

A cura di:



Leonardo  
Albertini <sup>1</sup>



Giacomo  
Salvadori <sup>1</sup>



Roberto  
Rugani <sup>1</sup>



Giovanni  
Santi <sup>1</sup>



Fabio  
Mencarelli <sup>2</sup>

# ANALISI TERMO-ENERGETICA DINAMICA

## PER LA SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE DEL SISTEMA CANTINA

In questo studio, condotto nell'ottica della riqualificazione dei capannoni industriali delle periferie cittadine, con uno sguardo attento alla sostenibilità, si è ipotizzata la realizzazione di una custom crush, rivolto alla termoregolazione dell'ambiente di vinificazione, grazie all'impiego del software open source Energy Plus

Il tema della sostenibilità ambientale della cantina, da anni, sta interessando il comparto enologico. Nel 2013 nasce il Forum per la Sostenibilità Ambientale del vino che nel 2014 pubblica il Primo Rapporto sulla Sostenibilità del Vino. Da allora in poi l'attenzione verso questo argomento e anche le attività di certificazione si sono moltiplicate. Nonostante ciò, ancor oggi gli aspetti tecnici propri della sostenibilità dell'impianto di climatizzazione della cantina, così come quelli dell'uso del freddo e dei gas (pressione) non sempre sono adeguatamente curati, ciò vale sia nelle fasi di installazione che in quelle di manutenzione. Per approfondire alcuni degli aspetti legati ad un utilizzo sostenibile delle tecnologie di climatizzazione in cantina, è stato utilizzato un caso-studio costituito da una potenziale cantina di nuova realizzazione da collocarsi in un capannone industriale da riqualificare. Il tema della riqualificazione di edifici industriali esistenti in contesti agricoli periurbani sul

territorio nazionale è molto attuale. Il capannone industriale individuato (**Fig. 1**), al momento in via di dismissione, è situato in Toscana nella campagna pisana e l'insediamento di una destinazione d'uso come una cantina vinicola, costituisce un elemento di rilancio per l'intera area produttiva in cui il capannone è collocato. L'ipotesi di tale riqualificazione che ha previsto la realizzazione di una custom crush, vale a dire una particolare tipologia di cantina vinicola che permette ad un qualsiasi viticoltore (privato o titolare di una azienda agricola) di affittare una parte della cantina, con tutte le attrezzature necessarie, per vinificare la propria uva. Nel nostro caso studio la struttura progettata ha una capienza massima di lavorazione pari a 1420 qI di uva rossa e 885 qI di uva bianca per un totale di 2305 qI. Lo studio ha avuto, come principale obiettivo, proprio l'ottimizzazione della climatizzazione dello spazio cantina grazie ad un'analisi termo-energetica dinamica. In funzione di tale obiettivo, e conside-

<sup>1</sup>DESTeC (Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni) dell'Università di Pisa

<sup>2</sup>DISAAA-a (Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Agroambientali) dell'Università di Pisa

Fig. 1 - Foto aerea della zona industriale con indicato il capannone da riqualificare oggetto di studio per la realizzazione di una custom crush



randò le specifiche esigenze della nuova destinazione d'uso, nel progetto di riqualificazione sono stati proposti un miglioramento delle prestazioni energetiche dell'involucro edilizio esistente

