

Ponti termici: il nodo parete-fondazione

Prosegue l'analisi dei ponti termici (cfr. anche Newsletter POROTON® n. 98 - Newsletter POROTON® n. 100 - Marzo 2016, Newsletter POROTON® n. 102 - Maggio 2016) riferita alle più diffuse casistiche che si riscontrano usualmente nelle costruzioni.

In questo articolo si presentano alcuni esempi inerenti la connessione tra parete esterna in muratura e fondazione, tratti dai risultati ottenuti dalle numerose analisi numeriche svolte dal Consorzio POROTON® Italia in conformità alle norme in materia.

1. Ponte termico del nodo "Parete-Fondazione"

Le analisi qui presentate si riferiscono al dettaglio costruttivo di connessione tra parete in muratura $POROTON^{\circ}$ (sia essa di tamponatura o portante) e fondazione, nell'ipotesi spesso ricorrente di presenza di un vespaio aerato - attacco parete in muratura su fondazione aerata (PT8).

I calcoli numerici sono stati eseguiti con metodi agli elementi finiti, utilizzando un software dedicato, "Mold Simulator Pro Ver. 2" che consente di svolgere le analisi di qualsiasi tipologia di ponte termico in conformità alla UNI EN ISO 10211 e di eseguire verifiche inerenti il **rischio di muffa e condensa** secondo la UNI EN ISO 13788. Le analisi hanno consentito, inoltre, di calcolare la temperatura superficiale interna in corrispondenza del ponte termico, dato necessario alla determinazione del parametro f_{RSi} , fattore di temperatura in corrispondenza della superficie interna, che fornisce un indice di riferimento importante nella valutazione del rischio di formazione di muffa e condensa superficiale in corrispondenza dei ponti termici.

È bene precisare che, per ogni configurazione di ponte termico il corrispondente fattore di temperatura superficiale f_{Rsi} risulta definito univocamente ed è una caratteristica intrinseca della soluzione costruttiva adottata.

Nello svolgimento della verifica di assenza del rischio muffa, resa obbligatoria dal D.M. 26/06/2015 "Requisiti minimi", tale valore deve essere poi confrontato di volta in volta con il valore limite f_{Rsi,lim} della località di interesse. Quindi la verifica di **assenza del rischio muffa** è influenzata dalle condizioni climatiche del luogo, motivo per il quale essa è stata svolta ipotizzando, per ciascuna soluzione analizzata, il suo impiego nella pertinente zona climatica (zona B, C, D, E) in funzione della trasmittanza termica U prevista per la suddetta zona dal D.Lgs. 192 e s.m. ed integrazioni.

2. Dettaglio costruttivo del nodo "Parete-Fondazione"

Il dettaglio costruttivo "parete-fondazione" è stato sviluppato considerando una fondazione a trave rovescia e solaio contro terra con vespaio debolmente aerato. Diversamente da quanto accadeva per i ponti termici precedentemente esaminati, in questo caso le condizioni sono sostanzialmente analoghe sia che si tratti di muratura portante, sia che si tratti di muratura di tamponatura, potendosi ritenere non significativamente diverse le caratteristiche dell'elemento di fondazione in c.a. sottostante.

Si tratta in ogni caso di un **ponte termico** piuttosto complesso, sia "geometrico" che "di materiale", dovuto alla presenza della struttura in c.a. nella quale si va ad innestare da un lato il solaio contro terra e, superiormente, la muratura (portante o di tamponatura) esterna [fig. 1].

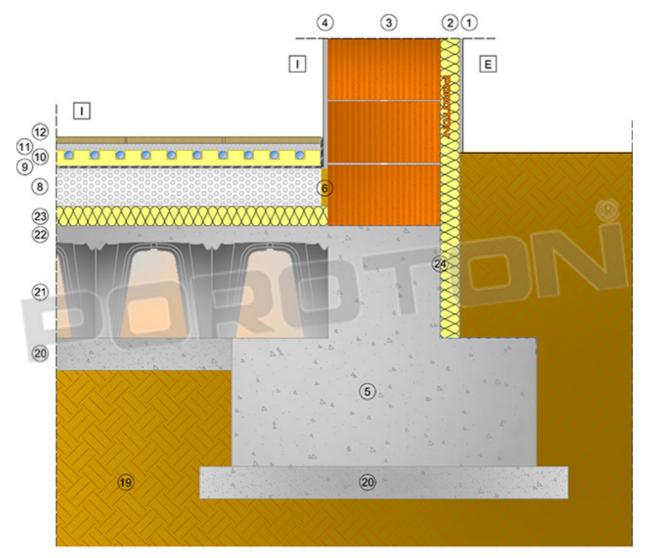


Fig. 1 - Dettaglio costruttivo del ponte termico dell'attacco parete-fondazione con vespaio aerato su terreno (PT8).

