



# Il controllo della viscosità in continuo: innovazioni ed applicazioni in campo

Relatore: Andrea Giovane

**TECNOVA HT**  
Field Instrumentation Liquid and Gas Analysis Systems

# La Viscosità come Esperienza

Nel **quotidiano** cosa intendiamo per Viscosità ?

La resistenza di un fluido allo scorrimento:

Più lentamente esce da un contenitore, più il fluido è viscoso

Per nostra **esperienza** i fluidi freddi sono più viscosi:

La viscosità infatti è intimamente legata alla **temperatura**

Ma quale teoria è nascosta dietro queste esperienze?



## La Viscosità come Teoria

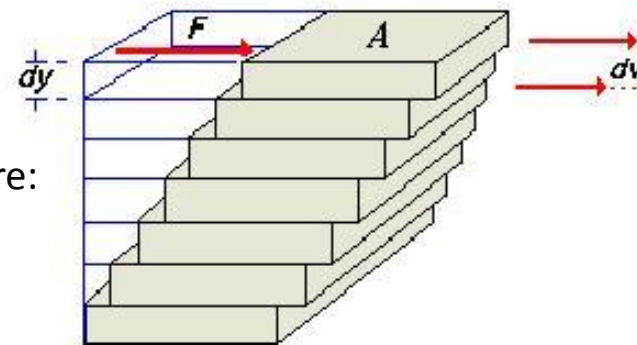
Consideriamo un **fluido** qualsiasi fra 2 superfici piane e parallele a **distanza  $dy$**  l'una dall'altra.

Applichiamo una **forza costante  $F$** , tangente alla superficie superiore:

Essa muoverà con una **velocità costante  $v$**

E trascinerà con sé la superficie ad essa inferiore, che a sua volta trascinerà quella sottostante, e così via.

Tutte queste superfici scorreranno con velocità **sempre minore** fino ad arrivare all'ultimo strato che rimarrà **fermo**.



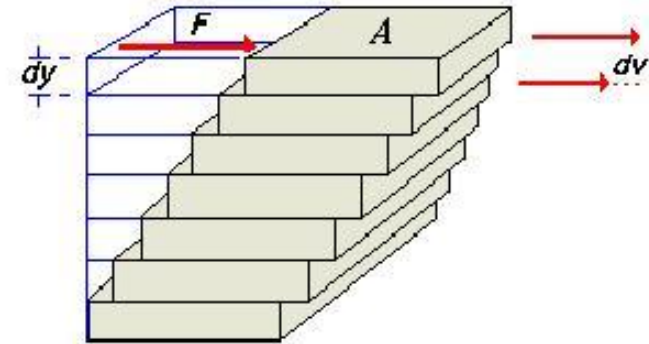
# La Viscosità come Teoria

La differenza di velocità tra due superfici, è

$$dv = f F dy / A$$

questa equazione è di **natura sperimentale** e ci rivela che la variazione di velocità,  $dv$ , fra due superfici è:

- direttamente proporzionale alla fluidità  $f$  del mezzo
- direttamente** proporzionale alla forza esterna applicata  $F$
- direttamente proporzionale alla distanza fra due superfici (maggiore è la distanza dalla base, maggiore è la velocità di scorrimento);
- inversamente** proporzionale **all'area  $A$**  di una qualsiasi superficie (in quanto con esse aumentano, con azione frenante, le interazioni fra due superfici affacciate)



# La Viscosità come Classificazione dei fluidi

Definiamo la **velocità di taglio** il rapporto  $dv/dy$

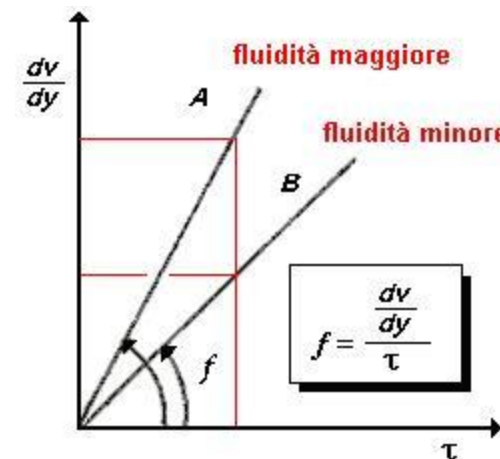
In funzione della forza di taglio applicata  $t$ , si ottiene un "reogramma" costituito ad una retta **passante per l'origine**

“**Newtoniani**” sono i fluidi che scorrono secondo questo andamento.

La loro viscosità non varia con la velocità con cui viene misurata

Esempi classici sono l'aria, l'**acqua**, l'olio...

Nel grafico A è più fluido di B: a parità di forza applicata A scorre più facilmente



# La Viscosità come Classificazione dei fluidi

Nella realtà invece sperimentiamo diversi fluidi **non-newtoniani**

Ad esempio i fluidi tipo **Bingham**

Molto simili a quelli newtoniani, relazione lineare

Ma la retta non inizia nell'origine ma è traslata di  $\tau_0$

$\tau_0$  rappresenta lo sforzo che serve loro come "innesco" al movimento

Tipico esempio di questi fluidi è il dentifricio: all'inizio non esce dal tubetto, premendo ancora esce di colpo.



# La Viscosità come Classificazione dei fluidi

Oppure i fluidi di tipo **Tixotropico**

sono fluidi pseudoplastici non-newtoniani

hanno una **viscosità dipendente dal tempo di applicazione dello sforzo**

più è prolungato più bassa è la loro viscosità.

