

Alma Mater Studiorum – Università Di Bologna

DOTTORATO DI RICERCA IN SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE,
AMBIENTALI E ALIMENTARI

Scuola di Ingegneria Agraria

XXVIII Ciclo A.A. 2012/2013

Settore Concorsuale di afferenza: 07/C1 Ingegneria Agraria, Forestale e dei Biosistemi

Settore Scientifico disciplinare: AGR/10 Costruzioni rurali e territorio agroforestale

TITOLO:

*Miglioramento del comportamento termico in strutture per la trasformazione
enologica: analisi comparativa di diverse soluzioni progettuali per
specifiche aree funzionali non climatizzate*

Presentata da: Francesca Dallacasa

Coordinatore Dottorato
Prof. Giovanni Dinelli

Relatore
Ing. Stefano Benni, PhD

Correlatore
Ing. Alberto Barbaresi, PhD

Esame finale anno 2016

INDICE

INDICE.....	3
SOMMARIO	5
ABSTRACT	5
1. INTRODUZIONE E OBIETTIVI	7
2. STATO DELL'ARTE	10
2.1. Letteratura scientifica.....	10
2.1.1. Cenni sulla vinificazione e la conservazione del vino.....	10
2.1.1.1. Metodo classico.....	12
2.1.2. La progettazione delle cantine.....	13
2.2. Inquadramento della normativa energetica di riferimento	18
2.2.1. La normativa energetica europea.....	18
2.2.2. La normativa energetica italiana	20
2.2.3. La normativa energetica in Emilia-Romagna	23
3. MATERIALI E METODI.....	26
3.1. Il caso studio	26
3.1.1. Zonizzazione termica	34
3.2. Definizione degli interventi e degli scenari progettuali di riqualificazione	38
3.2.1. Definizione delle variabili progettuali.....	38
3.2.1.1. Il sistema di involucro.....	41
3.2.1.2. L'orientamento	43
3.2.1.3. Le schermature solari	43
3.2.2. Stima dei costi degli interventi	44
3.2.3. Definizione degli scenari	49
3.3. Modellazione e simulazione energetica	49
3.3.1. Energy Plus.....	50
3.3.2. Open Studio	51
3.3.3. Il file meteo	52
3.3.4. Modellazione dello stato di fatto.....	55

3.3.5.	Calibrazione e validazione del modello	61
3.3.6.	Modellazione delle variabili	62
3.3.6.1.	Simulazione degli scenari	65
3.4.	Criteri e metodologia di analisi delle performance termiche.....	65
3.4.1.	Valutazione delle performance termiche di locali non climatizzati	65
3.4.1.1.	Il Comfort Termico.....	66
3.4.2.	Criteri di valutazione	69
4.	RISULTATI.....	71
4.1.	Validazione del modello	71
4.2.	Analisi degli scenari in assenza di impianto termico	75
4.2.1.	Analisi del discomfort complessivo.....	76
4.2.2.	Analisi del miglioramento termico.....	84
4.3.	Analisi economica.....	85
4.4.	Discussione dei risultati	93
5.	CONCLUSIONI.....	96
	BIBLIOGRAFIA.....	99
	ALLEGATI.....	105
	Allegato A_ Stratigrafie delle pareti verticali e delle coperture ipotizzate negli scenari.....	106
	Allegato B_ Tutti i grafici delle simulazioni	113
	Allegato C_ Analisi del miglioramento termico	119
	Allegato D_ Pubblicazione	137

SOMMARIO

Il presente studio rientra nell'ambito di una più ampia ricerca volta all'individuazione di criteri progettuali per il miglioramento delle prestazioni energetiche delle cantine di aziende vitivinicole di media-piccola dimensione produttiva. Nello specifico il lavoro di ricerca si pone l'obiettivo di definire dei criteri per valutare l'incidenza di diverse variabili progettuali sul comportamento termico di edifici destinati alla vinificazione e allo stoccaggio del vino, in assenza di impianti di climatizzazione.

La valutazione è stata svolta su un caso-studio rappresentativo del settore vitivinicolo in ambito nazionale. Le variabili progettuali riguardano l'involucro dell'edificio, prendendo in esame le diverse possibilità in termini di isolamento termico, opacità e trasparenza, oltre a quelle relative all'orientamento dell'edificio e alla presenza o assenza di schermature verdi. La simulazione energetica in regime dinamico del caso-studio e dei diversi scenari è stata condotta con il software Energy Plus, seguendo una procedura di simulazione calibrata e validata.

La valutazione si basa su degli indicatori di "benessere termico" del vino che, prendendo a riferimento le temperature interne dei locali, consentono di confrontare tra loro i diversi scenari. I risultati dimostrano e quantificano il miglioramento termico generato dall'applicazione combinata di più soluzioni progettuali.

Il metodo definito nella presente ricerca costituisce uno strumento di valutazione, a supporto di operatori e progettisti, per l'identificazione delle migliori soluzioni progettuali tali da ottimizzare le performance termiche, minimizzando e, laddove possibile, annullando i fabbisogni energetici per la climatizzazione.

ABSTRACT

The aim of this research is to define a set of design criteria for the improvement of the energy performances of wineries in medium-small wine growing and producing farms.

Specifically, the goal of the research consists in pointing out design-supporting criteria, suitable to assess the effect of different design strategies on the thermal behaviour of buildings for winemaking and for wine storage, in unconditioned rooms.

The assessment method is applied on a case-study farm winery, selected as a representative example within the national framework. The design solutions are related to the building envelope and take into consideration different possibilities in terms of thermal insulation, opacity and transparency, in addition to the aspects related to the orientation of the building and to the presence or absence of green shadings. The energy simulation of the different scenarios applied to the case-study was conducted in dynamic conditions with the software Energy Plus, according to a calibrated and validated procedure.

The evaluation is made by means of indicators based on the concept of “thermal comfort” for the wine, which allows to compare different scenarios, taking as a reference the internal temperatures of the rooms. The results underline and quantify the improvement of thermal behaviour in unconditioned rooms generated by the application of various combinations of solutions and identify the most effective and efficient ones.

The method defined in this research represent an useful assessment tool that allows to support operators and designers to identify the best design solutions – in new constructions or retrofit projects – in order to optimize the thermal performance, to minimize and eliminate, if possible, the energy needs for air conditioning.

Key words: Winery design, thermal performance, building envelope, solar shading, energy simulation

1. INTRODUZIONE E OBIETTIVI

La tematica di ricerca proposta si focalizza sulla progettazione di edifici per aziende vitivinicole di dimensioni medio-piccole, con particolare riferimento alle strutture per la trasformazione enologica. Obiettivo della ricerca è il miglioramento del comportamento termico di edifici non climatizzati destinati alla produzione e conservazione del vino, attraverso l'analisi comparativa di diverse soluzioni progettuali.

Negli ultimi anni si è assistito ad una crescente attenzione nei confronti della sostenibilità ambientale da parte del settore delle costruzioni, al fine di ridurre i consumi di energia e l'uso di risorse non rinnovabili. A partire dall'approvazione del protocollo di Kyoto, gli strumenti normativi hanno imposto requisiti prestazionali sempre più restrittivi, al fine di promuovere l'innalzamento della qualità degli edifici ottimizzando l'uso delle risorse naturali. Tale attenzione viene indirizzata sia alla progettazione di nuovi edifici che alla riqualificazione del patrimonio edilizio esistente.

Questa rinnovata attenzione nei confronti della sostenibilità ambientale e della riduzione del consumo di energia ha riguardato anche il settore agricolo, specialmente nelle aziende vitivinicole (Benni et al. 2008, Tassinari et al., 2013, Torreggiani et al. 2014). Come tutti i processi produttivi, anche le fasi di vinificazione, conservazione e invecchiamento possono avere ripercussioni sull'ambiente.