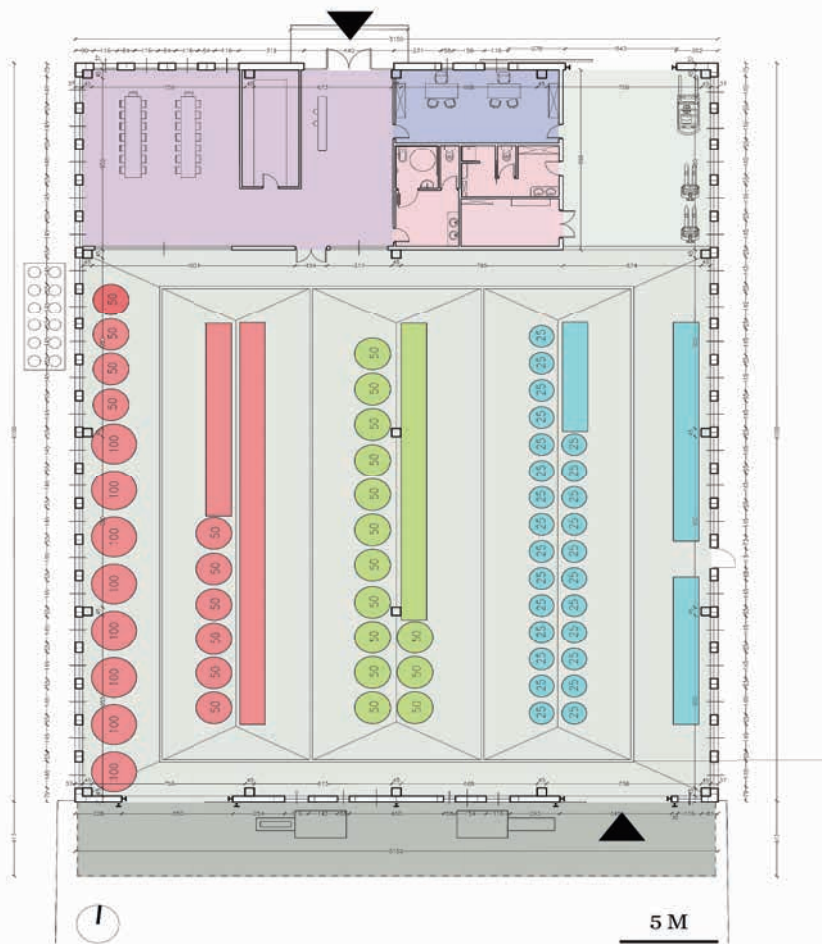
ed una riorganizzazione degli spazi interni. La cantina di nuova progettazione è stata così organizzata (si veda **Fig. 2**): area ricezione e primo processamento delle uve in corrispondenza di

una pensilina già esistente, ambiente di vinificazione e stoccaggio con vasi vinari in acciaio inox termostatici, area servizi, area uffici e sala degustazione clienti. Inoltre, particolare attenzione è stata posta sul comportamento energetico dinamico della cantina in progetto. La realizzazione di un cappotto con un isolante termico ad alta densità sulle pareti perimetrali di involucro, l'applicazione di una vernice termoriflettente come finitura superficiale esterna e la sostituzione delle finestre esistenti con finestre dotate di doppi vetri con vetro esterno selettivo, conferiscono complessivamente delle buone performance all'edificio, specialmente in fase estiva, la più critica per una cantina vinicola fuori terra. Queste valutazioni sono state propedeutiche allo svolgimento dell'analisi dei flussi di ventilazione naturale, generati dall'apertura-chiusura delle finestre della cantina nel reparto vinificazione.

## Materiale e metodi

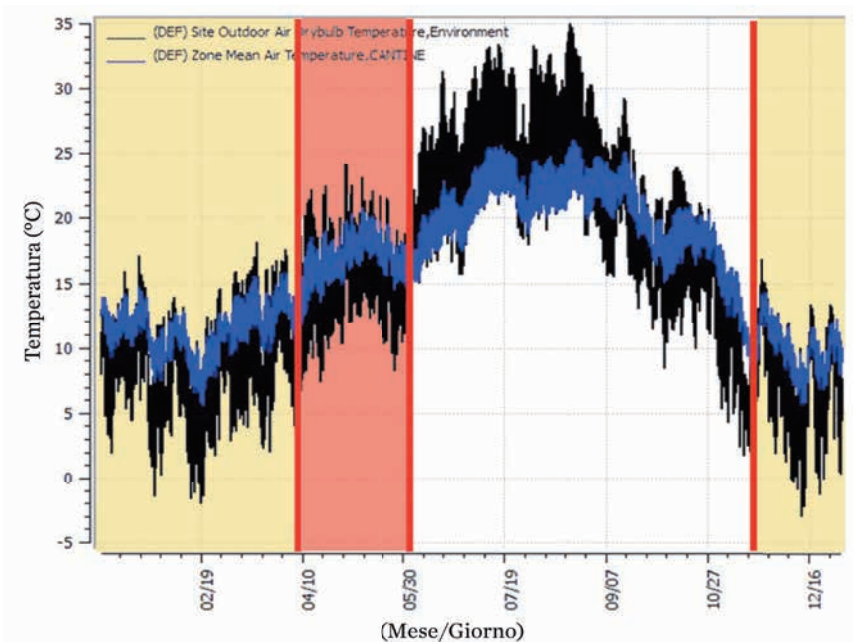
L'analisi termoenergetica del caso studio è stata condotta in regime dinamico, in modo da tenere in considerazione sia le caratteristiche capacitive sia resistive dell'edificio. Lo strumento scelto per eseguire questo studio è stato il software open source EnergyPlus. EnergyPlus, sviluppato dall'US Department of Energy, trova applicazione nello studio di diversi aspetti legati al comportamento energetico degli edifici, quali la valutazione dei fabbisogni energetici, la valutazione delle condizioni di comfort ambientale interno, l'analisi delle concentrazioni degli agenti inquinanti, la stima dei costi di gestione energetica, oppure la verifica dell'efficacia di strategie di ventilazione meccanica o naturale. Il software opera con una serie di dati di input introdotti dall'operatore e caratterizzanti l'edificio, tra i quali i dati climatici relativi alla località di ubicazione dell'edificio, e restituisce i dati di output con passo orario. L'inserimento dei dati di input prevede una modellazione dettagliata dell'edificio, con la definizione delle stratigrafie di tutte le pareti orizzontali e verticali che compongono l'involucro edilizio, la definizione dei carichi termici ordinari (p.e. quelli dati dalla presenza dei lavoratori e dall'illuminazione degli