Con riferimento allo schema adottato per le analisi del ponte termico esaminato [fig. 1], la tab. 1 indica le caratteristiche fisico-geometriche dei materiali considerati, ricavati dalle più aggiornate normative di riferimento disponibili.

Il solaio su vespaio aerato è costituito da una cappa in c.a. di spessore 5 cm disposta sul vespaio, al di sopra della quale è presente l'isolamento termico in XPS. Lo spessore dello strato isolante utilizzato è stato calibrato in funzione della **trasmittanza della parete**, in modo da ottenere valori di trasmittanza termica U confrontabili tra parete in muratura e solaio di pavimento, e

comunque non superiori a 0,32 W/m²K per quest'ultimo, come normalmente avviene nella maggior parte dei casi. Sopra lo strato isolante sono infine disposti un massetto in calcestruzzo alleggerito di spessore 12 cm su cui è installato l'impianto di riscaldamento radiante e la pavimentazione in piastrelle ceramiche. Nella definizione del dettaglio costruttivo, particolare cura è stata dedicata anche alla correzione del ponte acustico, prevedendo la disgiunzione del massetto rispetto alla muratura con l'applicazione di un pannello in legno mineralizzato lungo il perimetro di contatto e la presenza di una guaina anticalpestio. È opportuno sottolineare che questi dettagli, oltre a soddisfare i requisiti acustici, svolgono una importante funzione anche nel migliorare il comportamento termo-igrometrico del nodo.

Per quanto attiene il terreno, esso è stato ipotizzato di sabbia o ghiaia, quindi con caratteristiche intermedie rispetto a quanto indicato nella UNI EN ISO 13370:2008.

Tab. 1 - Materiali considerati nel ponte termico (PT8) e loro principali caratteristiche termo-igrometriche.

ID Materiali	Spessore cm	Densità kg/m ³	Conducibilità termica W/mK	Calore specifico J/kgK	Resistenza diffusione vapore µ (adim)	
1 Intonaco esterno	1,0	1500	0,53	1000	15	
2 Isolante EPS - XPS	0 ÷ 8	20	0,036	1450	60	
3 Muratura POROTON®	30 ÷ 42	650 ÷ 850	0,08 ÷ 0,23	1000	10	
4 Intonaco interno	1,5	1500	0,53	1000	15	
Fondazione a trave rovescia in c.a. (H 75 cm)	30 ÷ 42	2400	2,00	1000	80	
6 Legno mineralizzato	2	400	0,07	1810	5	
8 Sottofondo in cls alleggerito	12	600	0,15	1000	20	
9 Guaina anticalpestio	0,8	40	0,04	1000	2000	
10 Isolante XPS per impianto radiante	2	20	0,036	1450	60	
11 Massetto impianto radiante	5	2200	1,65	1000	70	
12 Piastrelle in ceramica	2	2300	1,30	840	∞	
19 Terreno	-	2000	2,00	1000	200	
20 Magrone sottofondazione	10	2000	1,35	1000	80	
21 Vespaio aerato	30	-	-	-	-	
22 Cappa in c.a.	5	2400	2,00	1000	80	
23 Isolante XPS (solaio controterra)	4 ÷ 15	30	0,036	1450	60	
Guaina impermeabilizzante (non considerata nell'analisi FEM del ponte termico)						

I ponti termici allo studio sono stati analizzati e confrontati applicando diverse soluzioni realizzabili con muratura POROTON® monostrato, di tamponatura e portante, avente spessori variabili da 30 a 42 cm, adattando la larghezza dell'appoggio in fondazione allo spessore della muratura soprastante, condizione più gravosa per quanto riguarda il ponte termico. Si è ipotizzata la finitura interna della parete con intonaco di spessore 1,5 cm, mentre esternamente si sono considerate diverse soluzioni, mantenendo in ogni caso la stessa finitura esterna costituita da intonaco esterno di spessore 1 cm, variando il rivestimento a cappotto in EPS tra 0 ed 8 cm di spessore, considerando dunque anche il caso di assenza di cappotto. Il cappotto, ove presente, si è considerato continuo fino alla base dell'appoggio della muratura in fondazione [fig. 1].