Esempio gel, soluzioni colloidali, **ketchup**: fermi nei loro contenitori sono solidi, agitati diventano liquidi.



# La Viscosità come Parametro di Processo

E' un parametro **necessario** o quanto meno **gradito**

Nella produzione di oli lubrificanti perché la viscosità è una **specificata** da rispettarsi.

Negli impianti WWT dove una alterazione della viscosità del liquido **rivela** un upset del trattamento fanghi

Per **ottimizzare** la produzione di resine incrociando il Numero Acido con la Viscosità

In sala macchine a bordo delle navi perché il carburante viene preriscaldato al fine di raggiungere una viscosità di **sicurezza** per i motori



# La Viscosità come Necessità di Misura

Da tutte queste esigenze nasce la volontà di misurare la viscosità.

Applicandone la definizione occorrerebbe **misurare la forza** da applicarsi ad uno straterello di fluido per modificarne la velocità rispetto ad un altro posto ad una distanza fissa (h).

Poiché però è impossibile applicare (e soprattutto misurare!) una forza applicata ad uno straterello fluido infinitesimale,

**la misura della viscosità per definizione non esiste.**

Pertanto gli analizzatori di viscosità calcolano dei parametri che indirettamente ci informano sul valore della viscosità, ma non la viscosità tal quale.



## La Viscosità come si Misura

Ad esempio un viscosimetro "a coppa" (magari utilizzato per le vernici) è composto da un contenitore graduato con un foro calibrato sul fondo.

Più il fluido è viscoso, più tempo impiegherà a fluire attraverso il buco.

Misurando il tempo di svuotamento della coppa è possibile (tramite opportune tabelle) risalire alla viscosità del fluido.

*Si noti che non è come sembra uno strumento "povero": le coppe sono anche certificate e riconosciute come standard mondiali.*

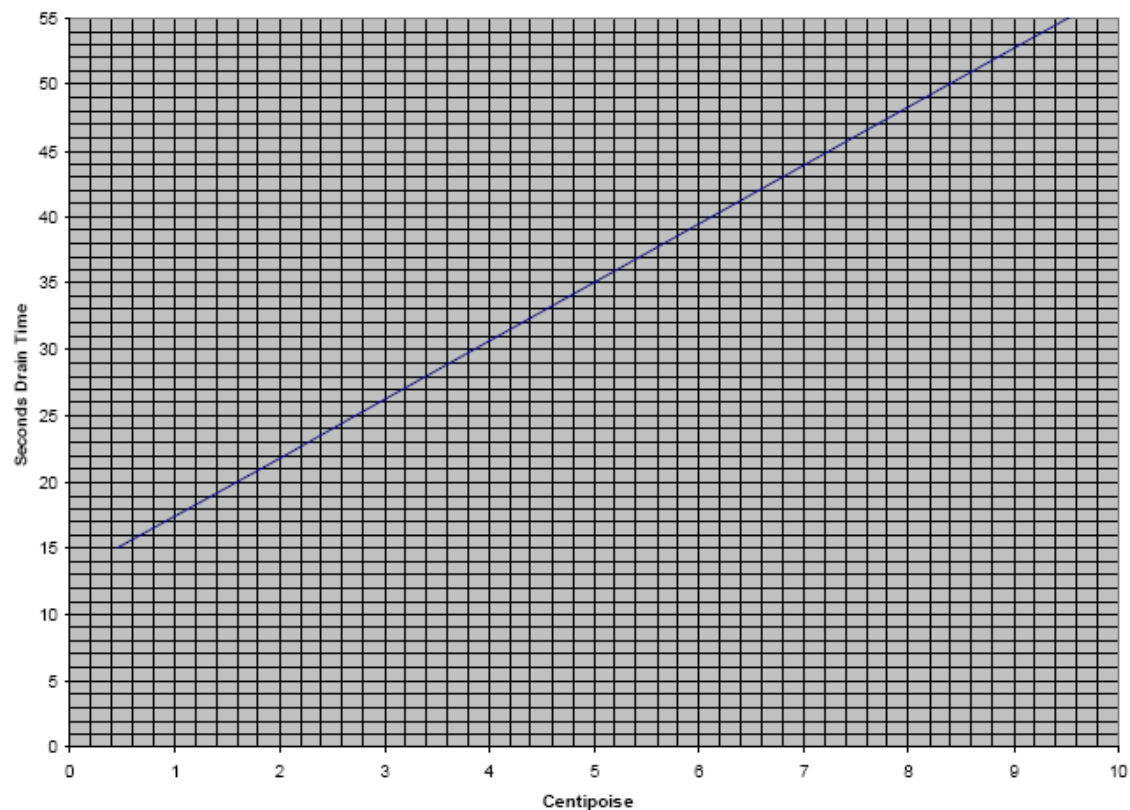


# La Viscosità come si Misura

## Shell Cup Infomation Package

### Shell Cup #1 and #2

Shell Cup #1  
A-2481-TAW



## La Viscosità come si Misura

Una classica misura “da banco” viene compiuta dal responsabile di laboratorio in questo modo:

Dalla produzione si preleva un campione

Se ne prende un volume **costante**

Viene **termostatato**

Viene scelta una **girante** e selezionato un numero di giri

Il fluido rimane fra due piattelli e In questo modo invece di una forza, come da definizione, **si misura la coppia applicata** (momento torcente).



# La Viscosità in Linea

Questo è stato l'approccio degli ultimi anni ma cosa comporta?