Fig. 2 - Pianta fuori scala che rappresenta l'organizzazione delle aree funzionali



ambienti interni) e di quelli specifici (p.e. la potenza termica sviluppata dal vino durante la fermentazione alcolica e/o malolattica oppure dai gruppi frigo che alimentano le tasche termiche dei vasi vinari termostataati durante la fase estiva). Identificati gli input, sono stati quindi specificati gli output di interesse, tra i quali i più importanti per l'obiettivo dell'analisi sono: il tasso di ricambio d'aria orario espresso in ACH (air change/hour) e la temperatura media dell'aria interna. EnergyPlus offre diversi modelli di calcolo per stimare i ricambi di aria ottenuti mediante ventilazione naturale. Tra questi, è stato scelto un modello capace di calcolarli in base alle dimensioni delle aperture in facciata e alla velocità del vento. E' noto, dalla letteratura tecnico-scientifica, che la portata del flusso di ventilazione naturale attraverso l'apertura su un involucro, è data dalla sovrapposizione dell'effetto del vento e dell'effetto pila che è generato dalla differenza di temperatura tra l'ambiente interno ed esterno. Tra i vari input del modulo di ventilazione naturale utilizzato da EnergyPlus alcuni sono contenuti nei dati climatici della località di progetto come la velocità e direzione del vento, la temperatura dell'aria esterna, altri invece sono definiti dall'utente come l'area di apertura (finestre) o l'orientamento dell'apertura rispetto al nord, altri ancora ricavati in maniera ricorsiva dalle simulazioni stesse come la temperatura dell'aria interna. L'utente ha inoltre la possibilità di definire i criteri con cui regolare automaticamente il livello di apertura delle finestre in base a determinate condizioni ambientali quali: la temperatura interna o esterna massima o minima, la differenza di temperatura tra ambiente interno e esterno o la massima velocità del vento. Proprio agendo su queste regolazioni automatiche è stato possibile individuare una serie di scenari con l'obiettivo di raggiungere temperature interne alla cantina che fossero un ottimo compromesso tra le condizioni di temperatura effettivamente richieste dal vino durante le varie fasi di vinificazione e le condizioni di lavoro degli operatori all'interno della cantina. Per il periodo primaverile è stato individuato come range ideale di temperatura dell'aria interna per il reparto vinifica-

Fig. 3 - Grafico dell'andamento annuale della temperatura dove in blu è identificata la temperatura media dell'aria interna della cantina e in nero quella dell'aria esterna, in rosso è evidenziato lo scenario 1 per il periodo primaverile e in giallo lo scenario 1 per il periodo invernale



zione quello tra i 12 e 18 °C, per il periodo invernale, invece tra i 10 e 15 °C.

## Risultati e discussione

In **Tab.1** è riportato un riepilogo dei vari scenari utilizzati, indicati (si veda terza riga) con numeri da 1 a 5 per il periodo primaverile e da 1 a 2 per quello invernale. Per ciascuno di essi, in **Tab.1** vengono specificati i valori dei principali parametri che li caratterizzano. Di seguito si commenteranno i risultati ottenuti per i vari scenari e si faranno le considerazioni che hanno portato alla definizione degli scenari più vantaggiosi per i rispettivi periodi (primaverile, invernale), evidenziati in verde in **Tab.1**.