Nelle cantine vinicole la temperatura è un parametro di fondamentale importanza durante l'intero processo di trasformazione enologica allo scopo di ottenere un prodotto di qualità. Per questo motivo i locali destinati alla produzione e alla conservazione del vino devono essere mantenuti entro specifici intervalli così come suggerito dalla letteratura scientifica (vedi Paragrafo 2.1). A differenza della fase di vinificazione, dove il vino viene prodotto in vasi vinari termoregolati, spesso nelle successive fasi di conservazione e invecchiamento i contenitori (es. vasi, bottiglie, barrique) in cui è riposto il vino non sono climatizzati pertanto la sua temperatura è determinata dall'ambiente che lo ospita. Per questo motivo è particolarmente importante mantenere e controllare la temperatura interna di questi locali entro determinati intervalli, per garantire il comfort del vino.

Tuttavia, prendendo a riferimento l'area Mediterranea, si può osservare come la maggior parte delle attività vitivinicole sia ospitata all'interno di edifici progettati senza un'attenzione specifica al controllo climatico e all'efficienza energetica. (Benni et al. 2008).

Di conseguenza i locali presentano delle temperature interne spesso non idonee alla conservazione e all'invecchiamento del vino. Inoltre, come evidenziano Porrás-Amores et al. (2014), la distribuzione della temperatura può risultare omogenea all'interno dei locali quindi variare sensibilmente a seconda dell'altezza e del clima esterno. La differenza di temperatura tra le parti alte e quelle basse è molto accentuata in estate, per effetto delle elevate temperature esterne e dell'irraggiamento solare mentre tende a ridursi in inverno quando la temperatura interna risulta più omogenea (Porrás-Amores et al., 2014). Per questo si osserva il frequente ricorso ad impianti di climatizzazione, ventilazione e raffrescamento (HVAC) per il controllo delle temperature interne, che causano un innalzamento dei consumi energetici.

Allo stesso tempo, anche la letteratura scientifica dimostra una carenza nell'individuazione di linee guida per la progettazione efficiente di edifici atti ad ospitare il processo di trasformazione dell'uva per aziende vitivinicole, di media-piccola dimensione.

Per questi motivi, la ricerca si pone l'obiettivo di individuare una metodologia per valutare l'incidenza di variabili progettuali architettoniche sul comportamento termico dell'edificio. Grazie ad un'accurata progettazione delle caratteristiche architettoniche, i locali possono, infatti, mantenere temperature prossime alle condizioni ideali di comfort termico del vino evitando, in alcuni casi, l'installazione di sistemi impiantistici.

Le variabili riguardano caratteristiche dell'edificio sulle quali è possibile agire sin dalla fase progettuale, come ad esempio la scelta del sistema di involucro, l'orientamento e le schermature solari. Tali variabili vengono considerate sia singolarmente che in forma integrata, prevedendo la contemporanea applicazione di più variabili sotto forma di scenari di intervento. Lo studio è in grado di definire uno strumento di supporto alle scelte progettuali, per l'ottimizzazione delle variabili coinvolte al fine di migliorare la qualità del sistema costruttivo e di poter valutare la sostenibilità economica dell'intervento.

L'analisi viene condotta prendendo a riferimento un caso studio altamente rappresentativo, per vocazione ed espressione produttiva, del comparto vitivinicolo emiliano-romagnolo, individuato da precedenti ricerche (Tassinari et al, 2014). La metodologia di valutazione si avvale di un

software di simulazione energetica in regime dinamico degli edifici, che consente di valutare per ciascuno scenario l'andamento delle temperature all'interno dell'edificio permettendo un'analisi dei dati basata sui parametri di comfort termico richiesto dal processo di conservazione del vino.

L'esposizione della ricerca è così articolata:

Capitolo 2 in cui viene analizzato lo Stato dell'Arte, con particolare riferimento alla letteratura scientifica (Paragrafo 2.1) relativa alle tecniche di conservazione del vino, alla progettazione delle cantine e alla riqualificazione dei locali vinicoli, e all'inquadramento normativo in materia energetica (Paragrafo 2.2);

Capitolo 3 dove vengono discussi i Materiali e Metodi utilizzati nella ricerca. Nel Paragrafo 3.1 viene descritto il caso studio e la campagna di monitoraggio delle temperature. Nel Paragrafo 3.2 sono elencate le variabili progettuali indagate e viene esplicitata la procedura di stima dei costi delle variabili. Il Paragrafo 3.3 illustra i software utilizzati per le simulazioni energetiche e la fase di modellazione del caso studio e delle variabili, definendo la procedura seguita per calibrare e validare il modello dello stato di fatto. Infine, nel Paragrafo 3.4 vengono definiti gli indicatori per la valutazione del comportamento termico dell'edificio in assenza di impianto di climatizzazione e sono definiti i criteri per la valutazione delle varianti costruttive;

Capitolo 4 contenente la descrizione ed il commento dei Risultati delle simulazioni termiche, analizzando l'influenza delle singole variabili sia da un punto di vista prestazionale che dal punto di vista economico;

Capitolo 5 dove sono riportate le Conclusioni;

Allegati A, B, C e D dove sono inseriti rispettivamente tutti i pacchetti murari e di copertura analizzati, i grafici delle soluzioni proposte, l'analisi completa del miglioramento termico e la pubblicazione su rivista indicizzata.

2. STATO DELL'ARTE

2.1. Letteratura scientifica

2.1.1. Cenni sulla vinificazione e la conservazione del vino

Numerose sono le fasi in cui si articola il processo produttivo del vino, denominato *vinificazione*, tra loro strettamente connesse e tutte di fondamentale importanza per determinare la qualità del prodotto finale:

- la *vendemmia* consistente nella raccolta delle uve eseguita a mano o con mezzi meccanici;
- il *conferimento delle uve raccolte* in apposite vasche o recipienti dove viene effettuato un controllo a campione delle caratteristiche del materiale conferito;
- la *diraspatura* con cui vengono separati i raspi dagli acini;
- la *pigiatura* in cui avviene la rottura dell'acino con fuoriuscita del mosto, operazione spesso effettuata immediatamente dopo la diraspatura;
- la *sgrondatura* utile a determinare l'allontanamento della prima parte di mosto dalle parti solide;
- la *pressatura* mediante torchi che separano mosto e vino dalle vinacce;

A partire dalla produzione del mosto, il processo di vinificazione si differenzia a seconda della tipologia di vino da produrre. Nella vinificazione in bianco il passaggio dalla pigiatura alla pressatura è immediato e quindi la fermentazione avviene senza il contatto tra il mosto e le vinacce. Nella vinificazione in rosso invece avviene la fermentazione con macerazione in cui il mosto e le vinacce restano in contatto per alcuni giorni, durante i quali i pigmenti colorati e le sostanze tanniche contenute nella buccia vengono trasferite al mosto, e quindi si ritroveranno nel vino.

Dopo la fermentazione che si svolge a temperature controllate, il vino ottenuto può essere soggetto a:

- travasi e affinamento nei vasi vinari;

- l'eventuale *invecchiamento* in *barrique*;
- l'*imbottigliamento* ovvero il trasferimento del vino in bottiglia, dove proseguono i processi di affinamento e invecchiamento e dove può avvenire la seconda fermentazione nel caso in cui venga prodotto il vino secondo il metodo classico;
- lo *stoccaggio* finale.

Al fine di ottenere un prodotto di qualità, le fasi di vinificazione, invecchiamento e stoccaggio del vino devono avvenire all'interno di locali che presentano specifiche condizioni termoigrometriche.

Come suggerito da molti autori, nei locali destinati alla conservazione ed invecchiamento del vino sono richiesti una scarsa illuminazione, l'assenza di odori nocivi, un basso grado di umidità ed una temperatura interna il più possibile stabile e mantenuta entro specifici intervalli (Marescalchi, 1965; Vogt, 1971).

