Discussione sulle temperature delle coil

e sulla regolazione del TC

Igino Pitacco

(igipit@gmail.com)

Udine, 12/05/16

Sommario

In questo lavoro si dimostra sperimentalmente che la temperatura raggiunta dalla coil durante il vaping in condizioni normali (*di corretta alimentazione di liquido*), a regime non dipende dalla quantità d'acqua presente nel liquido ma solo dalla frazione relativa di PG/VG del liquido. A parte i primi tiri, in cui avviene l'evaporazione dell'acqua presente in prossimità della coil, a regime la temperatura raggiunta è sempre ed esattamente quella di ebollizione della miscela PG/VG.

Tale conclusione ha importanza fondamentale per la pratica del vaping in controllo di temperatura in quanto stabilisce che la temperatura limite deve essere regolata appena sopra al punto di ebollizione della soluzione come se fosse costituita solo da PG e VG trascurando completamente la presenza dell'acqua. Infatti, regolandola al di sotto di tale temperatura, si impedirebbe l'evaporazione copiosa, fonte di gratificazione nel vaping, mentre regolandola troppo sopra non comporterebbe alcun vantaggio, ma solo lo svantaggio di un ritardo nell'intervento del TC.

I risultati sperimentali in condizioni reali di vaping sono riportati nei paragrafi dedicati agli esperimenti 4 e 5. Gli esperimenti 1,2 e 3 sono preliminari. Si consiglia comunque di leggere il paragrafo sull'esperimento 1 in quanto illuminante.

Introduzione

Una delle domande più frequenti nei forum dedicati all'argomento, è quella di lettori neofiti che chiedono a che temperatura regolare il TC. Una risposta piuttosto frequente è che per svapare liquidi fruttati servono temperature basse mentre per organici macerati e tabaccosi servono temperature più elevate. Tale risposta sottintende la convinzione, fondamentalmente errata, che la temperatura limite del TC possa influenzare in qualche modo la temperatura dei vapori, ma non è così. La temperatura limite che si imposta nel TC è la massima temperatura della coil raggiunta la quale il circuito riduce la potenza erogata al fine di mantenerla costante. Ma se la wick è ben irrorata nei pressi della coil, la temperatura non supererà mai quella di ebollizione del liquido in quanto tutto il calore prodotto viene speso per l'evaporazione sotto forma di calore latente assorbito dal liquido. E se la coil supera la temperatura di ebollizione significa che l'atomizzatore è già in una situazione patologica di carenza di liquido interstiziale, ed è opportuno che il TC intervenga il prima possibile.

Un'altra convinzione molto diffusa è che l'acqua aggiunta ai liquidi, specialmente a quelli con elevata frazione di VG, serva non solo a renderli più fluidi per favorire l'alimentazione della wick, ma anche ad abbassarne la temperatura di ebollizione, che per il VG in purezza è 290°C circa, valore piuttosto elevato al quale il cotone si decompone termicamente abbastanza velocemente da incutere qualche timore nei *vapers*. In effetti tale posizione è assolutamente ragionevole ed interpretabile in base alle comuni conoscenze della chimica. E' noto che mescolando due fluidi miscibili con temperature di ebollizione diverse, la miscela avrà una temperatura di ebollizione diversa da quella delle

componenti e per i fluidi ideali la legge di Raoult è in grado di prevedere tale temperatura (a partire dalla conoscenza delle pressioni di vapore dei due fluidi al variare della temperatura).

Nonostante la ragionevolezza di tale assunto, i fenomeni che avvengono nella wick in prossimità della coil sono abbastanza complessi da produrre un risultato nettamente diverso da ciò che ci si aspetta e ciò sarà evidenziato dall'esperimento 1 presentato nel prossimo paragrafo.

E' utile ricordare che il TC oggi è usato principalmente come strumento di protezione della wick in cotone, probabilmente il materiale più usato attualmente. E' ben noto che tra i 140 ed i 240°C i processi di decomposizione termica del cotone sono praticamente irrilevanti perdendo, se riscaldato in questo intervallo, all'incirca mezzo punto percentuale di massa sotto forma di sostanze volatili[1]. Tra i 240 ed i 270°C invece la perdita di massa del cotone è di circa 2.5% mentre tra i270 ed i 315°C la perdita diventa importante, all'incirca del 10%. Questi dati sono coerenti con i risultati del test del cotone, spesso eseguiti dai vapers per scegliere la temperatura limite del TC.