3. Risultati e considerazioni

Si espongono di seguito, per i ponti termici in esame, alcuni risultati significativi delle analisi svolte, sia con riferimento alla correzione degli stessi in termini di flusso termico, sia con riferimento alle verifiche di muffa e condensa, con le opportune considerazioni.

Si precisa che per tutte le stratigrafie considerate non sussiste mai, in alcuna zona climatica, il problema di formazione di condensa interstiziale.

Riguardo la verifica del rischio muffa e condensa, in relazione alla trasmittanza termica delle soluzioni qui presentate (tutte caratterizzate da $U < 0,34 \text{ W/m}^2\text{K}$), essa è stata sempre svolta con riferimento ai dati climatici di Milano (zona climatica E). Le condizioni di umidità interne per la **verifica del rischio muffa** sono riferite ad edifici ad uso abitativo senza ventilazione meccanica controllata. I valori minimi del fattore f_{RSi} da soddisfare in queste condizioni, calcolati secondo la UNI EN ISO 13788, sono i seguenti:

rischio condensa superficiale: f_{Rsi,min} = 0,630

rischio muffa: f_{Rsi,min} = 0,678

3.1 Attacco parete esterna - fondazione (PT8)

Nel caso in esame, al fine di valutare il **ponte termico del nodo parete-fondazione**, si è proceduto al calcolo del valore della trasmittanza termica lineica Ψ del ponte termico, valore univoco riferito convenzionalmente alle dimensioni esterne del dettaglio analizzato verso il terreno.

Si riporta inoltre anche il valore della temperatura superficiale interna minima del nodo (T_{Si}) rilevata ai fini della **verifica del rischio condensa superficiale** e muffa, parametro significativo per giudicare l'adequatezza della soluzione adottata.

Al fine di valutare l'effetto della presenza di un "taglio termico" alla base della muratura e l'eventuale esigenza di prevederlo, le analisi sono state svolte ipotizzando sia l'assenza di un "taglio termico" che la sua presenza. A riguardo si rimanda allo specifico approfondimento riportato nel presente articolo.

Il software utilizzato per le analisi ha consentito infatti di considerare anche l'anisotropia della parete in muratura, prevedendo valori di conducibilità termica della stessa diversi in direzione orizzontale ed in direzione verticale, calcolando quindi l'andamento termico in modo assolutamente aderente alla realtà, sia in assenza che in presenza di "taglio termico". I risultati ottenuti sono quindi riferiti alle condizioni più sfavorevoli ipotizzabili per il nodo in questione.

Dalle analisi svolte è emerso che soluzioni "equivalenti" in termini di trasmittanza termica U e di spessore complessivo delle pareti considerate, conducono a risultati comparabili in termini di coefficiente di accoppiamento termico L_{2D} , che rappresenta in pratica il flusso termico complessivo scambiato nel nodo, sia utilizzando una **muratura POROTON**® con applicazione di un rivestimento a cappotto, sia optando per una muratura con **blocchi POROTON**® **termicamente più performanti** senza cappotto.

Lo stesso vale anche per la **verifica a muffa e condensa**: come detto, i fattori f_{RSi} sono riferiti in questo caso, in relazione alla trasmittanza termica U dei pacchetti murari considerati, alla zona climatica E (località Milano), e risultano sempre ampiamente superiori ai valori limite richiesti, precedentemente riportati, escludendo quindi qualsiasi problematica in tal senso anche senza la presenza di un "**taglio termico**" alla base.

A parità di trasmittanza della soluzione di parete scelta, risulta complessivamente trascurabile l'incidenza della presenza del rivestimento a cappotto esterno e del suo spessore; questo è dovuto anche agli accorgimenti adottati nella realizzazione del dettaglio costruttivo per quanto riguarda la connessione con il pavimento, che permette di ottenere la correzione del ponte termico con soluzioni in muratura ad elevate prestazioni termiche senza ricorrere necessariamente a rivestimenti esterni a cappotto.