Buona precisione perché nel laboratorio vengono seguiti dei protocolli condivisi

Una ripetibilità del risultato se non altro perché lo stesso campione viene misurato 3-4 volte

Ma al responsabile di Produzione può essere ancora utile un dato di analisi **fresco** di mezz'ora ?

E se avesse **8-12 reattori** batch in funzione? Quale sarebbe l'impegno del laboratorio?

Una volta scoperto che la viscosità non è a specifica può **rilavorare** il prodotto?

Ecco perché la viscosità in linea si affianca sempre di più a quella del laboratorio

# La Viscosità come si Misura in Linea

E quali principi si usano?

Il metodo **Rotazionale** dove la viscosità è in relazione con la velocità angolare ed il momento torcente provocato quando il fluido è mantenuto tra un elemento rotante e una superficie fissa.

Il metodo a **Capillare** dove la viscosità è in relazione al DP creato nell'attraversamento un tubicino di piccolo diametro dove il fluido è spinto a passare.

Il metodo a **Pistone** dove la viscosità è relazionata al tempo usato da un pistone mosso per via elettromagnetica per fargli percorrere una data lunghezza all'interno del fluido.

Il metodo a **Diapason** dovè la viscosità è in relazione alle vibrazioni indotte dal fluido verso la forchetta di metallo..

## La Viscosità come si Misura

Ciascuno di questi metodi è valido ma presenta delle problematiche ben conosciute dall'Operatore in campo

Ad esempio il viscosimetro **Rotazionale** presenta

**parti meccaniche** in movimento, usura delle medesime e necessità di ricalibrazione

Un viscosimetro a **Capillare** può essere preciso ma è afflitto da problemi di sporcamento e quindi manutenzione ma soprattutto ha **tempi di risposta lunghi**



## La Viscosità come si Misura

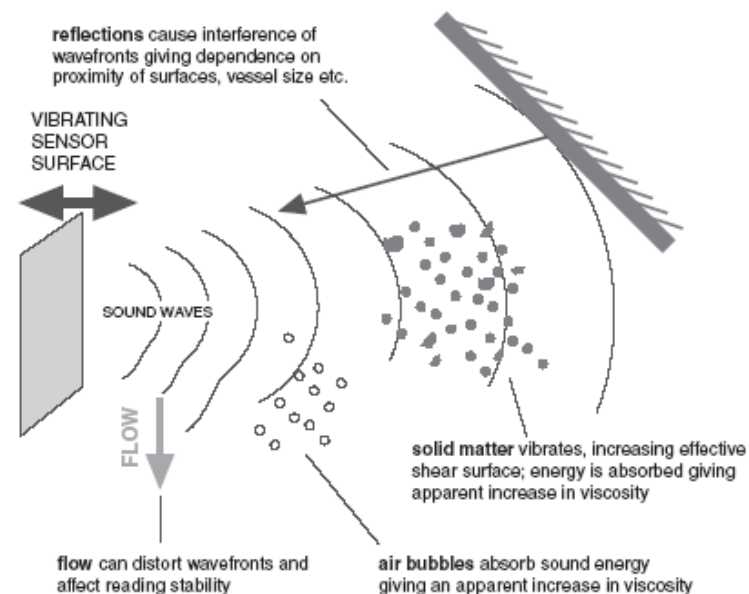
Una recente alternativa è il viscosimetro a **diapason** o **forchetta**

Non ha parti in movimento ed è compatto

Però la presenza delle due lamelle vicine può aumentare lo sporco

Inoltre la vicinanza della parete interna del reattore crea degli echi fastidiosi

E la presenza di bolle o particolato assorbendo energia sonora incrementa la viscosità apparente



# La Viscosità come si misura Oggi

I nuovi Viscosimetri sono basati sul principio della **Risonanza Torsionale**

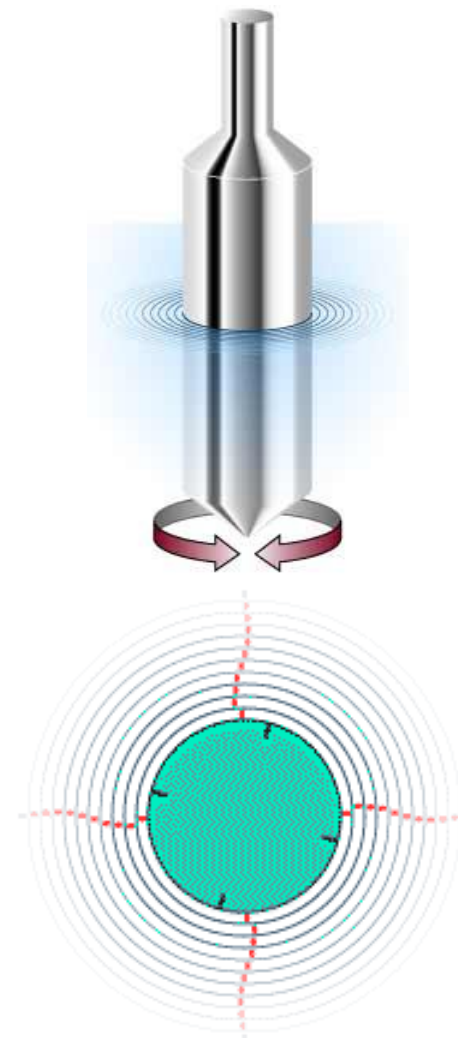
Il sensore in SS micro-oscillando alla sua frequenza naturale con un movimento tipo “twist” impartisce al fluido una Forza.