Esperimento 1: Temperature ad atomizzatore aperto con soluzione 90PG/10H2O

In questo prima esperimento si considera l'andamento della temperatura di una coil in titanio alimentata a 10W di potenza, con il Tc configurato a 250 °C, usando un liquido 90PG/10H2O. L'esperimento è stato effettuato ad atomizzatore aperto, una base RDA Igo W plus di UD, con wick in cotone completamente impregnato (circa 0.4 ml di liquido), montato su una Vt133 dotata di circuito Evolv DNA200. L'andamento della temperatura è stato registrato mediante la utility device monitor inclusa in Escribe, versione 1.0.42. La temperatura di ebollizione della miscela 90PG/10H2O è di circa 133°C, si veda il grafico 8. La temperatura di ebollizione del PG in purezza è 188 °C circa.
Sono state eseguite 4 erogazioni consecutive da 20 secondi intervallate da 30 secondi di pausa. Verso la fine della quarta erogazione è intervenuto il TC modulando la potenza per mantenere la temperatura sotto il limite impostato di 250°C. Nel grafico che segue sono riportati gli andamenti della temperatura durante le 4 erogazioni numerate da 1 a 5 (non è riportata la quarta), ed anche l'andamento della temperatura per una erogazione a secco indicata con lo zero.

1 *Thermal degradation and burning behaviour of cellulose based and cellulose-silk blended upholstery fabrics*, JSIR Vol 69(11), November 2010.

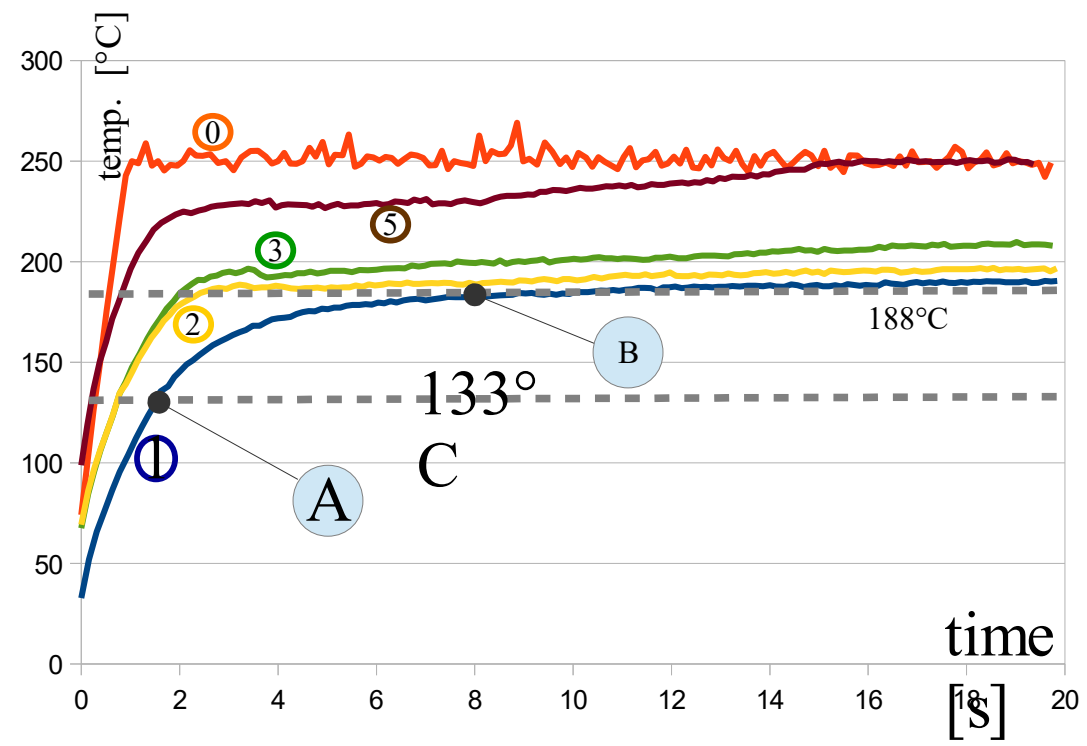

Grafico 1: Andamento delle temperature della coil in erogazioni successive con liquido costituito da 90PG/10H2O

Prima erogazione. Si consideri la curva 1, disegnata in blu, che rappresenta l'andamento della temperatura rispetto al tempo a partire dall'istante in cui inizia la prima erogazione di potenza. Si noti che

a) in poco meno di 2 secondi vengono raggiunti i 133°C nel punto A, corrispondenti alla temperatura di ebollizione della miscela 90PG/10H2O
b) Dal punto A in poi la temperatura continua a salire ma sempre più lentamente fino a raggiungere al secondo 8 il punto B a 188°C corrispondente alla temperatura di ebollizione del PG.
c) Dal punto B in poi la temperatura rimane sensibilmente costante fino alla fine dell'erogazione.