L'umidità svolge un ruolo determinante per la qualità del vino solo quando questo è conservato in *barrique*, botti o altri recipienti di legno. La porosità del legno può facilitare la formazione di muffe quando l'umidità interna raggiunge valori elevati, superiori al 90–95 %, e causare eccessive perdite dovute all'evaporazione del vino quando l'umidità relativa è bassa (Ruiz De Adana et al., 2005). Tuttavia, per garantire il controllo delle temperature, frequente è il ricorso a vasi vinari termicamente isolati e refrigerati per le fasi di vinificazione.

La presente ricerca si focalizza quindi sullo studio della temperatura interna dei locali destinati alla conservazione e all'invecchiamento, considerata di prioritaria importanza per ottenere un prodotto di qualità: le alte temperature velocizzano la maturazione e l'invecchiamento causando un danneggiamento delle caratteristiche organolettiche del vino mentre, al contrario, le basse temperature possono rallentare la maturazione, provocando la precipitazione dell'acido tartarico e quindi l'impoverimento del vino (Martin et al., 2006).

Numerosi studi mirano ad individuare l'intervallo di temperatura interna ideale per la conservazione dei vini. Per i vini rossi, Troost (1953) e Hidalgo Togoies (2003) raccomandano temperature tra i 12°C e i 15°C, mentre Vogt (1971) consiglia una temperatura di 12°C e comunque mai superiore a 15°C. Per i vini bianchi invece, l'intervallo di comfort indicato da Troost (1953) varia da 9°C a 12°C mentre quello suggerito da Vogt (1971) varia da 8°C a 12°C.

Diversamente Bondiac (1953), con riferimento ad entrambe le tipologie di vino, propone una temperatura compresa tra 10°C e 12°C mentre Marescalchi (1965) differenzia in base all'anno di conservazione: da 15°C a 20°C per il primo anno di conservazione e da 4°C a 12°C per gli anni successivi. La SEPSA (1952) sottolinea l'importanza di una temperatura interna costante, compresa tra 8°C e 14°C, e comunque mai inferiore ai 4°C o superiore a 25°C. Analogamente Ribereau-Gayon (2002) rileva l'aumento dei rischi per temperature di conservazione superiori ai 20°C, evidenziando invece l'assenza di problemi con le basse temperature. Christaki e Tzia (2002) consigliano il mantenimento del vino a temperature inferiori ai 12°C sempre per evitare l'insorgere di rischi durante la fase di conservazione.

Molti autori sottolineano l'importanza della stabilità della temperatura, sottolineando l'aumento dei rischi dovuto alle eccessive oscillazioni di temperatura, specialmente nel periodo estivo (Ruiz Hernandez 1999; Zamora 2003). In particolare, Vogt (1971) afferma che l'oscillazione annuale deve essere compresa tra 5-6°C, per garantire la qualità del prodotto.

In generale, dall'analisi della letteratura scientifica è possibile affermare come non vi sia un unico e preciso intervallo di temperature di comfort del vino, ma viene sottolineata quasi unanimemente l'importanza di mantenere la temperatura al di sotto dei 20°C, tollerando limitate escursioni verso temperature superiori, comunque contenute entro i 25°C, per una corretta conservazione del prodotto.

2.1.1.1. *Metodo classico*

Il metodo classico viene utilizzato per la produzione di vino spumante. I vini prodotti seguendo questo processo, dopo la prima fermentazione, sono soggetti ad una seconda fermentazione in bottiglia, che si compie con l'aggiunta di zuccheri e lieviti selezionati. I lieviti trasformano lo zucchero in anidride carbonica che conferisce al prodotto la pressione tipica del vino spumante (presa di spuma).

La durata dell'affinamento varia a seconda della qualità dei vini, da un minimo di 18 mesi fino a numerosi anni. In questa fase le bottiglie vengono lasciate a riposo e conservate in posizione orizzontale. Successivamente le bottiglie vengono disposte su appositi cavalletti (pupitre) dove vengono realizzati i remuage. I remuage, eseguiti manualmente o meccanicamente, consistono nello scuotere e far roteare le bottiglie per favorire il distacco dei residui di lieviti dalle pareti. Al termine delle operazioni le bottiglie vengono posizionate verticalmente col collo in basso, in

modo che i residui si depositino nel tappo della bottiglia, la bidule, pronti per essere asportati tramite la sboccatura.

L'operazione della sboccatura (dégorgement) consiste nel rimuovere il tappo e i residui in esso contenuti. Oggi tale operazione si esegue meccanicamente facendo dapprima gelare il collo della bottiglia dove sono contenute le fecce, poi sfruttando la pressione all'interno della bottiglia viene asportato il tappo. Al termine il vino viene controllato per verificare che risulti perfettamente limpido. Prima della tappatura finale la bottiglia viene rabboccata con una piccola quantità dello stesso vino e a seconda dei casi, addizionata con uno sciroppo di vino (a volte invecchiato) e zucchero (liqueur d'expédition). La quantità di zucchero della liqueur d'expédition determina le caratteristiche dello spumante, da demi-sec a extra-brut.

Il metodo classico si conclude con la tappatura finale ed il confezionamento. Il tappo utilizzato è in sughero a forma di fungo con gabbietta di filo di ferro per evitare l'espulsione del tappo, infatti all'interno della bottiglia la pressione può raggiungerei 6,5 bar per lo sviluppo di anidride carbonica dovuto alla fermentazione.

2.1.2. La progettazione delle cantine

Una corretta progettazione architettonica dell'edificio è condizione necessaria per la creazione di un ambiente ottimale per la conservazione del vino. Questa ha il compito di favorire il raggiungimento delle condizioni di benessere termo-igrometrico per il vino esposte nel Paragrafo 2.1.1, all'interno dei locali. A questo scopo risulta fondamentale la scelta consapevole di una serie di parametri architettonici e funzionali.

A partire dalla seconda metà del Novecento, l'alto costo di realizzazione dei fabbricati interrati e il basso prezzo dell'energia elettrica hanno portato alla costruzione di nuove cantine fuori terra, soprattutto in zone pianeggianti, in cui il controllo delle condizioni termo-igrometriche interne, se presente, è nella maggior parte dei casi totalmente affidato agli impianti di climatizzazione. Attualmente si assiste ad una inversione di tendenza, infatti l'aumento progressivo dei costi dell'energia e le politiche europee finalizzate al risparmio energetico favoriscono la ricerca di criteri progettuali, che consentono il mantenimento delle temperature ideali senza il ricorso ai sistemi impiantistici.

In letteratura, le pubblicazioni scientifiche che trattano il tema della progettazione delle cantine forniscono prevalentemente informazioni per quanto riguarda le cantine industriali (Ayuga

1999), le innovazioni tecnologiche legate alle attrezzature ed agli impianti (Jacquet et al., 2007), il rispetto delle norme di sicurezza nei luoghi di lavoro (Failla et al., 2008) e l'inserimento paesaggistico sostenibile (Fichera et al., 1995). Risultano ancora poco approfondite le linee-guida specifiche per una corretta progettazione delle componenti edilizie in cantine vinicole di medio- piccola dimensione.

La gamma di soluzioni architettoniche è estremamente ampia e in continua evoluzione e questa tesi non ha la pretesa di indagarla nella sua interezza. Di seguito vengono descritte solo alcune delle soluzioni che possono essere efficacemente adottate per la progettazione delle cantine vitivinicole e che hanno trovato applicazione in recenti realizzazioni. In particolare vengono trattati da un lato i materiali e i sistemi costruttivi, dall'altro la configurazione planivolumetrica e le schermature solari, in quanto sono considerati parametri che possono influire notevolmente sul comportamento termo-igrometrico dei locali.