Le micro-oscillazioni sono invisibili all’occhio umano

La presenza del fluido tende a **smorzare** queste oscillazioni

Questa **energia dissipata** è la misura della Viscosità

E si noti che questa energia è **minima** e pertanto non modifica la struttura molecolare del fluido



# La Viscosità come si presenta Oggi

**Range possibile** 0 – 1,000,000,000 cP  
**Accuratezza** ±1% in lettura  
**Ripetibilità** ±0.3% in lettura

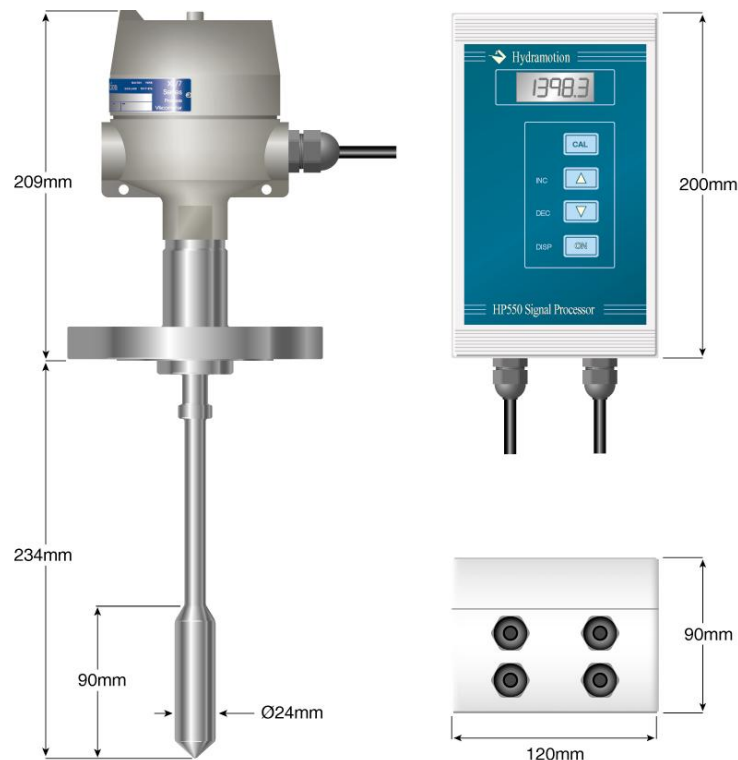
**Temperatura op.** -40 <T< +450°C (HT2 model)  
**Pressione op.** max 15,000 psi ( 1024 bar )

**Materiali** Totalmente in 316 SS;  
 Altri materiali a richiesta

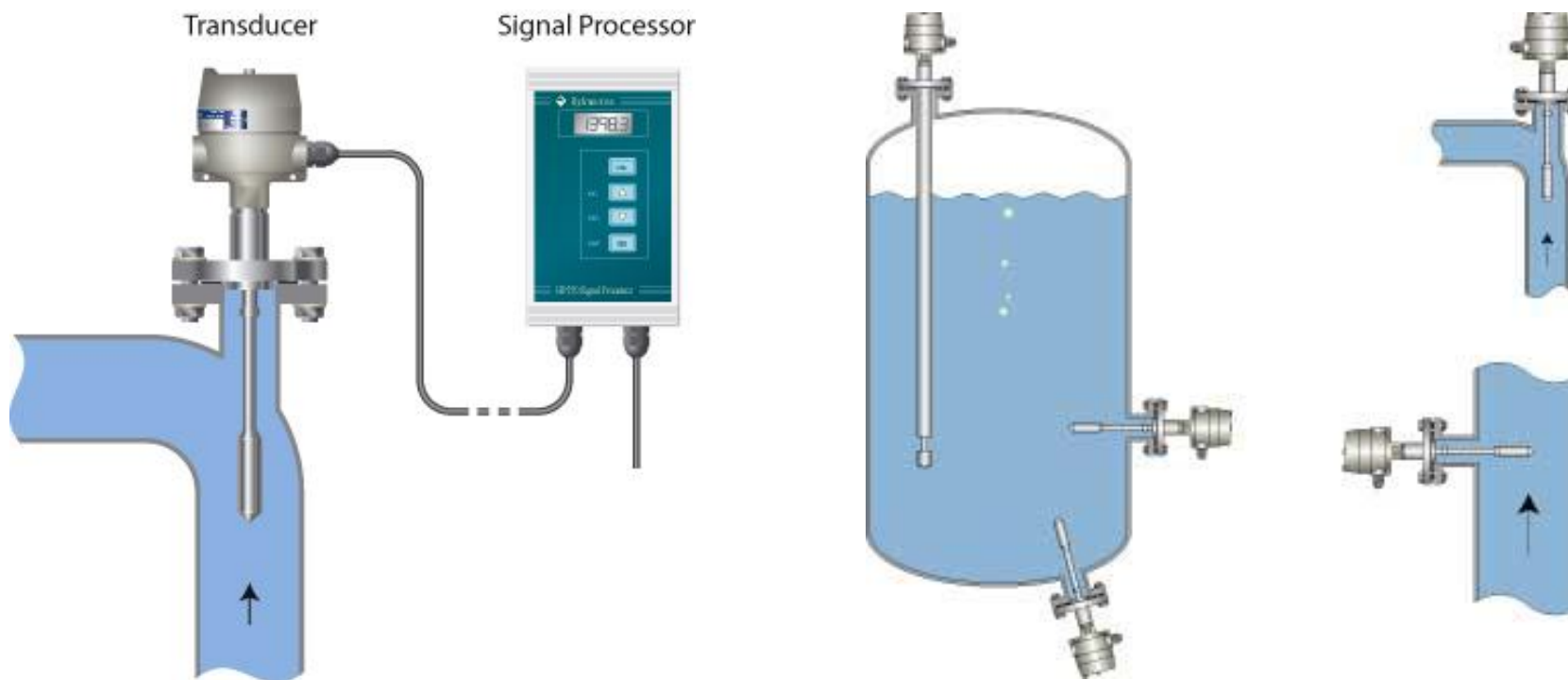
**Finitura meccanica** Completamente saldato  
 senza interstizi a contatto  
 con il processo