L'interpretazione di tale comportamento è la seguente. Fino al punto B la crescita della temperatura è molto rapida e rallenta vistosamente quanto la soluzione comincia a bollire a 133°C a causa del calore latente necessario per l'evaporazione. La frazione d'acqua nel vapore prodotto è di gran lunga superiore alla frazione di PG a causa della grande differenza di pressione di vapore tra acqua e PG e pertanto il liquido in contatto e nei pressi della coil perde rapidamente acqua aumentano gradualmente la sua temperatura di ebollizione. Tra i punti A e B viene evaporata tutta l'acqua contenuta nel liquido in prossimità della resistenza ed in B, dopo circa 8 secondi, è rimasto solo PG a contatto con la coil. Da qui in poi la temperatura si stabilizza al valore di ebollizione del PG, a causa del calore latente necessario per evaporare il PG, fino alla fine dell'erogazione. Il leggero aumento di temperatura dopo il secondo 8 è attribuito alla diminuzione progressiva di liquido interstiziale a contatto con la coil. Alla fine dell'erogazione a causa della bassa densità di liquido interstiziale nei pressi della coil, si crea un moto di fluido dalla periferia verso la coil che tende ad uniformare la densità e bilanciare la situazione. Il grosso del trasporto di liquido avviene durante i 30 secondi di pausa ma inizia gradualmente fin dalla prima evaporazione.

Seconda erogazione. (curva gialla) Durante la pausa una certa quantità di liquido contenente anche acqua ha rimpiazzato il liquido evaporato durante la prima erogazione andando a mescolarsi con il PG puro che era rimasto. Pertanto all'inizio della seconda erogazione nei pressi della coil c'è liquido con concentrazione d'acqua più bassa di quella iniziale e quindi temperatura di ebollizione superiore ai 133°C ma sempre inferiore ai 188°C. Ci si aspetta quindi una crescita della temperatura più rapida rispetto alla prima erogazione (durante la quale c'erano voluti 8 secondi circa per raggiungere i 188°C) in quanto servirà meno calore per evaporare i residui d'acqua. Ed in effetti dopo circa 2.5 secondi dall'inizio della seconda erogazione si arriva a 188°C dopo di chè la temperatura rimane sensibilmente costante crescendo di qualche grado verso la fine a causa della sempre più bassa densità di liquido interstiziale (la wick comincia ad andare a secco).

Terza e quarta erogazione. (curva verde e curva non riportata) Durante la pausa una certa quantità di liquido è affluita nei pressi della coil ma la densità finale oramai è bassa ed il liquido comincia a scarseggiare in tutta la wick. L'aumento di temperatura iniziale è molto rapido raggiungendo i 188°C in meno di 2 secondi e superando abbondantemente i 200°C alla fine dell'erogazione. Acqua non ce n'è praticamente più ed anche il PG scarseggia, parte della coil è a secco.

Quinta erogazione. (curva marrone) La crescita iniziale della temperatura è praticamente la stessa della situazione a secco (curva rossa), ma grazie alla presenza di liquido residuo, quasi esclusivamente PG, intorno ai 188°C comincia a rallentare stabilizzandosi intorno ai 220°C fino a circa 7 secondi. Dopo di chè la mancanza di liquido interstiziale permette l'aumento inesorabile della temperatura fino a raggiungere i 250 °C al che interviene il TC.

Conclusioni tratte dall'esperimento.
L'acqua ha influenza sulla temperatura della coil solo nella fase iniziale della prima erogazione, rallentando la crescita della temperatura che comunque tende ai 188°C, punto di ebollizione del PG

Esperimento 2: Temperature ad atomizzatore aperto con soluzione VG/H2O

Si è ripetuta la stessa esperienza del caso precedente, ma stavolta con una soluzione 80VG/20H_2O la cui temperatura di ebollizione è di circa 120°C. La temperatura del TC è stata innalzata a 300°C e la potenza di erogazione a 17W.

Alla prima erogazione si è manifestato un vistoso rallentamento della velocità di riscaldamento iniziato intorno ai 140°C, dovuto sicuramente all'evaporazione dell'acqua, come nel caso precedente, ma la temperatura si è sensibilmente stabilizzata dopo circa 5 secondi poco sopra i 200°C, come ad indicare l'esistenza di un rapporto VG/H2O per cui la soluzione diventa azeotropa (la frazione dei due componenti nel vapore è la stessa del liquido).

Nelle erogazioni successive la temperatura raggiunta ha continuato a salire ma sempre manifestando la stabilizzazione. La situazione non è chiara come per le soluzioni PG/H_2O e richiede ulteriori indagini.