Materiali e sistemi costruttivi

La selezione dei materiali è di fondamentale importanza nella progettazione dell'involucro edilizio. Vista la vasta gamma di prodotti disponibili sul mercato, numerose sono le scelte da compiere. In primo luogo è necessario analizzare i materiali sulla base delle specifiche proprietà termo-igrometriche (UNI EN 12831:2006). I materiali infatti e i relativi pacchetti murari, hanno comportamenti termici completamente diversi al variare delle proprie caratteristiche, quali ad esempio la trasmittanza e la capacità termica. Gli studi e le recenti applicazioni hanno consentito di poter usufruire di materiali e pacchetti estremamente performanti per il benessere termico dell'uomo, destinati principalmente a locali climatizzati e con temperature decisamente diverse da quelle necessarie ad una buona conservazione del vino (temperature più elevate).

In secondo luogo occorre valutare la provenienza dei materiali, il tipo di manutenzione richiesta e il loro grado di reversibilità e riciclabilità. La crescente attenzione nei confronti del problema ecologico e del contenimento dei consumi, hanno orientato le politiche europee verso nuovi obiettivi di sostenibilità che riguardano anche i processi produttivi: l'obbligo di indicare informazioni sui prodotti relativamente al loro impatto ambientale e al rispetto delle normative internazionali, come l'International Organization for Standardization (ISO) 14000, la limitazione o l'eliminazione di sostanze tossiche e nocive, l'introduzione di marchi di qualità ecologica.

Nella valutazione dell'impatto ambientale dei materiali da costruzione, numerosi sono gli strumenti validati scientificamente che tengono conto dell'intero ciclo di vita del prodotto. Tra questi i più efficaci, per oggettività e credibilità sono: LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), ITACA, CasaClima Nature, Eco Indicator 95, Eco Quantum (Boeri et al., 2011).

Tra i materiali utilizzabili nella progettazione di una cantina si vuole sottolineare l'opportunità di utilizzare prodotti facilmente reperibili da parte dell'azienda agricola. Materiali quali la paglia, la terracuda ed altri presenti in natura offrono il vantaggio di essere disponibili a basso costo per l'azienda, di favorire l'inserimento ambientale dell'edificio nel contesto circostante, di ridurre l'inquinamento dovuto al trasporto del materiale in sito, oltre a beneficiare delle elevate performance termiche.



Figura 1 - Cantina La Raia, Novi Ligure. A sinistra vista esterna della cantina, realizzata con pareti in terracuda con la tecnica del pisé. A destra il locale dove sono contenuti i vasi vinari è realizzato con strutture verticali e di copertura in legno lamellare.

Parallelamente ai materiali occorre valutare i sistemi costruttivi, potendo scegliere tra soluzioni tradizionali ed innovative. In questo caso si dovranno considerare la facilità e la velocità di esecuzione, la durabilità nel tempo, il risparmio di risorse non rinnovabili e la reversibilità nel tempo. In quest'ottica sarebbero da preferire i sistemi prefabbricati a secco che assicurano elevati livelli prestazionali abbinati a contenuti costi di esecuzione.

Configurazione planivolumetrica

Una possibile soluzione, per contenere l'innalzamento delle temperature estive, consiste nella progettazione di locali interrati destinati alla conservazione del vino. Tale soluzione, già utilizzata nell'antichità (Alberti, 1565; Di Giorgio Martini, 1967), permette di ottenere in modo naturale un andamento delle temperature interne entro gli intervalli richiesti con ridotte oscillazioni termiche, sfruttando le caratteristiche termiche del terreno (Tinti et al, 2014). In tempi recenti si è assistito ad un notevole incremento di cantine interrate, ne è un esempio la Cantina Antinori di San Casciano Val di Pesa completata nel 2012, concepita per avere un basso impatto ambientale ed un alto risparmio energetico. La barricaia, i locali di vinificazione e invecchiamento sono ambienti ipogei e l'articolazione altimetrica della cantina segue il processo produttivo discendente delle uve, per favorire la vinificazione "per gravità".



Figura 2 - La cantina Antinori a San Casciano Val di Pesa, Firenze. Un esempio di cantina interrata per consentire la vinificazione "per gravità" e per garantire in modo naturale la temperatura ideale per la produzione e la conservazione del vino.

Numerosi studi scientifici si sono occupati di valutare i benefici dei locali interrati nella conservazione del vino (Martin Ocana e Cañas Guerrero 2005; Martin Ocana e Cañas Guerrero 2006), arrivando a definire una metodologia per la validazione delle modellazioni energetiche di cantine interrate, basata su una calibrazione sperimentale. Tuttavia, l'interramento delle cantine presenta anche numerose criticità, quali ad esempio: gli elevati costi di escavazione, l'emissione di radon dal sottosuolo, oltre a vincoli di altra natura. Per questo motivo nella presente ricerca, l'interramento del caso-studio non viene preso in considerazione.

Schermature vegetali

L'inserimento di pareti verdi avente funzione di schermatura solare dell'involucro è considerato uno degli accorgimenti progettuali più efficaci per ridurre il surriscaldamento estivo delle pareti (Hussain and Amneh H.2010, Alexandri and Jones 2008, Kumar and Kaushik 2005, Perini et al. 2013). Tale soluzione può essere ricreata in diversi modi: con piante rampicanti addossate ai muri, pareti verdi verticali, tetti verdi in copertura e sporti ombreggianti. In questa ricerca viene approfondita la progettazione di pareti vegetali realizzate con piante rampicanti e apposite strutture di sostegno (Tatano 2008). L'adozione di tali sistemi vegetali in una cantina vitivinicola viene valutata positivamente perché favorisce l'inserimento ambientale dell'edificio e parallelamente consente il controllo microclimatico di diversi parametri quali le temperature, l'umidità, il vento, i rumori e la depurazione dell'aria. Occorre inoltre porre attenzione alla scelta della tipologia vegetale da adottare, privilegiando le specie a foglia caduca per garantire il massimo apporto di calore nei mesi invernali.



Figura 3 - La Cantina Mori Colli Zugna a Mori (TN). La cantina innovativa e ipogea è realizzata sotto il livello del terreno. La copertura è realizzata con il "tetto verde", in parte ricoperta a vigneto in parte semplicemente inerbita, per migliorare l'inserimento dell'edificio nell'ambiente.

2.2. Inquadramento della normativa energetica di riferimento

Allo scopo di orientare il progettista nella corretta definizione di tutti i componenti edilizi viene proposta una rassegna del quadro normativo di riferimento in tema di efficienza energetica. Tali normative, finalizzate all'innalzamento del livello di prestazione termica ed energetica degli edifici, individuano i requisiti minimi che tutti i componenti di involucro ed impiantistici devono rispettare sia per gli edifici di nuova costruzione sia per i fabbricati oggetto di riqualificazione, con alcune eccezioni come di seguito individuate.

Il quadro normativo preso a riferimento comprende:

- la normativa energetica europea, ovvero le direttive che individuano le linee guida e gli obiettivi strategici da recepire nelle normative degli stati membri;
- la normativa energetica italiana, che inquadra l'evoluzione normativa in tema di risparmio energetico del nostro Paese;
- la normativa energetica dell'Emilia-Romagna, valida sul territorio regionale in cui è situato il caso-studio preso a riferimento nella presente ricerca.

2.2.1. La normativa energetica europea

Il tema dell'efficienza energetica ha assunto un'importanza sempre crescente in ambito europeo, per contrastare l'innalzamento dei consumi energetici e le conseguenze a livello ambientale. L'attività normativa europea, la cui funzione è quella di indirizzare le politiche dei singoli stati membri, a partire dagli anni Ottanta ha individuato obiettivi comuni e piani strategici di medio- lungo periodo da perseguire per favorire l'efficienza energetica.

In questo ambito, le prime norme emanate dalla Comunità europea sono state la Direttiva 89/106/CEE e la Direttiva 92/42/CEE riguardanti rispettivamente la certificazione dei materiali da costruzione e i requisiti di rendimento per le caldaie ad acqua calda alimentate con combustibili liquidi o gassosi. Successivamente è stato introdotto con la Direttiva 92/75/CEE l'obbligo di indicare il consumo di energia e di altre risorse degli apparecchi domestici, mediante etichettatura e informazioni uniformi.