**Classificazione** IP68

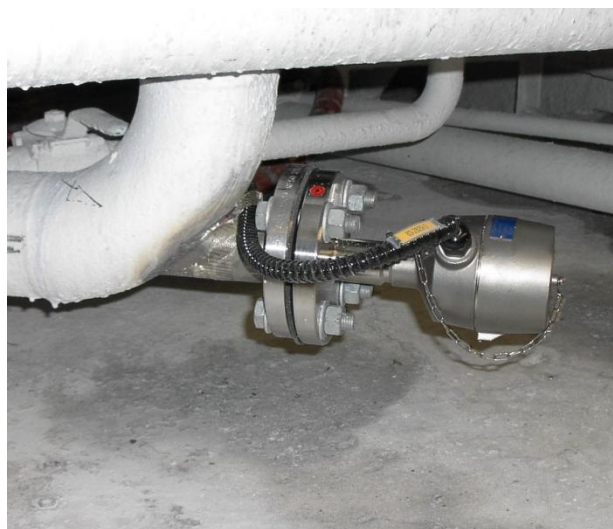
**Uscite** 4÷20 mA, RS232, RS422/485  
 ModBus seriale



# La Viscosità come si installa Oggi



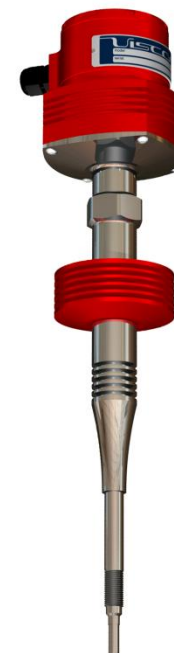
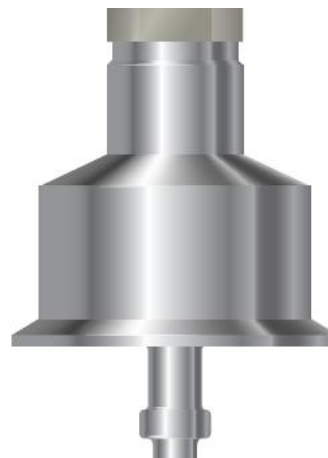
## La Viscosità come si installa Oggi



# La Viscosità per Tutti i Processi



450°C  
Senza fluidi di  
raffreddamento



300°C  
200 bar  
Bordo Estrusore

# La Viscosità Riferita alla Temperatura

In qualche processo nasce l'esigenza di calcolare la viscosità ad una temperatura di riferimento

A volte per renderla congruente a quella calcolata nel laboratorio

A volte per uniformare diversi punti di analisi in campo a temperature diverse

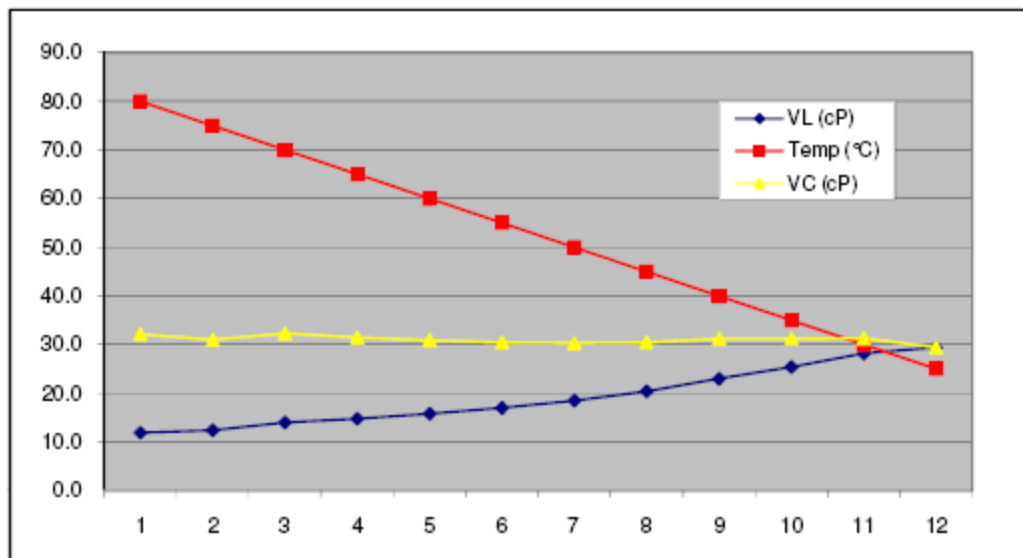
A volte perchè da protocollo la viscosità è calcolata a 40°C e 100°C come i lubrificanti

Il più delle volte o si installano dei complessi sistemi di campionamento e termostatazione oppure si rinuncia ad avere il dato in linea.