Quanto osservato è immediatamente leggibile dagli esempi specifici riportati in tab. 2 e in tab. 3, che mettono a confronto soluzioni "equivalenti" in termini di trasmittanza e spessore complessivo.

Tab. 2 - Confronto tra le stratigrafie PT8-A e PT8-B.

PT8-A			PT8-B			
Muratura POROTON [®] sp. 35 cm, λ _{eq} =0.18 W/mK con rivestimento a cappotto di sp. 4 cm (Solaio su terreno: sp. isolante = 5 cm)			Muratura POROTON $^{\circ}$ sp. 38 cm, λ_{eq} =0.13 W/mK senza rivestimento a cappotto (Solaio su terreno: sp. isolante = 4 cm)			
			T _{Si}			
Taglio termico base	NO	SI	Taglio termico base	NO	SI	
U (W/m ² K)	0,306	0,306	U (W/m ² K)	0,318	0,318	
Ψ (W/mK)	-0,049	-0,074	Ψ (W/mK)	-0,017	-0,042	
L _{2D} (W/mK)	1,402	1,377	L _{2D} (W/mK)	1,502	1,477	
f _{Rsi} (adim.)	0,813	0,842	f _{Rsi} (adim.)	0,811	0,840	
T _{Si} (°C)	16,6	17,1	T _{Si} (°C)	16,5	17,1	

Il confronto tra la stratigrafia PT8A e PT8B [tab. 2] evidenzia che non vi sono sostanziali differenze nella **correzione del ponte termico** analizzato dovute all'adozione di due soluzioni concettualmente diverse (una con muratura termicamente meno performante e rivestimento a cappotto, l'altra con muratura termicamente più performante senza rivestimento a cappotto). La modesta differenza riscontrabile nel flusso termico complessivamente scambiato dal nodo (L2D) è dovuta esclusivamente alla leggera differenza di trasmittanza termica delle due soluzioni a confronto.

Il confronto tra la stratigrafia PT8C e PT8D [tab. 3] conferma infatti che non vi è alcuna differenza nella correzione del ponte termico analizzato riconducibile all'adozione di due soluzioni concettualmente diverse, con trasmittanza e spessore equivalente (una con muratura termicamente meno performante e rivestimento a cappotto, l'altra con muratura termicamente più performante senza rivestimento a cappotto).

La soluzione senza cappotto è inoltre migliorativa per quanto riguarda il fattore di temperatura superficiale (f_{RSi} più alto, quindi minore rischio di muffa).

Tab. 3 - Confronto tra le stratigrafie PT8-C e PT8-D.

PT8-C			PT8-D Muratura POROTON $^{\circ}$ sp. 42 cm, λ_{eq} =0.13 W/mK senza rivestimento a cappotto (Solaio su terreno: sp. isolante = 5 cm)			
Muratura POROTON $^{\circ}$ sp. 35 cm, λ_{eq} =0.23 W/mK con rivestimento a cappotto di sp. 6 cm (Solaio su terreno: sp. isolante = 5 cm)						
			Si			
Taglio termico base	NO	SI	Taglio termico base	NO	SI	
U (W/m ² K)	0,290	0,290	U (W/m ² K)	0,290	0,290	
Ψ (W/mK)	-0,042	-0,069	Ψ (W/mK)	-0,023	-0,049	
		1,363	L _{2D} (W/mK)	1,404	1,378	
L _{2D} (W/mK)	1,390	.,				
L _{2D} (W/mK) $f_{Rsi} \text{ (adim.)}$	0,808	0,840	f _{Rsi} (adim.)	0,817	0,846	

Nella tab. 4 si espongono altre due stratigrafie che risulta interessante confrontare con quelle analoghe precedentemente considerate. In particolare la stratigrafia PT8-E, corrisponde alla PT8-A, con la sola differenza che la conducibilità termica equivalente della parete (λ_{eq}) è stata migliorata, passando dallo 0,18 W/mK di PT8-A, allo 0,13 W/mK di PT8-E, miglioramento che si ottiene semplicemente adottando un blocco, o per meglio dire, un **sistema di muratura POROTON**® termicamente più performante.