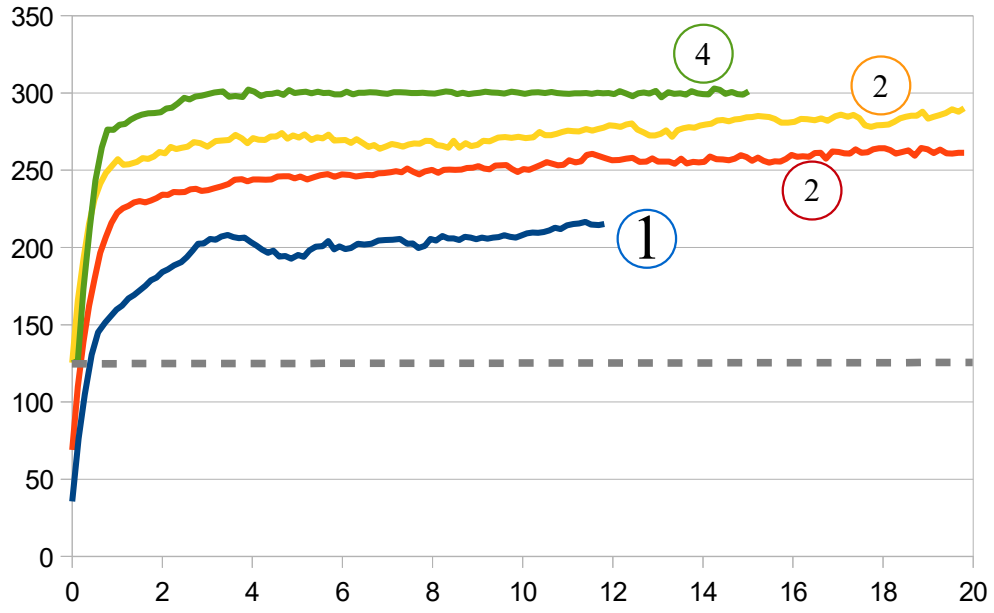

Grafico 2: Andamento della temperatura della coil durante 4 erogazioni successive con liquido 80VG/20H2O

Esperimento 3: Temperature ad atomizzatore chiuso con soluzione 80VG/20H_2O

Con la stessa configurazione del caso precedente, ma stavolta con atomizzatore chiuso e caricato con 2 ml di liquido, sono state eseguite 141 erogazioni di potenza da circa 5 secondi l'una, ed intervallate di 30 secondi. Non si tratta ancora di tiri veri in quanto non c'è stata mai aspirazione dei vapori. Per via della grande quantità di erogazioni, nel grafico 3 sono riportate le curve intere solo per le erogazioni 1,10,30,60 e per la 141, assieme ai punti sperimentali non interpolati di tutte le altre erogazioni (puntini grigi)

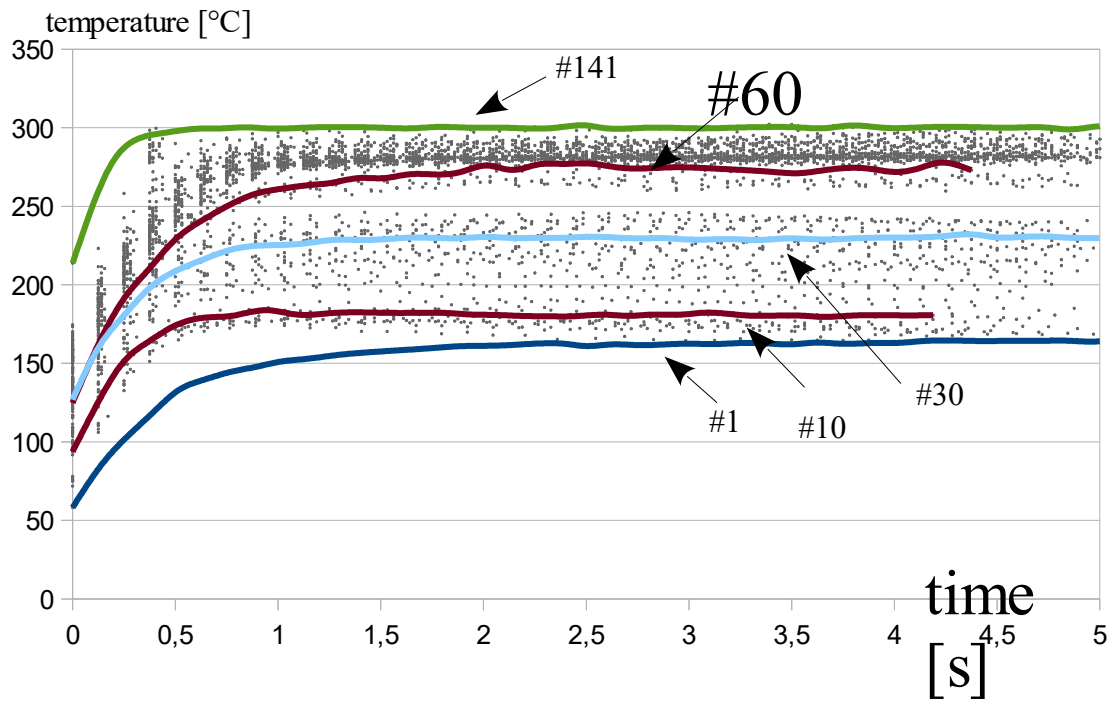

Grafico 3: Andamento delle temperature rispetto al tempo durante le 141 erogazioni con liquido 80VG/20H2O

L'esperimento è terminato alla 141-esima erogazione in quanto è intervenuto il TC a 300°C fin dall'inizio, ad indicare che i 2ml di liquido iniziale erano completamente esauriti, cosa confermata a vista all'apertura dell'atomizzatore.
L'andamento delle temperature è estremamente interessante. L'acqua non si esaurisce subito, ma con una certa gradualità e mantiene le temperature sotto i 200°C per tutte le prime 15 erogazioni. Le temperature aumentano gradualmente fino alla 60-esima erogazione per stabilizzarsi poi intorno alla temperatura di ebollizione del VG di 290°C. Naturalmente si sono riuscite a fare 141 erogazioni con soli 2 ml di liquido per via del fatto che il vapore prodotto non veniva aspirato riducendo così notevolmente il tasso di evaporazione. Sicuramente, essendo l'atomizzatore chiuso, parte del liquido evaporato, ricondensandosi tornava nel serbatoio e questo potrebbe giustificare la gradualità dell'aumento delle temperature.