# La Viscosità Riferita alla Temperatura

P90            0  
**P91            1,900**  
 tREF            25.0

VL (cP)	Temp (°C)	VC (cP)
11.9	80.0	32.1
12.4	75.0	31.0
14.0	70.0	32.3
14.8	65.0	31.5
15.8	60.0	30.9
17.0	55.0	30.5
18.5	50.0	30.3
20.4	45.0	30.5
23.0	40.0	31.2
25.4	35.0	31.2
28.2	30.0	31.3
29.4	25.0	29.4



La necessità di calcolare la Viscosità Riferita @T viene risolta senza campionamenti di sorta ma con un algoritmo basato sull'equazione di Arrhenius che ha come inputs:

$$VC = VL \left\{ e^{P91(T_1 - T_2)} \right\} - P90$$

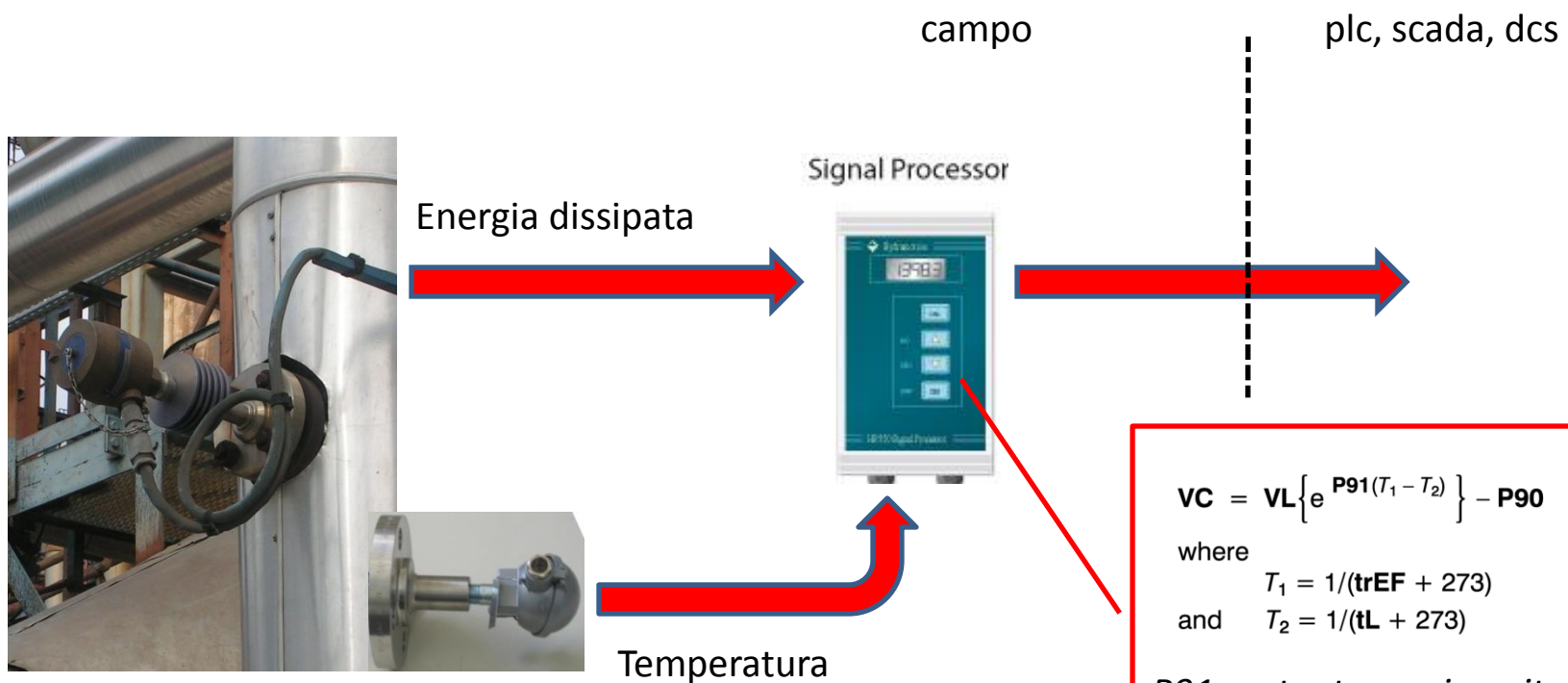
where

$$T_1 = 1/(trEF + 273)$$

and  $T_2 = 1/(tL + 273)$

- la Viscosità tal quale misurata in continuo
- la Tref imposta
- la Tprocesso misurata
- il parametro P91 calcolato precedentemente

# La Viscosità Riferita alla Temperatura



$$VC = VL \left\{ e^{P91(T_1 - T_2)} \right\} - P90$$

where

$$T_1 = 1/(trEF + 273)$$

$$\text{and } T_2 = 1/(tL + 273)$$

*P91 costante pre-inserita*  
*Tref scelta pre-inserita*

# La Viscosità nella Produzione Resine

Le Resine sono largamente usate per le produzioni più svariate: vernici, inchiostri, adesivi, plastiche, rivestimenti...

La **viscosità** e il **numero acido** sono i parametri fondamentali per capire l'avanzamento della reazione

Di solito l'operatore in campo prende un campione dal reattore ad intervalli regolari

Il laboratorio analizza e **dopo 15÷30 minuti**, la Produzione ha i dati per decidere come proseguire.

*Purtroppo la reazione continua in questo lasso di tempo e pertanto le analisi non sono rappresentative dell'attuale status della reazione.*

Quindi con questo campionamento intermittente le resine prodotte possono anche non avere una qualità costante o addirittura essere **fuori specifica**.