### Periodo primaverile

L'analisi è cominciata dallo scenario 1, relativo al periodo primaverile, considerando opening area nulla che corrisponde a mantenere sempre chiuse tutte le finestre (ACH=0 h<sup>-1</sup>), ciò per valutare come si sarebbe comportato l'edificio indipendentemente dal modulo ventilazione. In questo scenario, i risultati delle simulazioni hanno mostrato una forte tendenza delle temperature interne a seguire l'andamento delle temperature esterne (**Fig. 3**), con scostamenti di 3-5°C in alto o in

basso rispetto al range ideale di temperatura dell'aria interna a seconda del mese.

Nello scenario 2, opposto a quello precedente, tutte le finestre sulla parete est ed ovest vengono considerate aperte durante il periodo primaverile. In questo scenario è stato evidenziato, come primo problema, che i picchi del tasso di ricambio orario d'aria raggiungono valori eccessivi (fino a ACH=70 h<sup>-1</sup>). Tali valori risultano incompatibili con le condizioni di lavoro all'interno della cantina. Inoltre, come secondo problema, dal grafico dell'andamento della temperatura (**Fig. 4**) è possibile notare come le temperature interne siano prossime a quelle esterne. Si osservano dei leggeri smorzamenti dei picchi di massima e minima temperatura dovuti all'inerzia termica dell'edificio, ma in ogni caso le temperature dell'aria interna si discostano molto dai range ideali.

Alla luce dei risultati dello scenario 2, è stato definito lo scenario 3, intervenendo con la modifica della superficie delle finestre, diminuendo l'opening area complessiva (si veda **Tab.1**).

In particolare, per ovviare al problema delle temperature eccedenti il range ideale, sono state impostate delle condizioni automatiche di chiusura delle finestre. Nel caso in cui le temperatu-



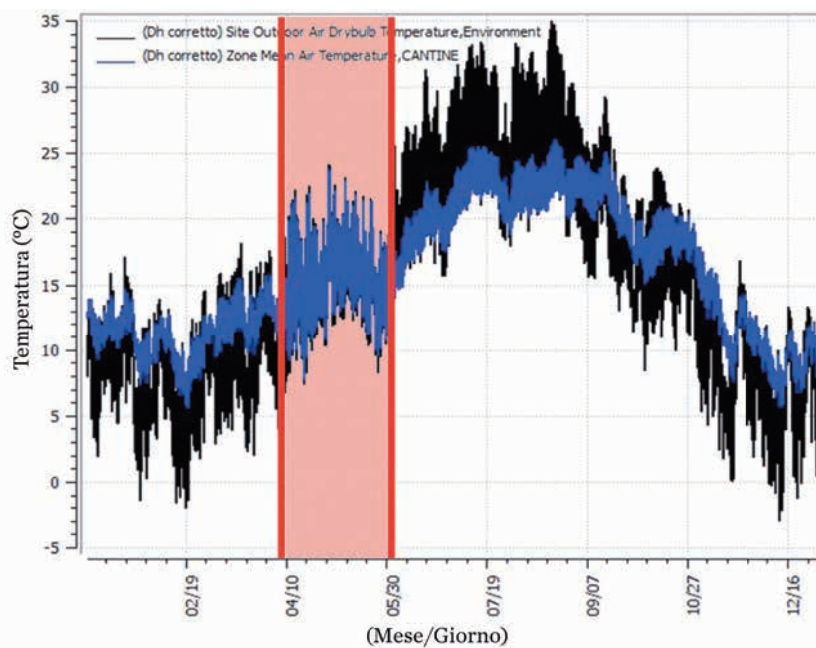
re esterne eccedessero il valore di 16 °C, o scendessero al di sotto di 12 °C, il software avrebbe considerato le finestre chiuse ed interrotto l'immissione di aria dall'esterno. Tali condizioni automatiche sono state utilizzate nello scenario 4. Sulla base dei risultati ottenuti dai precedenti scenari, è stato definito lo scenario 5, che coniuga le condizioni di opening area dello scenario 3 e le condizioni automatiche di chiusura delle finestre dello scenario 4. Lo scenario 5 si configura come lo scenario ideale per il periodo primaverile.