Nel grafico 4 è riportata la temperatura media di ogni erogazione al progredire delle erogazioni. La media è calcolata escludendo il primo secondo al fine di tagliare l'effetto del riscaldamento iniziale di ogni erogazione. Si osservi che effettivamente dopo la 60-esima erogazione la temperatura si è stabilizzata al valore di ebollizione del VG (290°C), a meno degli inevitabili errori di lettura della box, fino all'erogazione 110, dopo di chè la temperatura è salita a causa della mancanza di liquido.

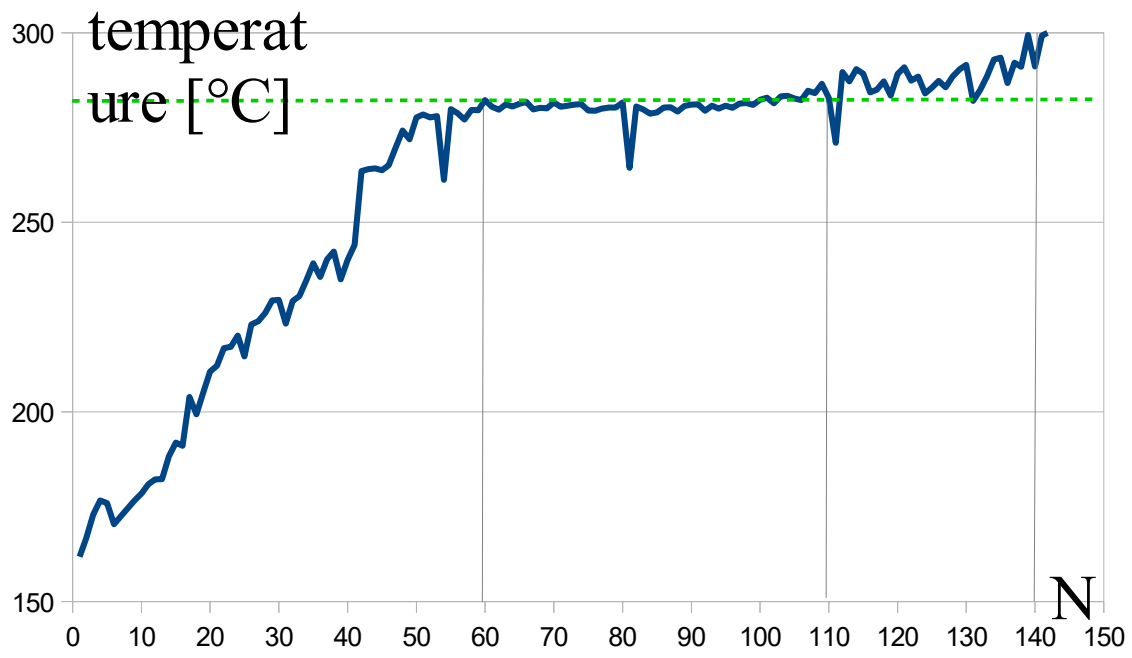

Grafico 4: Andamento delle temperature medie della coil durante le 141 erogazioni con liquido 80VG/20H2O

Possiamo concludere osservando che delle circa 120 erogazioni utili (non in condizioni di tiro a secco), la prima metà è avvenuta a temperature medie continuamente crescenti tra i 160°C circa iniziali ed i 290°C finali, e le rimanenti 60 erogazioni sono avvenute a temperatura costante di 290°C circa.

Esperimento 4: Temperature in condizioni di vaping reale, soluzione 50PG/40VG/10H_2O

Sono stati effettuati 30 tiri reali con un Kayfun Lite plus, coil in titanio da 0.266 Ohm, potenza di 17 W e TC regolato a 250°C, mai intervenuto. Il liquido usato aveva composizione 50PG/40VG/10H2O ed è stato confezionato con basi Avoria allo 0.6% di nicotina e con il 10% di aroma concentrato Red Astaire di T-juice. L'esperimento è durato un'ora circa. In base alla sua composizione, si è calcolato che il liquido aveva una temperatura di ebollizione di 135°C considerando anche la presenza dell'acqua, e di 207°C circa in base al solo rapporto PG/VG.

Nel grafico 5 è riportato l'andamento delle temperature dei 30 tiri reali, con le curve interpolate per il primo e l'ultimo tiro ed i punti sperimentali per tutti gli altri tiri.

