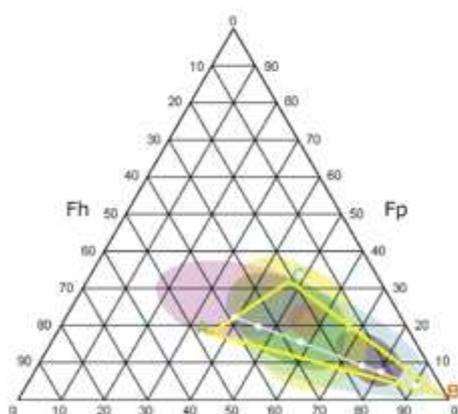


Figura 2

E' possibile con lo stesso procedimento e a seconda delle esigenze, formulare serie di miscele con percentuali diverse tra i solventi **A** e **C** (fig. 2) o congiungere **C** con una miscela tra **A** e **B** (fig. 3). Naturalmente e' valido congiungere **A** con una miscela ottenuta tra **B** e **C**.

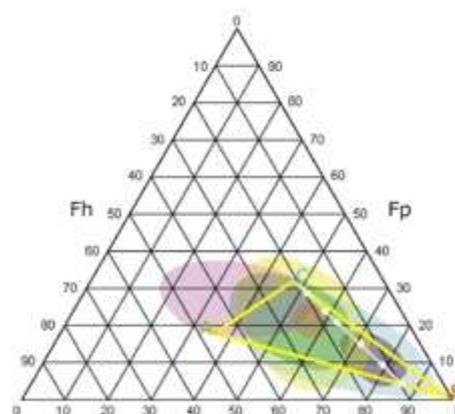
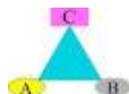


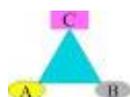
Figura 3

²⁵ Per le proprietà geometriche del diagramma ternario



Note e riferimenti bibliografici

- Ashland Chemical Co. Bulletin 1585, Predicting Resin Solubility. Columbus, OH: Ashland, 1984
- Atti del convegno: Il restauro visto da vicino – Roma, La Sapienza 18-19 giugno 2004
- Crisostomi, P. – Giovagnoli, A. – Tocci, A.M. – Vigliano, M.G. (CD a cura di) “*Alcuni prodotti e materiali impiegati nel restauro delle opere mobili*”
- Cremonesi, P. “*L’uso dei Solventi Organici nella pulitura di opere policrome*”, Il Prato, 2000
- Cremonesi, P. – Signorini, E. “*L’uso dei solventi organici neutri nella pulitura dei dipinti: un nuovo test di solubilità*”. Progetto restauro n. 31/2004
- Barton A. F. M. “*CRC Handbook of solubility parameters and other cohesion parameters*”, 4th ed, CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida 1998.
- Crowley, James D., O. S. Teague, Jr., and Jack W. Lowe, Jr., “*A Three Dimensional Approach to Solubility*” Journal of Paint Technology, Vol. 38, No. 496, 1966
- Feller, Robert L. “*The Relative Solvent Power Needed to Remove Various Aged Solvent Type Coatings*” in Preprints of the IIC Congress, Lisbon, London, 1972
- Feller, R. L., “*Solubility Parameter*”. Bulletin of the American Group-IIC 8 (2), 1968
- Feller, R. L., Stolow, N., and Jones, E. H. “*On picture varnishes and their solvents*, revised and enlarged edition” National Gallery of Art, Washington DC, 1985
- Feller, R.L. and M. Curan. “*Changes in Solubility and Removability of Varnish Resins with Age*” Bulletin of the American Institute for Conservation, vol. 15, no. 2, 1975
- “*Handbook of Chemistry and Physics*”, 76a ed., D. R. Lide, ed. Boca Raton: CRC Press, 1995-96
- Hansen, C. M.. “*The Three Dimensional Solubility Parameter - Key to Paint Component Affinities: I. Solvents Plasticizers, Polymers, and Resins*” II. Dyes, emulsifiers, mutual solubility and compatibility, 1967
- Hedley, G.. “*Solubility parameters and varnish removal: a survey*”. The Conservator, 1980
- Horie, C. V. “*Materials for conservation. Organic Consolidants, Adhesives and Coatings*” Butterworth-Heinemann, Oxford - 1987
- Kopp, S. B. “*Se incontri il Buddha per strada uccidilo*”, Casa Editrice Astrolabio, Roma, 1975
- Masschelein Kleiner “*Les Solvants*”, Institut Royal du Patrimoine Artistique, Bruxelles, 1994
- Merck Index Twelfth edition, 1996



- Mora, L. S., P. Mora, and P. Philippot. “*Le nettoyage des peintures murales*”. Bulletin IRPA/ KIK, 1975
- Talarico F., Coladonato M. “*Impiego dei parametri di solubilità nel restauro*”, Materiali e strutture, a.VII, n. 1, 1997
- Teas, Jean. “*Graphic Analysis of Resin Solubilities*” The Journal of Paint Technology, vol. 40, no. 516, January 1968
- Torraca, “*Solubilità e Solventi: note per i restauratori*”, Centro studi per la conservazione della carta, 1975
- Wolbers, “*Methods of cleaning Painted Surfaces*”, Archetype Publications, London 2000

Links

- http://www.iscr.beniculturali.it/images/stories/file/TriSolv/doc/rischio_chimico.pdf , Lucidi da lezioni sul rischio chimico – Corso Alta Formazione per Restauratori, Istituto Centrale Restauro - M. Coladonato, 2000
- <http://palimpsest.stanford.edu/byauth/stavroutis/mcp>
- http://palimpsest.stanford.edu/packages/solvent_solver.html
- http://www.phaseitalia.com/PHASE_catalogo_giugno_2007.pdf
- <http://www.tsienn.it/g/feller/triangolo-solubilita1.2.php>