



BENESSERE ANIMALE NEGLI ALLEVAMENTI

Il controllo termico passivo con materiali a cambiamento di fase: l'equilibrio termico per il benessere degli animali e l'efficienza dell'allevamento. Lo studio di validazione svizzero, estate e inverno, su ciclo di crescita completo.

BY PURE ORGANICA CORP.
CON SYNDEGO ITALIA S.R.L.

01 · IL PROBLEMA: LO STRESS TERMICO

Il paradosso biologico del suino e le sue conseguenze economiche

IL PARADOSSO BIOLOGICO

I suini sono animali omeotermi: mantengono una temperatura corporea stabile di 39 °C, ma **non possono sudare efficacemente** per raffreddarsi — da qui l'elevata sensibilità allo stress da caldo. La **zona termoneutrale** (comfort termico) è compresa tra **18 e 25 °C**: sopra i 25 °C l'animale entra in stress da caldo, sotto i 18 °C subisce stress da freddo, particolarmente pericoloso per i suinetti. Lo stress termico compromette salute, crescita, fertilità e redditività dell'allevamento.

< 18 °C Stress da freddo impatto severo, specialmente sui suinetti	18 - 25 °C Zona termoneutrale crescita e comfort ottimali	> 25 °C Stress da caldo pericolo immediato per salute e redditività
--	--	---

L'EFFETTO DOMINO DELLO STRESS TERMICO

1 Fattore scatenante Temperatura ambiente oltre 25 °C: aumento della frequenza respiratoria e perdita di elettroliti.	2 Collasso fisiologico Compromissione dell'integrità intestinale (leaky gut): aumentata permeabilità delle giunzioni serrate, ingresso di endotossine nel sangue, infezioni batteriche e risposta infiammatoria sistemica.	3 Risposta comportamentale Drastica riduzione dell'assunzione di mangime (-95,5 g/giorno per ogni °C sopra i 26 °C) e aumento del consumo d'acqua; sopra i 26 °C gli animali si rotolano nelle deiezioni per raffreddarsi.	4 Danno economico Crollo della crescita media giornaliera (ADG), peggioramento dell'indice di conversione alimentare (FCR), ridotta fertilità e minore produzione di latte nelle scrofe.
---	--	---	--

L'IMPATTO DELLA TEMPERATURA SULLA CRESCITA (SUINI 23-57 KG)

Parametro	Freddo (10,0 °C)	Comfort ottimale (22,5 °C)	Caldo (35,0 °C)
ADG — accrescimento medio giornaliero	0,77 kg	0,80 kg	0,64 kg
ADFI — consumo giornaliero di mangime	2,20 kg	1,91 kg	1,60 kg
Feed/Gain — indice FCR	2,91	2,41	2,52

Dati accademici derivati da Stahly & Cromwell (1979, 1981), studio comparativo su 3 sessioni sperimentali controllate. Sotto la soglia di comfort i nutrienti servono a produrre calore interno anziché massa corporea; la penalizzazione di crescita arriva a **-35 ÷ -57 g/giorno per ogni °C** sopra il limite critico — e i suini più pesanti risentono del caldo prima di quelli piccoli.

02 • LA SOLUZIONE: LA BATTERIA TERMICA PASSIVA

I materiali a cambiamento di fase applicati alla stalla

COME FUNZIONA

I PCM assorbono e rilasciano grandi quantità di energia termica durante la transizione di stato solido-liquido, mantenendo la temperatura costante mentre l'energia viene immagazzinata. **L'analogia con l'acqua:** 1 BTU modifica 1 libbra d'acqua di 1 °F, ma ne servono **143** per il solo passaggio di stato a 32 °F. TI-SKIN® sfrutta questo fenomeno per il controllo termico intelligente: nella **fase di assorbimento** il PCM assorbe l'eccesso termico diurno rompendo i legami molecolari (solido → liquido) e la temperatura massima viene fisicamente bloccata al punto di fusione del materiale (25 °C); nella **fase di rilascio**, quando la temperatura scende, il materiale si solidifica restituendo l'energia accumulata.