La prima normativa espressamente indirizzata alla riduzione dei consumi energetici è la Direttiva 93/76/CEE, che mira alla riduzione delle emissioni di CO₂ grazie ad un miglioramento

dell'efficienza energetica attraverso un insieme strategico di azioni quali: la certificazione energetica degli edifici, il finanziamento di investimenti per l'efficienza energetica, l'isolamento termico dei nuovi edifici e il controllo periodico delle caldaie. La Direttiva 2001/77/CEE è invece orientata alla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili.

Successivamente, con la Direttiva 2002/91/Ce del 16 dicembre 2002 "*sul rendimento energetico nell'edilizia*", vengono introdotti dei requisiti minimi di prestazione energetica da rispettare sia per le nuove costruzioni sia per quelle oggetto di ristrutturazione. La normativa individua un metodo di calcolo del rendimento energetico e introduce l'obbligo di certificare il fabbisogno energetico degli edifici. Il provvedimento viene poi modificato dalla Direttiva 2010/31/UE del 19 maggio 2010 "*sulla prestazione energetica nell'edilizia (rifusione)*". Poiché da soli gli immobili rappresentano il 40 % del consumo finale di energia dell'Unione, la Direttiva introduce nuove linee-guida per aumentare l'efficienza energetica e perseguire l'obiettivo di ridurre i consumi del 20% entro il 2020. Viene inoltre introdotto il concetto di "*edifici a energia quasi zero*" ("*nearly zero-energy building*"), intendendo edifici per i quali il fabbisogno di energia sia molto basso o quasi nullo e soddisfatto in larga parte da fonti rinnovabili.

L'ultima disposizione in materia energetica è attualmente rappresentata dalla Direttiva Europea 2012/27/UE del 25 ottobre 2012, che fissa nuovi obiettivi per il conseguimento dell'obiettivo di riduzione del 20% dei consumi di energia primaria entro il 2020, noto come obiettivo "20-20-20".

Gli Stati membri dovranno favorire la diffusione di interventi di ristrutturazione profonda degli edifici, non solo residenziali, al fine di aumentare la prestazione energetica del parco immobiliare, riducendo i consumi in modo significativo, consentendo un evidente risparmio economico.

2.2.2. La normativa energetica italiana

A livello nazionale, la prima norma sul risparmio energetico può essere considerata la Legge 373/1976, che per prima si occupa della potenza degli impianti termici e dell'isolamento termico degli edifici. La norma introduce anche il concetto di gradi giorno e l'articolazione del territorio nazionale in differenti zone climatiche.

Successivamente, viene emanata la Legge 10/91 "*Norme in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia*", allo scopo di regolamentare i consumi di energia negli edifici pubblici e privati, l'esercizio e la manutenzione degli impianti esistenti. Vengono fissati dei limiti massimi di consumi di energia in relazione alla destinazione d'uso degli edifici, agli impianti installati e alla zona climatica di appartenenza. Viene inoltre introdotto l'obbligo di deposito di una relazione tecnica sul rispetto delle prescrizioni di legge, redatto dal progettista.

La Direttiva europea 2002/91/CE è stata recepita in Italia dal D. Lgs 192/2005 "*attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia*" successivamente modificato ed integrato con il D. Lgs 311/2006, provvedimenti che sostituiscono integralmente la precedente legislazione in materia. Nello specifico, vengono definiti nuovi livelli minimi di prestazione degli edifici dal punto di vista energetico e viene introdotto l'obbligo di ricorrere alle fonti di energia rinnovabile sia per la produzione di energia elettrica che di energia termica. Il rispetto di queste norme è previsto sia per le nuove costruzioni sia per quelle soggette a ristrutturazione, sia per le nuove installazioni di impianti. Altre disposizioni riguardano le ispezioni periodiche obbligatorie agli impianti e la redazione dell'attestato di certificazione energetica.

L'attestato di certificazione energetica (ACE) viene poi sostituito col D.L 63/2013 convertito in legge 90/2013 dall'attestato di prestazione energetica¹ (APE), il quale fornisce indicazioni sul

1 ai sensi dell'art. 2 della L. 90/2013 viene definito attestato di prestazione energetica dell'edificio il "*documento, redatto nel rispetto delle norme contenute nel presente decreto e rilasciato da esperti qualificati e indipendenti che attesta la prestazione energetica di un edificio attraverso l'utilizzo di specifici descrittori e fornisce raccomandazioni per il miglioramento dell'efficienza energetica*".

fabbisogno di energia primaria, sulla classe energetica dell'edificio e sui possibili interventi migliorativi finalizzati ad un miglioramento dell'efficienza energetica. L'obbligo di informare i futuri utenti del livello di prestazione energetica dell'edificio è concepito come uno strumento di promozione e diffusione delle tematiche relative all'efficienza energetica.

A seguito dell'approvazione del D. Lgs 192/2005 e successive modifiche e integrazioni, sono stati emanati 3 decreti attuativi, il DPR 59/2009 del 2 aprile 2009, il D.M. 26 giugno 2009 e il D.M. 26 giugno 2015 "*Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici*".

Quest'ultimo, in vigore dal 1° ottobre 2015, recepisce la Direttiva 2010/31/UE e aggiorna la metodologia di calcolo delle prestazioni energetiche e dell'utilizzo di fonti rinnovabili. Tra le principali novità vengono definiti i requisiti degli edifici a energia quasi zero, sono stabiliti nuovi standard energetici minimi e viene cambiata la metodologia di verifica dei requisiti minimi richiesti: per determinare il valore limite di prestazione energetica di un edificio non si fa più riferimento alla tabella² riportata nell'Allegato C del D. Lgs. n. 192/2005 ma occorre calcolare il fabbisogno di energia per il cosiddetto "edificio di riferimento", ovvero un edificio identico a quello in oggetto per geometria, orientamento, ubicazione geografica, destinazione d'uso e tipologia di impianto, avente però le caratteristiche termiche ed energetiche fissate dal decreto.

Come definito dal decreto per prestazione energetica si intende la "*quantità annua di energia effettivamente consumata o che si prevede possa essere necessaria per soddisfare con un uso standard dell'immobile, i vari bisogni energetici dell'edificio, la climatizzazione invernale e estiva, la preparazione dell'acqua calda per usi igienici sanitari, la ventilazione e, per il settore terziario, l'illuminazione, gli impianti di ascensori e scale mobili*".

² L'Allegato C del D.Lgs. n. 192/2005 riporta dei valori prestabiliti del limite di prestazione energetica di un edificio in funzione del rapporto di forma S/V e dei gradi giorno.

Secondo quanto stabilito dal decreto attuativo la prestazione energetica degli edifici è determinata in conformità alla normativa tecnica nazionale in materia:

- raccomandazioni CTI 14/2013 Prestazioni energetiche degli edifici - Determinazione dell'energia primaria e della prestazione energetica EP per la classificazione dell'edificio e successive norme tecniche che ne conseguono;
- UNI/TS 11300 - 1 Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale;
- UNI/TS 11300 - 2 Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria;
- UNI/TS 11300- 3 Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 3: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva;
- UNI/TS 11300- 4 Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 4: Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria;
- UNI EN 15193 - Prestazione energetica degli edifici - Requisiti energetici per l'illuminazione

Le disposizioni si applicano agli edifici di nuova costruzione, a quelli soggetti a ristrutturazioni o a riqualificazioni energetiche, differenziando i requisiti minimi da rispettare e le verifiche da effettuare in relazione al tipo di intervento; in particolare le grandezze che la norma chiede di valutare a seconda dell'intervento sono:

- l'indice di prestazione termica utile per il riscaldamento EP_H ;
- l'indice di prestazione termica utile per il raffrescamento EP_C ;

- l'indice di prestazione energetica globale³ dell'edificio $EP_{gj} = EP_H + EP_W + EP_V + EP_C + EP_L + EP_T$
- il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione per unità di superficie disperdente $H'T$;
- il valore della trasmittanza termica U per le strutture opache verticali, orizzontali o inclinate e delle chiusure trasparenti;
- il valore del fattore di trasmissione solare totale (g) per componenti finestrati con orientamento da Est a Ovest in presenza di una schermatura mobile;
- il valore di massa superficiale M_s delle superfici opache oppure di trasmittanza termica periodica YIE ;
- il rendimento globale medio stagionale degli impianti termici;
- l'utilizzo di fonti rinnovabili.