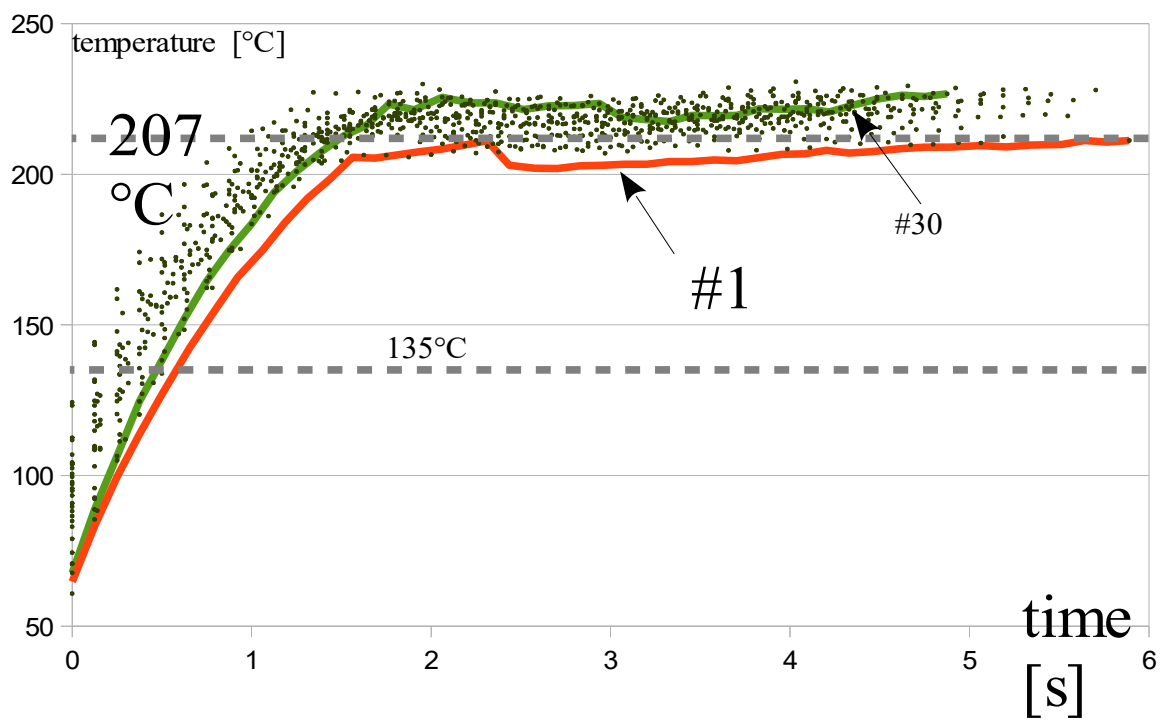

Grafico 5: Andamento delle temperature della coil durante 30 tiri reali con liquido 50PG/40VG/10H2O

Si noti la regolarità di tutti e 30 i tiri con una temperatura praticamente costante e poco differente dai 207°C, ovvero dalla temperatura di ebollizione del solo PG/VG senza alcuna influenza da parte dell'acqua.

La conclusione inequivocabile è che in una miscela PG/VG l'acqua è irrilevante ai fini della temperatura raggiunta dalla coil, ed è invece completamente determinata dal rapporto PG/VG.

Esperimento 5: Temperature in condizioni reali, soluzione 7.7PG/77VG/15.3H2O

Trattasi di 22 ml di una base 80VG/20H2O alla quale sono stati aggiunti 2 ml di aroma in soluzione di PG e da qui numeri strani. La temperatura di ebollizione è intorno ai 120 °C mentre quella di ebollizione della parte PG+VG è 252°C circa, assumendo che l'aroma abbia le stesse caratteristiche del PG.

Svapati in Kayfun Lite Plus con resistenza in Titanio da 0.266 Ohm, potenza a 16W e preriscaldamento di 0.5 secondi a 16W. Sono stati effettuati 100 tiri in circa 2 ore senza regole fisse. Nel grafico che segue sono riportati gli andamenti delle temperature per i tiri 1,20,40,70 e 100. Dal tiro 1 al tiro 30 c'è stato un graduale aumento della temperatura della coil, dal 30-esimo al 100-esimo le curve sono risultate praticamente coincidenti con temperature stabili al valore esatto di ebollizione della miscela PG/VG ovvero 252°C.