ELETTRICITÀ

Zero

processo fisico
completamente passivo

MANUTENZIONE

Nessuna

materiale sigillato, non si
degrada

CICLO

Reversibile

fonde e solidifica
indefinitamente

PUNTI DI FUSIONE

Su misura

selezionati in base
all'analisi climatica locale

OLTRE LA CLIMATIZZAZIONE TRADIZIONALE

Aspetto	Approccio HVAC tradizionale	Approccio TI-SKIN® PCM
Meccanismo d'azione	Reattivo: combatte la temperatura a posteriori	Proattivo: tampona il differenziale termico in tempo reale
Consumo energetico	Elevato (kW continui, runtime elevato)	Zero (processo fisico passivo)
Manutenzione	Costante (filtri, guasti meccanici)	Nessuna (materiale sigillato)
Impatto biologico	Fluttuazioni termiche improvvise (aria forzata)	Stabilità termica radiante e naturale

Il dimensionamento conta. Il tempo di sfasamento (time shift) è funzione della massa di PCM attiva, del differenziale di temperatura esterna e del coefficiente convettivo dell'aria locale. Un corretto dimensionamento assicura che lo sfasamento ottimale (t_{ott}) superi la durata effettiva della perturbazione termica solare (t_1), annullando del tutto il picco convettivo: $t_{ott} > t_1$.

Validazione scientifica – Politecnico di Torino

Lo studio è stato presentato al Dipartimento Energia «Galileo Ferraris» del Politecnico di Torino, nel seminario «Controllo ambientale ed efficienza energetica negli allevamenti zootecnici» (21-22 febbraio 2019).

03 · LO STUDIO DI VALIDAZIONE SVIZZERO

Due porcilaie identiche, un ciclo di crescita completo, estate e inverno

IL CAMPO DI SPERIMENTAZIONE

L'impianto

- **2 porcilaie identiche** da 76 m² ciascuna, in un allevamento zootecnico in Svizzera
- **80 suini** alloggiati e monitorati per singolo box
- Un box **senza PCM** (NoPCM, baseline) e un box **con TI-SKIN® PCM** installato a soffitto

Il materiale

- Temperatura di transizione (fusione): **25 °C**
- Capacità termica latente: **85 Wh/m²**
- Capacità totale installata nel box PCM: **6,8 kWh**

I CICLI E L'OBIETTIVO

Due cicli di crescita completi da **97 giorni** ciascuno, da 40 kg fino a 100–105 kg per capo. **Stagione estiva** (1 maggio – 2 settembre 2016): nessun impianto di raffrescamento, solo ventilazione. **Stagione invernale** (18 settembre 2016 – 22 gennaio 2017): riscaldamento ad aria calda. Obiettivo: misurare il delta di temperatura tra i due box e la riduzione reale dei giorni di stress termico estivo e invernale.

COSA HANNO MOSTRATO I PROFILI GIORNALIERI

Box senza PCM

Estate: temperature molto variabili, frequenti picchi oltre i 30 °C, giornate estreme fino a 34 °C, maggior parte dei giorni fuori dalla zona termoneutrale. **Inverno:** frequenti giornate sotto i 18 °C, picchi di freddo fino a 14 °C, riscaldamento costantemente necessario.

Box con TI-SKIN® PCM

Estate: temperature stabili, picchi nettamente abbattuti, maggior parte dei giorni dentro la zona termoneutrale (18–25 °C). **Inverno:** escursioni verso il basso ridotte, temperature più alte e stabili, con interi periodi in cui il riscaldamento non è stato necessario («no heat needed»).