# La Viscosità nella Produzione Resine

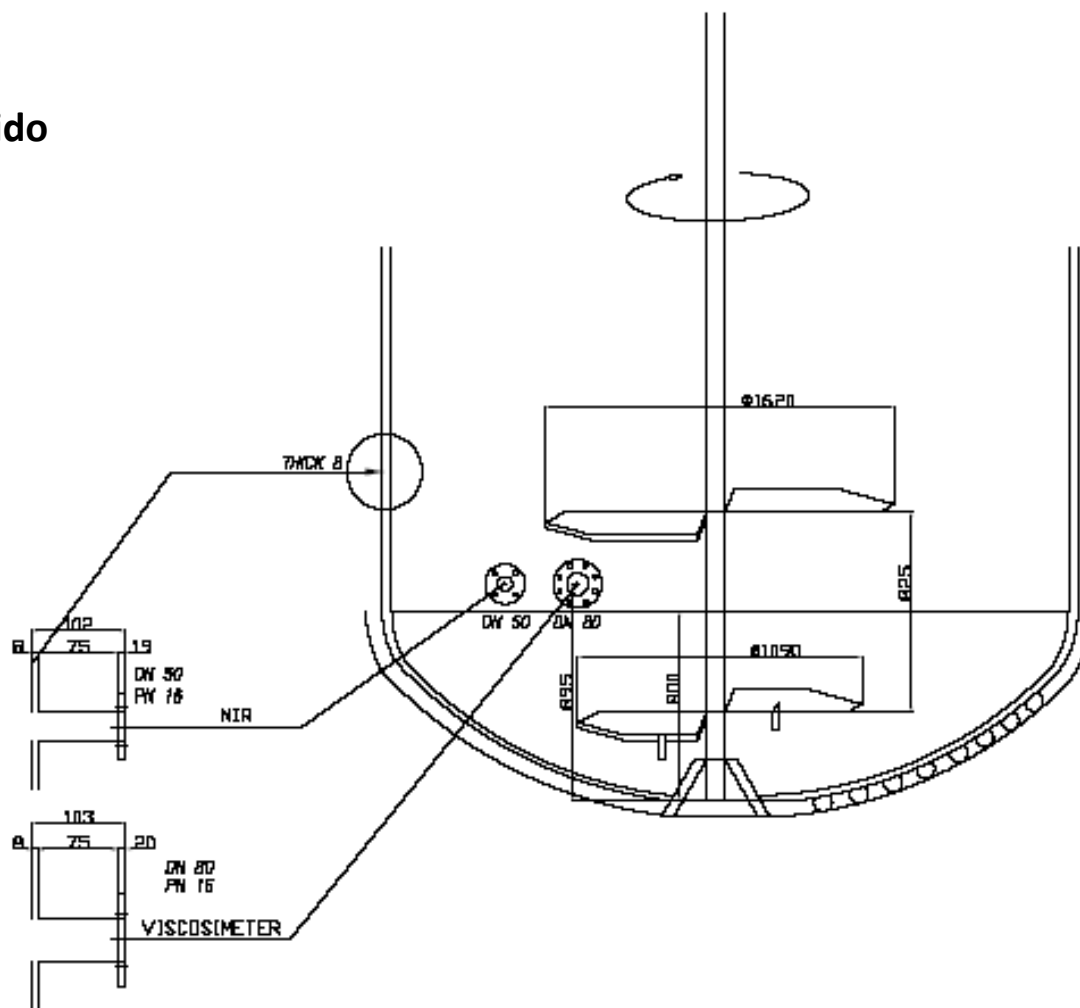
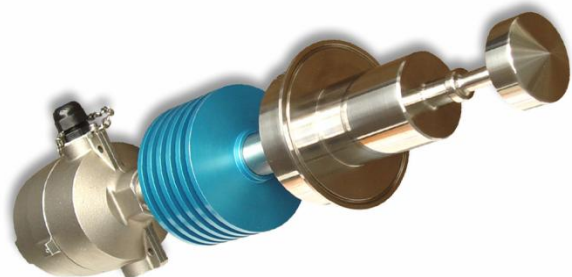


**Numero Acido**

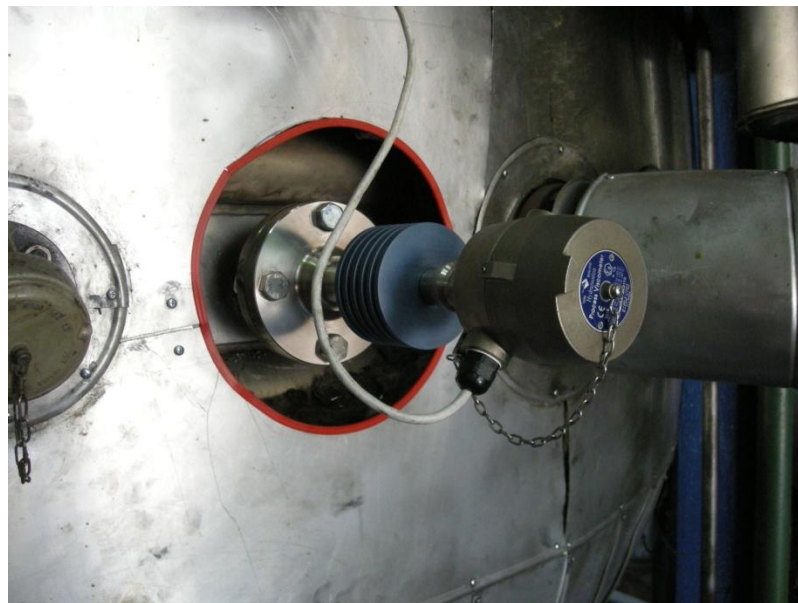
Idrossile

**Colore**

Umidità



## La Viscosità nella Produzione Resine



# La Viscosità nella Produzione Resine

Un produttore resine ha deciso di verificare la fattibilità della migrazione in linea della misura della viscosità