Tali disposizioni trovano applicazione su tutto il territorio nazionale, ad eccezione delle Regioni che hanno adottato propri provvedimenti in materia, tra le quali l'Emilia - Romagna.

2.2.3. La normativa energetica in Emilia-Romagna

Poiché il caso studio preso a riferimento nella presente ricerca (vedi Paragrafo 0) è situato in Emilia - Romagna, di seguito viene riportata una sintesi del quadro normativo regionale. Dal 2004, l'Emilia-Romagna ha legiferato con propri provvedimenti normativi in materia di rendimento energetico degli edifici, prima con la L. R. N. 26 del 23 dicembre 2004, poi con la DAL n. 156 del 04 marzo 2008.

Dal 1° ottobre 2015 è in vigore il DGR n. 967 del 20 luglio 2015 " Approvazione dell'atto di coordinamento tecnico regionale per la definizione dei requisiti minimi di prestazione energetica

³ L'indice di prestazione energetica globale è dato dalla somma degli indici di prestazione energetica per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione, per la climatizzazione estiva, per l'illuminazione artificiale e per il trasporto di persone e cose

degli edifici (artt. 25 e 25-bis L.R. 26/2004 e s.m.)", che costituisce l'attuale normativa di riferimento regionale.

Ai fini della presente ricerca, vengono presi in esame i valori limite di trasmittanza termica dei componenti dell'involucro, tratti dalla Sezione D - Requisiti e prescrizioni specifici per gli edifici sottoposti a riqualificazione energetica, del DGR 967/2015. I valori limite di trasmittanza riportati nella tabelle seguenti sono suddivisi per zona climatica e per data di decorrenza entro cui devono essere applicati e sono da osservare per tutti gli interventi di riqualificazione dell'involucro edilizio che coinvolgono una superficie inferiore o uguale al 25% della superficie disperdente lorda complessiva dell'edificio.

Per il controllo degli apporti di energia termica in regime estivo la norma dispone (art. B.3.1.a del DGR 967/2015) l'adozione di sistemi di schermatura delle aperture e dei serramenti tramite soluzioni ombreggianti quali, aggetti fissi di balconi, brise-soleil, frangisole, etc. Sempre al fine di limitare gli apporti termici dovuti alla radiazione solare incidente sulle chiusure opache, durante il regime estivo, occorre verificare, in tutte le zone climatiche ad esclusione della F:

- relativamente a tutte le chiusure (pareti esterne) verticali opache con l'eccezione di quelle comprese nel quadrante nord-ovest / nord / nord-est il rispetto di almeno uno dei seguenti requisiti:

che il valore della massa superficiale M_s , sia superiore a 230 kg/m²;

che il valore del modulo della trasmittanza termica periodica Y_{IE} , sia inferiore a 0,10 W/(m²K);

- relativamente a tutte le chiusure opache orizzontali ed inclinate (coperture), che il valore del modulo della trasmittanza termica periodica Y_{IE} , sia inferiore a 0,18 W/(m²K).

Sono escluse dall'applicazione dei requisiti minimi come definiti dal DGR n. 967 del 20 luglio 2015 gli edifici rurali non residenziali sprovvisti di impianti di climatizzazione, categoria a cui appartiene il caso studio come di seguito descritto. Tuttavia ai fini della presente ricerca, viene approfondito lo studio delle caratteristiche di trasmittanza termica e sfasamento termico dei componenti di involucro, in quanto ritenute di fondamentale importanza nel garantire il raggiungimento delle condizioni di comfort interne.

Tabella 1 - Trasmittanza termica U delle strutture opache verticali, verso l'esterno o verso locali non riscaldati, soggette a riqualificazione

Zona climatica	U (W/m ² K)	
	2015	2017/2019
D	0.36	0.32
E	0.30	0.28
F	0.28	0.26

Tabella 2 - Trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali o inclinate di copertura, verso l'esterno soggette a riqualificazione

Zona climatica	U (W/m ² K)	
	2015	2017/2019
D	0.28	0.26
E	0.26	0.24
F	0.24	0.22

Tabella 3 - Trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali di pavimento, verso l'esterno, soggette a riqualificazione

Zona climatica	U (W/m ² K)	
	2015	2017/2019
D	0.36	0.32
E	0.31	0.29
F	0.30	0.28

Tabella 4 - Trasmittanza termica U delle chiusure tecniche trasparenti e opache e dei cassonetti, comprensivi degli infissi, verso l'esterno o verso ambienti non riscaldati soggetti a riqualificazione

Zona climatica	U (W/m ² K)	
	2015	2017/2019
D	2.10	1.80
E	1.90	1.40
F	1.70	1.00

Tabella 5 - Trasmittanza termica U delle strutture opache verticali e orizzontali di separazione tra edifici o unità immobiliari confinanti

Zona climatica	U (W/m ² K)	
	2015	2017/2019
Tutte le zone	0.80	0.80

Tabella 6 - Valore del fattore di trasmissione solare totale $g_{gl.sh}$ per componenti finestrati con orientamento da Est a Ovest passando per Sud

Zona climatica	$g_{gl.sh}$	
	2015	2017/2019
Tutte le zone	0.35	0.35

3. MATERIALI E METODI

La presente sezione è divisa in 4 sottosezioni, ciascuna delle quali illustra una fase della ricerca. La prima (3.1 Il caso studio) riguarda la descrizione del caso studio e in particolare della campagna di monitoraggio permanente delle temperature interne. La seconda (3.2 Definizione degli interventi e degli scenari progettuali di riqualificazione) descrive le variabili progettuali sulle quali agire per migliorare il comportamento termico dell'edificio, arrivando a definire gli scenari di riqualificazione e la stima economica di ciascun intervento.

Nella terza sottosezione (3.3 Modellazione e simulazione energetica) viene descritta la fase di simulazione con particolare riferimento alla procedura di modellazione e di calibrazione. Infine, nella quarta sottosezione (3.4 Criteri e metodologia di analisi delle performance termiche) viene definita la metodologia per valutare le performance termiche in locali non climatizzati, introducendo il concetto di "comfort termico del vino".

3.1. Il caso studio

La ricerca è stata condotta prendendo a riferimento la cantina vinicola Branchini situata nel Comune di Dozza Imolese, località Toscanella di Dozza, nella campagna bolognese (regione Emilia-Romagna, Italia), a 42 m slm. L'azienda, che è già stata oggetto di precedenti studi da parte del gruppo di ricerca, può essere considerata, per dimensioni e produzione di vino, una realtà rappresentativa del comparto vitivinicolo emiliano-romagnolo ed in particolare del territorio di appartenenza (Nuovo Circondario Imolese).

L'estensione del centro aziendale è di 80 ettari dei quali 20 coltivati a vigneto. La raccolta dell'uva viene eseguita manualmente e con mezzi meccanici e annualmente circa 2 500 quintali di uva vengono destinati alla vinificazione. Si stima che ogni anno la produzione di vino vada da 1700 a 2 500 hl, tra bianchi, rossi e passiti. Di questi, circa 500 hl vengono imbottigliati, i restanti invece vengono venduti sfusi.