#### Periodo invernale

Si è passati poi all'analisi del periodo invernale, in cui si è ripetuto lo scenario 1 con opening area nulla. In Fig. 3, se si osserva l'area gialla ai limiti di destra e di sinistra del grafico e che in realtà è la continuazione del periodo invernale, si notano temperature minime che scendono spesso sotto i 10 °C, allontanandosi quindi dal range ideale. In questo caso, agendo esclusivamente sul controllo dei flussi di ventilazione, anche sfruttando le giornate più calde, non è stato possibile avvicinarsi al range ideale della temperatura interna. E' stato dunque necessario prevedere un'unità di riscaldamento con un setpoint fissato a 10 °C, individuando in questo modo lo scenario 2.

Infine, è stato definito lo scenario

Fig. 4 - Grafico dell'andamento annuale della temperatura dove in blu è identificata la temperatura media dell'aria interna della cantina e in nero quella dell'aria esterna, in rosso è evidenziato lo scenario 2 per il periodo primaverile in cui tutte le finestre sono aperte



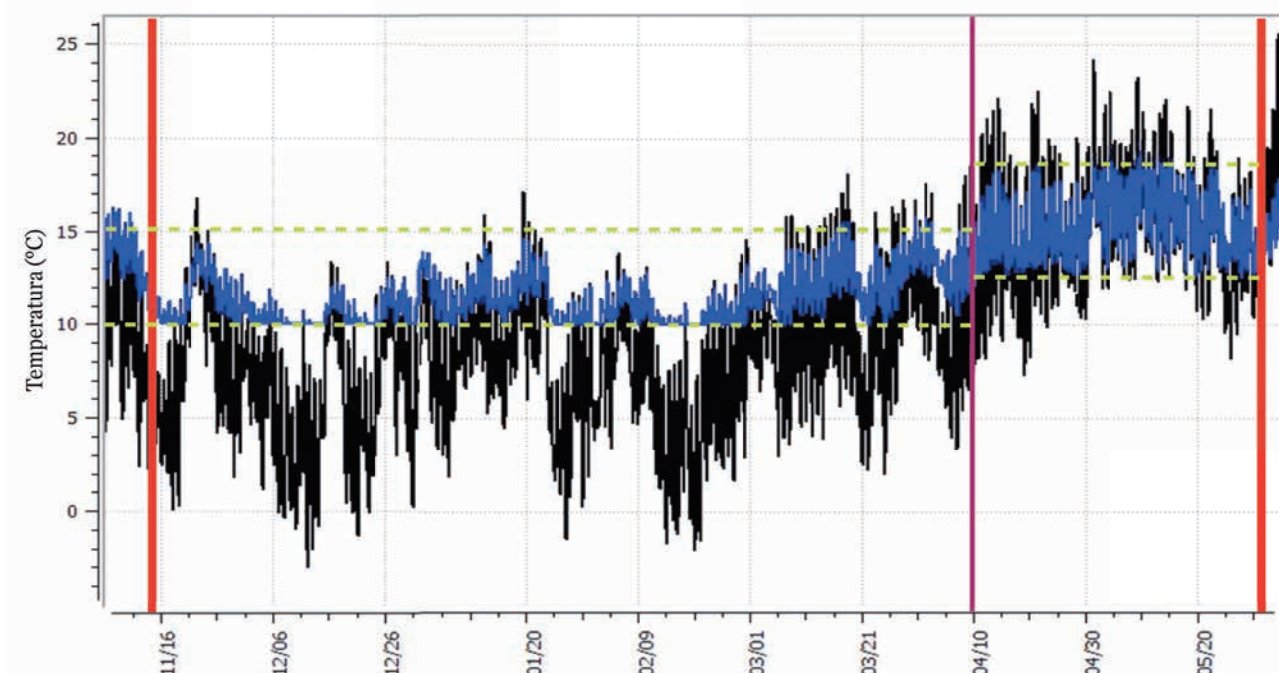
conclusivo come unione dei migliori scenari trovati nelle due diverse stagioni, cioè lo scenario 5 per il periodo primaverile e lo scenario 2 per il periodo invernale. Osservando la Fig. 5, si nota un andamento delle temperature interne della cantina che tendono a coincidere con i range ideali per i ri-

spettivi periodi di riferimento, evidenziati con le linee tratteggiate in verde.