Questo perché nella sua lavorazione è possibile aggiungere alla “ricetta” degli additivi al momento per riportare la viscosità in specifica

Fino a ieri per ogni singolo batch ed in base all’esperienza degli operatori venivano compiute delle analisi 24 ore su 24

Con dispendio di energia e con diversi errori imputabili alla fretta o al lavoro notturno

E’ stato installato un Viscosimetro Hydramotion serie XL-7 per Alta temperatura e confrontato con il viscosimetro da banco

# La Viscosità nella Produzione Resine

Siccome il calcolo della viscosità di questo fluido **non newtoniano** era fatto con due strumenti diversi, il valore trovato era **diverso**.

Diverso ma costantemente diverso per cui si è calcolato lo **Span** tra il viscosimetro di riferimento del laboratorio e quello in linea

Per una determinata famiglia di resine la viscosità a specifica era  $700 \text{ cP} \pm 100 \text{ cP}$

La prima misura all'End Point eseguita a mano riportava  $888 \text{ cP}$  **fuori specifica**

L'operatore ha additivato al reattore le opportune sostanze

L'ultima misura all'End Point recitava  $639 \text{ cP}$  **a specifica**

**Come si è comportato il Viscosimetro in Linea?**

# La Viscosità nella Produzione Resine

PF 308/41			<b>SPAN</b>
Batch 45473	Vx prod: 888	a 20°C	<b>8.72503</b>
dalle 21.30 del 30-6-2009 alle 0.20 del 1-7-2009	Viscosità letta	Temperatura	VIDE0dcs
Time	AND1AE\PV4	TIC2001\PV	
6/30/2009 9:30:00.000 PM	98	48.5	855
6/30/2009 9:30:47.577 PM	97.5	48.5	851
6/30/2009 9:31:03.437 PM	98.5	48.5	859
6/30/2009 9:31:19.297 PM	97.5	48.55	851
6/30/2009 9:31:35.153 PM	98	48.47	855
6/30/2009 9:32:54.450 PM	98.5	48.45	859
6/30/2009 9:33:10.307 PM	98	48.46	855
6/30/2009 9:33:42.027 PM	98.5	48.48	859
6/30/2009 9:33:57.887 PM	98	48.45	855
6/30/2009 9:34:13.743 PM	98.5	48.4	859
6/30/2009 9:34:29.603 PM	98	48.4	855
6/30/2009 9:34:45.463 PM	99	48.42	864
6/30/2009 9:35:01.320 PM	98.5	48.42	859
6/30/2009 9:35:48.897 PM	99	48.47	864
6/30/2009 9:37:08.193 PM	98.5	48.33	859
6/30/2009 9:37:24.053 PM	99	48.37	864
6/30/2009 9:37:55.770 PM	99.5	48.31	868
6/30/2009 9:38:27.487 PM	99	48.36	864
6/30/2009 9:38:59.207 PM	100	48.32	873
6/30/2009 9:39:30.927 PM	99.5	48.28	868
6/30/2009 9:39:46.788 PM	100	48.28	873



## La Viscosità nella Produzione Resine

	A	B	C	D
2	6/30/2009 10:50:52.863 PM	93.5	48.74	816
3	6/30/2009 10:51:24.580 PM	92.5	48.82	807
4	6/30/2009 10:52:28.017 PM	92	49.07	803
5	6/30/2009 10:52:43.877 PM	92.5	49.12	807
3	6/30/2009 10:52:59.737 PM	92	49.18	803
7	6/30/2009 10:53:15.593 PM	91.5	49.21	798
3	6/30/2009 10:54:19.030 PM	91	49.33	794
3	6/30/2009 10:54:34.890 PM	91.5	49.3	798
0	6/30/2009 10:55:54.187 PM	90.5	49.39	790
1	6/30/2009 10:56:10.043 PM	91	49.43	794
2	6/30/2009 10:56:41.763 PM	91.5	49.44	798
3	6/30/2009 10:56:57.620 PM	92	49.49	803
4	6/30/2009 10:57:13.480 PM	91.5	49.42	798
5	6/30/2009 10:57:29.340 PM	91	49.45	794
3	6/30/2009 10:58:32.777 PM	91.5	49.47	798
7	6/30/2009 10:58:48.633 PM	91	49.42	794
3	6/30/2009 10:59:20.353 PM	91.5	49.42	798
3	6/30/2009 11:01:11.367 PM	92	49.42	803
0	6/30/2009 11:01:27.223 PM	91.5	49.47	798
1	6/30/2009 11:01:43.083 PM	92	49.39	803
2	6/30/2009 11:02:14.800 PM	92.5	49.37	807
3	6/30/2009 11:02:30.660 PM	92	49.39	803
4	6/30/2009 11:03:49.957 PM	92.5	49.35	807
5	6/30/2009 11:04:01.673 PM	92	49.34	803



# **TECNOVA HT**

**Field Instrumentation Liquid and Gas Analysis Systems**

Headquarters:

Via Castellazzo, 29 - 20010 Pregnana M.se (Mi) - Italy

T +39 (0)2 33 91 05 51 F +39 (0)2 33 91 05 63

[info@tecnovaht.it](mailto:info@tecnovaht.it) [www.tecnovaht.it](http://www.tecnovaht.it)

**RICH & MAC 2009 – PADIGLIONE 18 STAND C45**