Figura 4 - Ortoimmagine satellitare con indicazione dell'azienda vitivinicola assunta come caso studio

Il centro aziendale collocato a nord dell'Autostrada A14 (vedi Figura 4) è articolato in 4 edifici:

- l'edificio principale in muratura recentemente ristrutturato contenente l'abitazione dei proprietari, l'ufficio, una sala degustazione ed una piccola barricaia interrata;
- un piccolo edificio in muratura ad uso servizi, con spogliatoi e servizi igienici per gli addetti;
- un edificio con struttura in calcestruzzo armato prefabbricato e gettato in opera per la vinificazione e lo stoccaggio dei vini e delle bottiglie;
- un piccolo magazzino in legno per il vino imbottigliato, ristrutturato nel 2006 e dotato di climatizzazione.

La ricerca si concentra sull'edificio destinato alla vinificazione e allo stoccaggio dei vini e delle bottiglie. Il fabbricato, costruito nel 1968, è una struttura prefabbricata di forma rettangolare, delle dimensioni: 27.75 m di lunghezza e 18.50 m di larghezza.



Figura 5 - Il locale per la vinificazione e lo stoccaggio

L'asse principale presenta un orientamento di 32° N. L'edificio interamente fuori terra, con copertura a doppia volta a botte a sesto acuto, ha un'altezza esterna di 4.95 m, mentre l'altezza interna varia da 5.15 m a 6.90 m.

Internamente lo spazio si presenta come un unico ambiente, e allineati lungo l'asse principale, ci sono sei pilastri in posizione centrale che suddividono virtualmente lo spazio interno in due zone: la parte ad est destinata alla produzione del vino dove sono posizionati i vasi vinari (disposti su quattro file) e la parte ad ovest utilizzata per la conservazione delle bottiglie, dove è stato ricavato anche un piccolo ufficio (vedi Figura 6). Il vino imbottigliato è collocato su scaffali metallici sistemati lungo la parete orientata ad ovest.

I vasi vinari presenti si differenziano per forma, materiale e per la presenza o assenza dell'impianto refrigerante; in particolare i vasi in acciaio sono refrigerati e vengono utilizzati per la produzione del vino, quelli in cemento e vetroresina non sono refrigerati e vengono utilizzati per lo stoccaggio, salvo l'utilizzo in caso di necessità dei vasi in vetroresina per la produzione del vino con l'aggiunta di serpentina refrigerante. Lo spazio interno è ventilato naturalmente e non presenta impianti né di climatizzazione né di ventilazione meccanica.



Figura 6 - Vista dello spazio interno: a sinistra la zona di vinificazione e a destra quella di conservazione

A livello costruttivo l'edificio è realizzato con struttura in cemento armato e tamponamento in pannelli prefabbricati. Le pareti sono costituite da blocchi di calcestruzzo alleggerito con argilla espansa dello spessore di 26 cm intonacati sia internamente che esternamente. Il solaio controterra è realizzato con una soletta in cemento di 30 cm rivestita con pavimentazione in piastrelle di ceramica. Il tetto a volta è realizzato con solaio in latero-cemento e sovrastante strato di impermeabilizzazione e tegole in laterizio. Lo spazio interno è illuminato naturalmente tramite 5 finestre collocate sulla parete ovest e 4 aperture a lunetta poste sui lati corti dell'edificio al di sotto della copertura. Tutte le aperture presentano vetro singolo e telaio metallico. Sempre sui lati corti sono presenti 3 portoni metallici di dimensione variabile. Una tettoia realizzata con struttura metallica e lastra di policarbonato è posizionata sul fronte nord e protegge lo spazio destinato al conferimento delle uve (vedi Figura 5).

L'involucro è scarsamente performante dal punto di vista termico, come dimostrano i valori di trasmittanza di parete (riportati in Tabella 7) e di copertura (vedi Tabella 8). Sebbene i locali non siano climatizzati e quindi non soggetti a minimi da normativa (Paragrafo 2.2.3) la capacità di isolamento termico dell'involucro è molto importante per garantire le condizioni di temperature adeguate ad una corretta conservazione del vino.

Tabella 7 - Calcolo della trasmittanza di parete nello stato di fatto

Strati	Spessore	Conducibilità termica	Resistenza termica	Calore specifico	Densità
Unità di misura	m	λ [W/m ² K]	R [m ² K/W]	Cp [kgJ/kgK]	ρ [kg/m ³]
1. Resistenza sup.interna			0.13		
2. Intonaco	0.015	0.7	0.021	900	1400
3. Calcestruzzo alleggerito con argilla espansa	0.26	0.45	0.578	1100	1100
4. Intonaco	0.015	0.7	0.021	900	1400
5. Resistenza sup.esterna			0.04		
Totale	0.29		0.79		
				Trasmittanza [W/m ² K]	1.26
				Sfasamento [h]	9.69

Tabella 8 - Calcolo della trasmittanza di copertura nello stato di fatto

Strati	Spessore	Conducibilità termica	Resistenza termica	Calore specifico	Densità
Unità di misura	m	λ [W/m ² K]	R [m ² K/W]	Cp [kgJ/kgK]	ρ [kg/m ³]
1. Resistenza sup. interna			0.10		
2. Intonaco	0.015	0.7	0.021	900	1400
3. Solaio in latero-cemento Travetti/pignatte	0.25	0.8	0.313	1000	800
4. Tegole di laterizio	0.04	0.7	0.057	830	1800
5. Resistenza sup. esterna			0.04		
Totale	0.305		0.531		
				Trasmittanza [W/m ² K]	1.66
				Sfasamento [h]	6.82

3.1.1. Monitoraggio delle temperature

La ricerca si è avvalsa di dati di temperatura derivati da un monitoraggio termo-igrometrico in atto dal giugno 2012. L'obiettivo del monitoraggio è di conoscere con precisione il comportamento termico dell'edificio per poter successivamente individuare efficaci strategie di riqualificazione. Il monitoraggio consente di raccogliere dati precisi sull'andamento delle temperature interne nel corso dell'anno, con cui validare il modello di simulazione in modo che rappresenti fedelmente lo stato di fatto, secondo la procedura di calibrazione e validazione del modello definita in Barbaresi et al (2014).

Oltre che per garantire l'accuratezza del modello di simulazione, obiettivi specifici di questa fase sono la caratterizzazione termica del caso studio e la messa a punto di un file che raccolga le temperature interne rilevate nel corso dell'anno. Il monitoraggio delle temperature ha infatti consentito di registrare le temperature nel tempo ed analizzarne la distribuzione all'interno del locale.

I dati utilizzati in questo lavoro sono quelli raccolti durante la campagna di monitoraggio svolta dal gruppo di ricerca di Ingegneria Agraria del DipSA che ha interessato diversi locali utilizzati dall'azienda Branchini per lo svolgimento delle proprie attività produttive; tra i quali l'edificio di vinificazione e conservazione oggetto della presente ricerca.

Prima di impostare la campagna di monitoraggio permanente delle temperature interne, nel giugno 2012 all'interno dell'edificio caso studio sono stati posizionati un set di sensori termo-igrometrici portatili (data-logger stand-alone del tipo PCE HT71N), in grado di registrare le T con la precisione di 0,5°C. Un test preliminare condotto in due differenti periodi climatici (05/07/12-23/07/12 e 26/11/12-14/12/12) ha permesso di identificare le "zone termiche" presenti nell'edificio. Per le finalità di questa ricerca, sono definite come zone termiche le porzioni dell'edificio a temperatura interna sufficientemente uniforme, ovvero contenuta l'intervallo di temperatura $\pm 2^{\circ}\text{C}$, impostato a priori sulla base della letteratura scientifica inerente la conservazione del vino (vedi Paragrafo 2.1.1) Il test ha portato all'individuazione di 3 zone termiche, così individuate: la zona a sud-est fino all'altezza di 4 m (d'ora in poi denominata "vinificazione"), una zona a nord-ovest fino all'altezza di 4 m (d'ora in poi denominata "conservazione") e un'ultima zona al di sopra dei 4m fino alla copertura (denominata "vinificazione-conservazione"), che è stata suddivisa ulteriormente in due zone distinte, per esigenze di gestione dei modelli di calcolo.