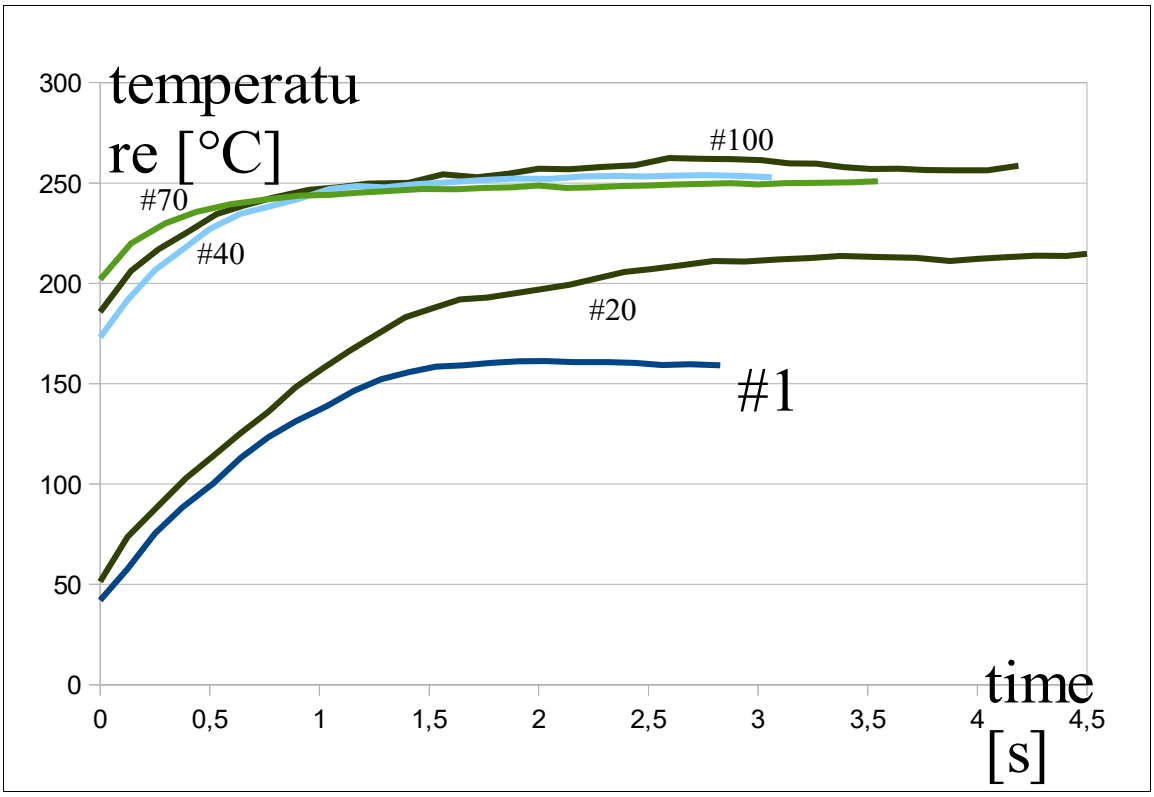

Grafico 6: Andamento delle temperature della coil durante 100 tiri reali con liquido 7.7PG/77VG/15.3H2O

Nel grafico che segue sono riportate le temperature massime raggiunte per ogni tiro dal primo al 100-esimo. Si vede chiaramente l'aumento di temperatura fino al tiro 30 circa e poi la stabilizzazione intorno a 252°C.