## Conclusioni

In base ai risultati ottenuti dalle simulazioni energetiche dinamiche è stato possibile osservare che la ter-

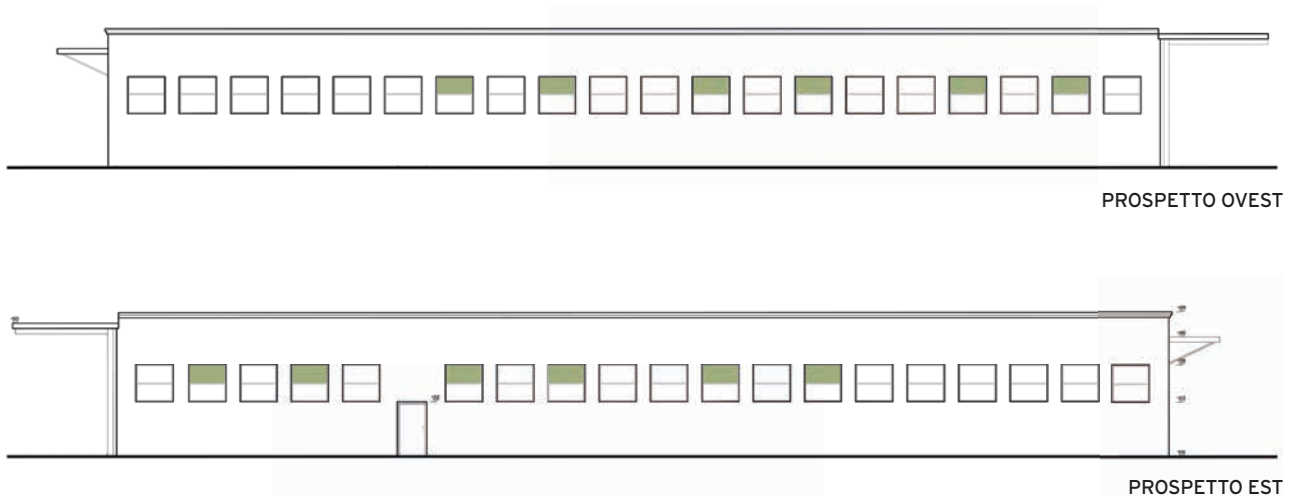
Fig. 5 - Grafico dell'andamento della temperatura degli scenari ideali che concorrono allo scenario conclusivo, la linea continua in viola e quelle in rosso identificano a sinistra della linea viola il periodo invernale e a destra quello primaverile



Tab. 1 - Riepilogo degli scenari utilizzati per le simulazioni. In verde sono evidenziati gli scenari ideali che definiscono lo scenario conclusivo

	Scenario							
	Periodo primaverile (11 aprile - 31 maggio)					Periodo invernale (15 novembre - 10 aprile)		
	1	2	3	4	5	1	2	
Opening Area [m <sup>2</sup> ]	0	54	12	54	12	0	0	
Minimum indoor temperature [°C]	-	-	-	12	12	-	-	
Maximum indoor temperature [°C]	-	-	-	16	16	-	-	
Setpoint unità heat [°C]	-	-	-	-	-	-	10	
Maximum wind speed [°C]	40	40	40	40	40	40	40	

Fig. 6 - Possibile configurazione delle aperture per garantire lo scenario ideale durante il periodo primaverile



moregolazione dell'ambiente cantina è possibile durante il periodo invernale agendo in maniera combinata con i flussi di ventilazione e con un'unità di riscaldamento di cui sono stati calcolati i consumi, risultati molto contenuti. Durante il periodo primaverile, la termoregolazione della cantina è raggiungibile in modo sostenibile grazie ai flussi di ventilazione generati dall'apertura meccanizzata delle finestre sulla parete est ed ovest, integrate a sensori di temperatura e anemometrici, garantendo complessivamente

le condizioni ideali. In particolare, in Fig. 6 si mostra una possibile configurazione delle aperture per applicare il più efficace scenario individuato per il periodo primaverile; in verde è stata evidenziata l'area apribile delle singole finestre con apertura a sali-scendi che concorrono complessivamente all'opening area richiesta dallo scenario. Si conclude osservando che l'accuratezza della simulazione svolta e gli strumenti utilizzati permettono l'applicazione e la ripetibilità ad altri casi studio, ad esempio nella barriccaia, al fine di indi-

viduare le strategie di ventilazione più idonee per termoregolare l'ambiente di stoccaggio durante la fase della stabilizzazione e invecchiamento del vino. L'ambiente barriccaia è infatti un ambiente molto importante da un punto di vista della qualità finale del vino ma, molto spesso, esso viene realizzato più da un punto di vista estetico che da quello funzionale. Nell'ottica quindi di trovare un equilibrio tra l'estetica e la funzionalità, l'applicazione qui riportata può essere di estrema utilità. ■