Si osserva che a parità di stratigrafia, il semplice miglioramento della qualità della muratura, conduce ad una consistente riduzione del flusso di calore (leggibile nella riduzione di U e L_{2D}) e con una trascurabile differenza di incidenza del ponte termico in termini di trasmittanza termica lineica Ψ ma con un miglioramento del fattore di temperatura superficiale interna f_{RSi} , leggibile anche nell'incremento della temperatura superficiale interna minima del nodo T_{si} . Ciò è confermato anche dalla PT8-F che corrisponde alla PT8-C, con la sola differenza che la λ_{eq} della parete è stata migliorata, passando dallo 0,23 W/mK di PT8-C, allo 0,18 W/mK di PT8-F.

Tab. 4 - Confronto tra le stratigrafie PT8-E e PT8-F.

PT8-E Muratura POROTON® sp. 35 cm, λ_{eq} =0.13 W/mK con rivestimento a cappotto di sp. 4 cm (Solaio su terreno: sp. isolante = 8 cm)			PT8-F Muratura POROTON $^{\circ}$ sp. 35 cm, λ_{eq} =0.18 W/mK con rivestimento a cappotto di sp. 6 cm (Solaio su terreno: sp. isolante = 6 cm)			
	NO	SI	Taglio termico base	NO	SI	
Taglio termico base						
Taglio termico base U (W/m²K)	0,249	0,249	U (W/m ² K)	0,261	0,261	
			U (W/m ² K) Ψ (W/mK)			
U (W/m ² K)	0,249	0,249		0,261	0,261	
U (W/m ² K) Ψ (W/mK)	0,249	0,249	Ψ (W/mK)	0,261	0,261	

Come già era percepibile nelle analisi di altre tipologie di ponte termico, nel caso in esame emerge in modo ancor più evidente che la scelta complessivamente migliore è quella di privilegiare la qualità termica del blocco, e quindi della muratura POROTON[®], utilizzando spessori adeguati che portano ad ottenere, inoltre, una serie di vantaggi aggiuntivi in termini di inerzia termica ed isolamento acustico dell'involucro.

L'importanza di disporre di dati derivanti da analisi numeriche dei ponti termici risulta, per il caso in esame, ancora più tangibile se si cerca di fare un confronto con valori reperibili da tabelle o da abachi conformi alla UNI EN ISO 14683. Infatti, i dati riportati in Appendice A della norma UNI EN ISO 14683, peraltro non più utilizzabili in base alle indicazioni della UNI TS 11300-1:2014, contemplano casistiche diverse da quelle qui esposte e lontane dalla normale pratica realizzativa, fornendo quindi indicazioni del tutto inattendibili.

L'abaco dei ponti termici del CENED (Regione Lombardia) non tratta in alcun modo il **ponte termico del nodo con la fondazione** e non risulta di fatto reperibile neppure in altri abachi alcuna casistica similare al caso in esame.

È importante inoltre ricordare che nessun abaco fornirebbe, in ogni caso, una qualche indicazione relativa al **rischio muffa e condensa**, la cui valutazione è possibile solo tramite lo studio del ponte termico tramite analisi numerica.

4. Conclusioni

Le analisi svolte sul ponte termico del nodo parete-fondazione confermano in modo ancor più evidente ciò che era già emerso con le analisi di altre tipologie di ponti termici precedentemente presentate (cfr. Newsletter POROTON® n. 98 - Ottobre 2015, Newsletter POROTON® n. 100 - Marzo 2016, Newsletter POROTON® n. 102 - Maggio 2016). Per la casistica qui esaminata si rileva inoltre la totale mancanza di dati di riferimento in abachi conformi.

Le analisi numeriche confermano che è sempre preferibile utilizzare murature, siano esse di tamponatura o portanti, realizzate con blocchi POROTON® aventi qualità termiche migliori, che permettono di ridurre le dispersioni complessive dell'involucro garantendo un'adeguata correzione dei ponti termici e riducendo il rischio di formazione di muffa e condensa superficiale.

Nel caso specifico del nodo parete-fondazione, si evidenzia che non è necessario adottare un "taglio termico" alla base e che, laddove si intenda prevederlo, esso può essere realizzato semplicemente ed efficacemente riempiendo i fori del primo corso di blocchi con materiale isolante sfuso (per es. perlite, vermiculite), in modo da non alterare il comportamento strutturale della muratura, sia essa portante o di tamponatura, oppure adottando appositi blocchi POROTON® con isolante integrato.