ESTATE · DIFFERENZIALE

fino a -9 °C

il box PCM più fresco del box NoPCM nei picchi

INVERNO · DIFFERENZIALE

fino a +7 °C

il box PCM più caldo nei momenti più freddi, passivamente

GIORNI CRITICI ESTIVI

57%

dei giorni in stress da caldo senza PCM: quasi azzerati con PCM

04 • I RISULTATI MISURATI

Estate: abbattimento dello stress da caldo · Inverno: scudo contro il freddo

STAGIONE ESTIVA (SOLO VENTILAZIONE)

Temperatura stalla	NoPCM	PCM	Riduzione
T ≥ 26 °C	55 gg	20 gg	−64%
T ≥ 27 °C	42 gg	10 gg	−76%
T ≥ 28 °C	32 gg	4 gg	−88%
T ≥ 29 °C	19 gg	0 gg	−100%

Zona termoneutrale (19–24 °C): da 33 a 57 giorni → **+24 giorni (+42%)** di benessere termico ottimale. Il PCM ha agito da ammortizzatore termico, eliminando completamente i picchi di calore estremo potenzialmente letali.

STAGIONE INVERNALE (ARIA CALDA)

Temperatura stalla	NoPCM	PCM	Riduzione
T ≤ 17 °C	16 gg	3 gg	−81%
T ≤ 16 °C	6 gg	0 gg	−100%
Zona comfort 19–24 °C	57 gg	86 gg	+34%

Nota: risultati ottenuti nonostante il riscaldamento ad aria calda fosse presente in entrambi i box — il PCM ha colmato i gap termici notturni rilasciando l'energia accumulata di giorno, con interi periodi senza necessità di accendere i riscaldatori e un notevole risparmio di combustibile.

LA DISTRIBUZIONE DELLE TEMPERATURE

Estate: senza PCM la distribuzione mostra una lunga coda di temperature dannose fino a 34 °C (57% dei giorni in stress); con PCM le temperature si concentrano tra 21 e 25 °C, dentro la zona di comfort. **Inverno:** senza PCM il 24% dei giorni cade nella zona critica inferiore e il 16% in pieno stress da freddo (coda fino a 14 °C); con PCM la distribuzione si ricentra tra 20 e 23 °C. In entrambe le stagioni il PCM «riallinea la gaussiana termica» sul comfort.

Stress da caldo azzerato dai 29 °C, stress da freddo azzerato sotto i 16 °C

Un solo materiale passivo, nessun consumo elettrico aggiuntivo: la stalla passa da contenitore passivo a guardiano biologico attivo.

05 • IL VALORE: UN TRIPLO RITORNO

Biologia, operatività, sostenibilità

Biologia & benessere – l'animale

- Crescita (ADG) regolare e prevedibile
- Ottimizzazione della conversione alimentare (FCR)
- Migliore assunzione di mangime, protezione della barriera intestinale
- Drastica riduzione delle patologie secondarie da stress

Operatività & finanza – l'azienda

- Riduzione immediata dei costi di climatizzazione e riscaldamento
- Minore carico (runtime) sui sistemi HVAC esistenti
- Zero costi di manutenzione ricorrenti
- ROI ottimizzato sul ciclo di vita

Sostenibilità – l'ambiente

- Riduzione del carico termico del 40–60% (dati validati NREL)
- 6,8 litri d'acqua risparmiati per ogni kWh abbattuto
- Materiali bio-based, sicuri per animali e operatori, resistenti ai parassiti, privi di tossine
- Compatibile LEED, allineato agli obiettivi ESG

INFRASTRUTTURA ETICA CON GARANZIA VENTENNALE

Il settore edilizio genera il 39% delle emissioni globali di CO₂: TI-SKIN® aggredisce direttamente questa metrica riducendo i consumi per riscaldamento e raffrescamento. Il ciclo fisico è reversibile all'infinito, senza degradazione: **20 anni di prestazioni garantite**. Punti di fusione personalizzabili sulle condizioni climatiche locali, installazione semplice, nessun prodotto chimico tossico.

CARICO TERMICO

–40/60%

riduzione validata NREL

ACQUA

6,8 l

risparmiati per kWh ridotto

GARANZIA

20 anni

ciclo reversibile, nessuna degradazione

STANDARD

LEED • ESG

etica del benessere animale nell'agroalimentare

«L'energia più intelligente, pulita, economica e green è quella che non usiamo.»

Per approfondimenti, sopralluoghi e dimensionamento su misura del vostro allevamento: info@pureorganica.us · www.pureorganica.us