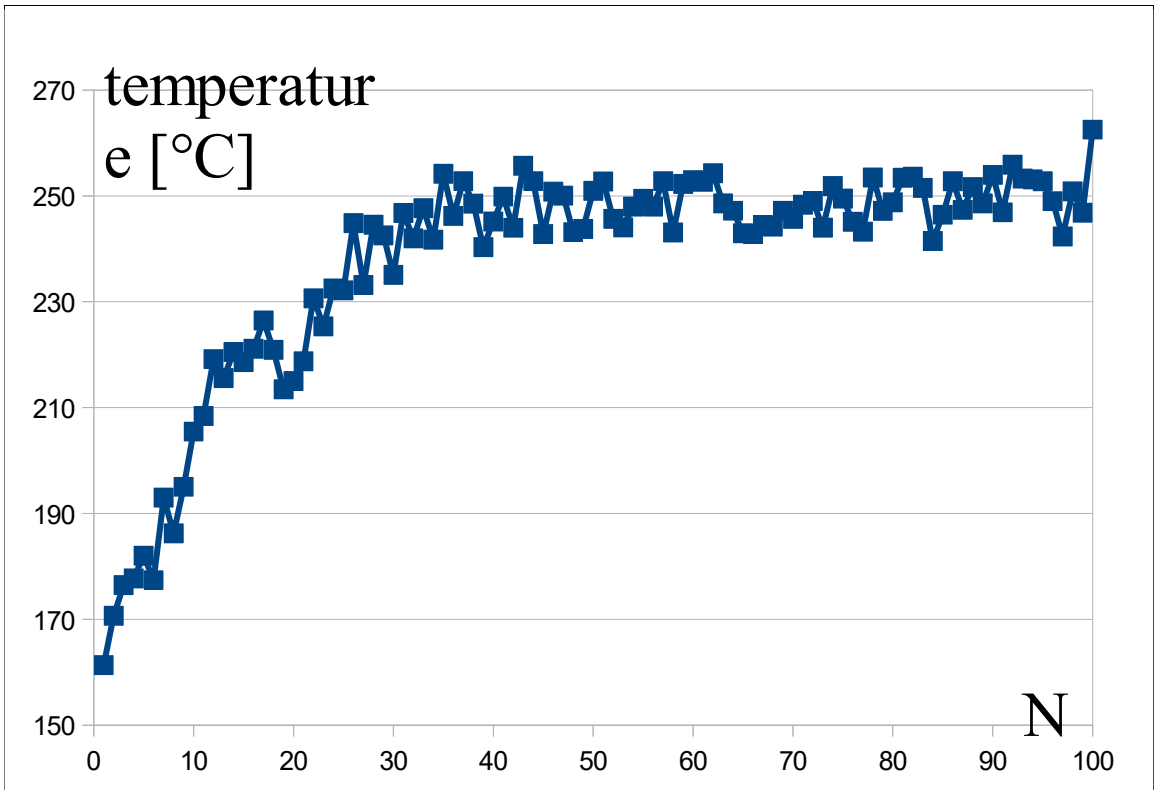

Grafico 7: Andamento delle temperature massime della coil al progredire dei tiri

Questa esperienza conferma definitivamente che, a parte per il primo terzo dei tiri, la temperatura raggiunta dalla coil è esattamente la temperatura di ebollizione della parte PG+VG indipendentemente dalla quantità d'acqua presente.

Conclusioni

Quali conseguenze ha, ai fini del *vaping*, la verifica che la temperatura della coil in condizioni non anomale è completamente determinata dalla temperatura di ebollizione della sola frazione parte PG e VG del liquido, indipendentemente dalla presenza di acqua?

1) La temperatura del TC và scelta esclusivamente in funzione del rapporto PG/VG del liquido mantenendosi una decina di gradi centigradi sopra (per tener conto delle imprecisioni dei circuiti) alla temperatura di ebollizione, determinabile tramite la curva riportata nel grafico 8

2) In base alla temperatura che si ritiene "sicura" come limite al quale far lavorare il cotone della wick, si deve scegliere la percentuale minima di PG nel liquido che si svapa, tenendo in conto anche del PG presente nell'aroma (assumendo l'aroma come interamente costituito da PG). Più bassa sarà tale temperatura e meno prodotti della decomposizione termica del cotone ci saranno nei vapori. Se si ritengono accettabili 240°C , una soluzione PG/VG/H2O con temperatura di ebollizione non superiore deve avere un rapporto PG/(PG+VG) non inferiore a 0.2 (grafico 8), corrispondente ad un rapporto PG/VG>=0.25 . Una base 80VG/20PG ha esattamente rapporto PG/VG=0.25 e quindi la sua temperatura di ebollizione è sempre inferiore a 240°C anche senza l'aggiunta dell'aroma. Aggiungendo il 10% di aroma a tale base la temperatura di ebollizione scende a 225°C.

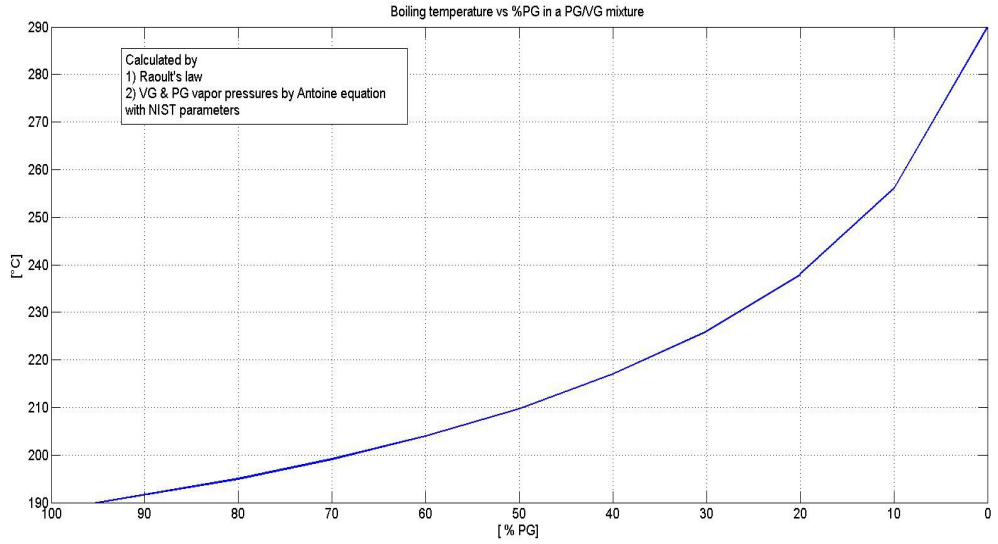

Grafico 8: Andamento della temperatura di ebollizione di una miscela PG/VG al variare della percentuale di PG sul totale PG+VG.

PG % (comprensivo dell'aroma)	VG%	H_2O%	T_{PGVG} [°C]	Tc [°C] (consigliato)
50	50	0	210	220
50	40	10	207	217
30	70	0	225	235
20	80	0	232	240