Autori:

Lorenzo Bari, Flavio Mosele

Approfondimento: Considerazioni sul "taglio termico alla base della muratura

Nella definizione del dettaglio del nodo parete-fondazione si parla frequentemente di disporre un "taglio termico" alla base della muratura in laterizio per ridurre la trasmittanza termica verticale e quindi isolare meglio il ponte termico. Nell'ambito delle analisi svolte si è voluto approfondire questo aspetto, al fine di rispondere in modo puntuale alle seguenti domande:

- 1) che tipo di "taglio termico" si può prevedere?
- 2) è necessario prevedere un "taglio termico" alla base della muratura?
- 3) che miglioramento si ottiene rispetto al caso senza "taglio termico"?

Che tipo di "taglio termico" si può prevedere?

L'aspetto principale da considerare riguarda il tipo di "taglio termico" da prevedere, in tal senso bisogna innanzitutto distinguere se si tratta di muratura portante o di tamponatura.

Nel primo caso (muratura portante) si raccomanda di NON interporre elementi isolanti, quali vetro cellulare o blocchi in calcestruzzo cellulare autoclavato, tra fondazione e primo corso di blocchi in laterizio. Detti elementi, infatti, hanno una resistenza a compressione molto bassa rispetto ai blocchi in laterizio per muratura portante e questo comprometterebbe il funzionamento strutturale della muratura.

Nel secondo caso (tamponatura), è opportuno ricordare che anche gli elementi non strutturali, quali le tamponature, sono chiamati ad avere una certa stabilità nei confronti di azioni fuori piano (vedere anche: <u>Verifica di tamponature soggette ad azione sismica</u>).

In estrema sintesi, in presenza di azioni sismiche si può innescare, nelle tamponature di un certo spessore, un meccanismo resistente "ad arco" che presuppone tuttavia una adeguata resistenza a compressione degli elementi costituenti la muratura. Quindi anche nel caso di tamponature l'interposizione di elementi isolanti con bassa resistenza a compressione può pregiudicare il comportamento strutturale.

Pertanto, sia nel caso di murature portanti che di tamponatura, la soluzione migliore da adottare, laddove si ritenga opportuno o necessario inserire un "taglio termico" alla base, è quella di procedere al riempimento dei fori del primo corso di blocchi al di sopra della fondazione con materiale isolante sfuso (per es. perlite o vermiculite) [fig. 2].



Fig. 2 - Taglio termico alla base mediante riempimento con perlite dei fori del primo corso di blocchi in laterizio.

Si tratta di un'operazione molto semplice da attuare in cantiere ed efficace nel ridurre significativamente la trasmittanza termica verticale, migliorando la correzione del ponte termico senza alterare in alcun modo il comportamento strutturale della muratura, sia essa portante o di tamponatura. La validità di questa soluzione, oltre che comprovata dalle analisi numeriche dei ponti termici qui riportate, è stata adottata ufficialmente anche negli attuali protocolli tecnici di CasaClima.

E' necessario prevedere un "taglio termico" alla base della muratura?

Riguardo all'esigenza di prevedere la presenza di un "taglio termico", le analisi svolte dimostrano che in tutti i casi il dettaglio analizzato è risultato adeguato senza "taglio termico" rispetto alle verifiche richieste dalla normativa, non sussistendo mai il rischio di formazione di muffa, con valori di f_{RSi} sempre ampiamente superiori ai limiti minimi richiesti per la zona climatica considerata. Come si evince infatti dalle tabb. 2, 3, 4 i valori di f_{RSi} sono sempre superiori a 0,800, che dunque rispettano ampiamente i valori minimi da garantire per evitare condensa superficiale e muffa, che per la località considerata (Milano) abbiamo visto essere rispettivamente 0,630 e 0,710.

L'utilizzo del "taglio termico" non è quindi un requisito essenziale.

Che miglioramento si ottiene rispetto al caso senza "taglio termico"?

Per quanto riguarda i miglioramenti indotti dalla presenza del "taglio termico", si è riscontrato che esso permette di ottimizzare ulteriormente le prestazioni del ponte termico rendendole conformi, nei casi analizzati, ai requisiti richiesti per edifici CasaClima Classe Gold (temperatura superficiale minima d'angolo dei nodi $T_{si} \ge 17,0^{\circ}C$).

Riferimento:

Newsletter numero 107