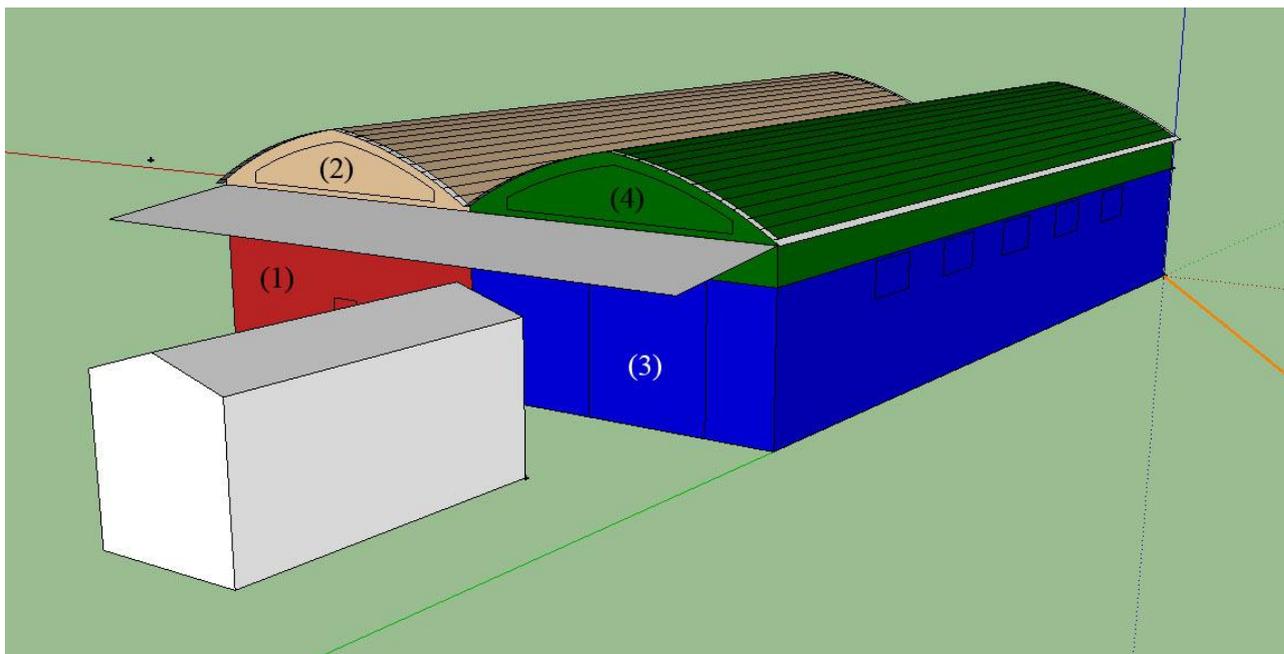


Figura 7 - Modellazione del caso studio con OpenStudio SketchUp plug-in: suddivisione in zone termiche

Oltre a fornire un'indicazione per la successiva modellazione energetica dell'edificio in zone termiche (vedi Figura 7), il test ha consentito di definire la posizione ed il numero dei sensori da impostare permanentemente per il monitoraggio delle temperature.

All'interno del locale sono stati quindi posizionati 19 sensori, nella posizione indicata in Figura 8. I data-logger hanno registrato le temperature ogni 30 minuti. Per ogni intervallo temporale, la temperatura della zona termica è stata definita dalla media delle temperature registrate dai sensori di quella specifica zona.

Grazie ai dati raccolti sono state calcolate le temperature medie orarie nel corso dell'anno nelle due zone termiche, vinificazione e conservazione, come illustrate nel diagramma di Figura 9.

I dati utilizzati nella presente ricerca per la validazione del modello sono quelli registrati nel 2013, dall' 1 gennaio al 31 dicembre. Per la calibrazione del modello (vedi Paragrafo 3.3.5), sono state considerate le sole temperature registrate nelle due zone termiche di vinificazione e conservazione, in quanto nella zona termica sovrastante, al di sopra dei 4 m, non viene ospitato il vino. Inoltre, poiché il vino è conservato nei vasi vinari e in bottiglie di vetro e l'edificio è completamente fuori terra, i rischi legati all'umidità, quali l'evaporazione del vino o la formazione di muffe, sono trascurabili, pertanto l'andamento dell'umidità non viene considerato ai fini della presente ricerca



Figura 8 - Pianta dell'edificio con individuazione dei sensori inseriti per il monitoraggio delle temperature.

3.1.1. Zonizzazione termica

Il test volto alla suddivisione dell'edificio in zone termiche si basa sui dati raccolti durante la campagna di monitoraggio delle temperature sopra descritta. In particolare i dati utilizzati nel test sono quelli registrati dai 19 sensori data-logger posizionati all'interno dell'edificio (vedi Figura 8) in due differenti periodi climatici (05/07/12-23/07/12 e 26/11/12-14/12/12).

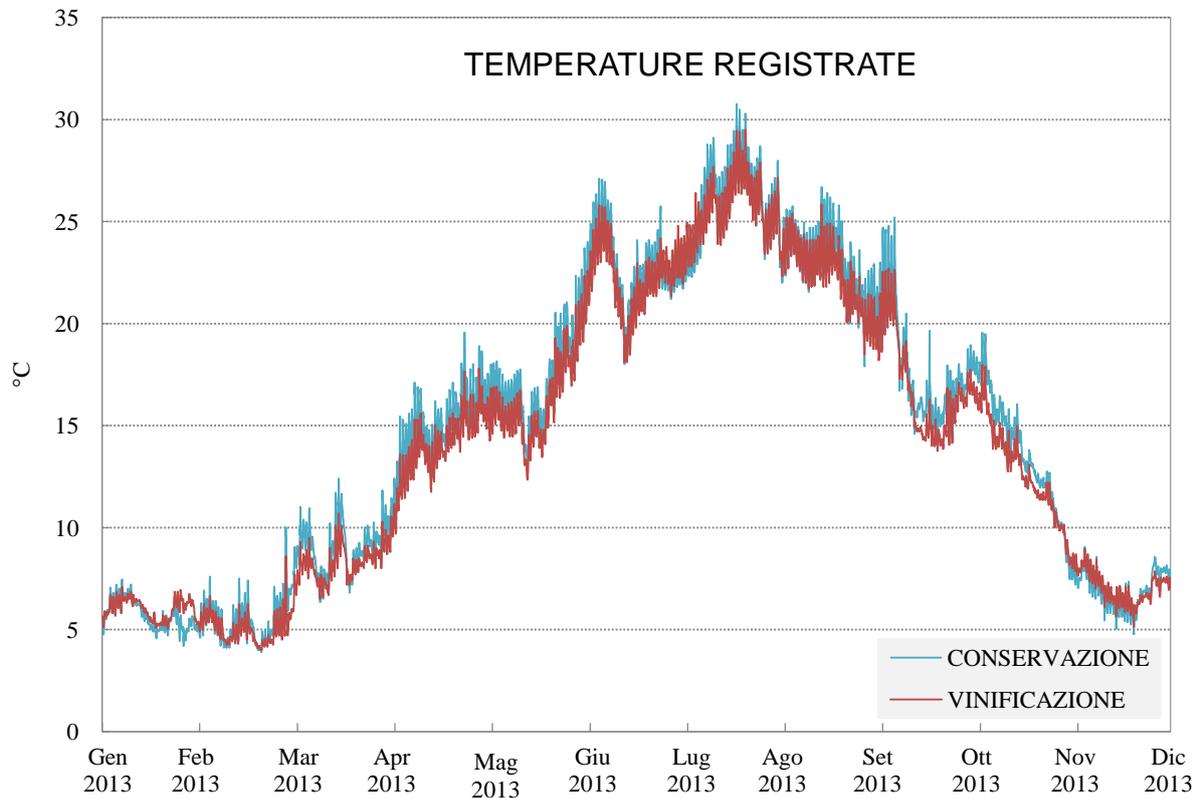


Figura 9 - Temperature registrate nelle due zone termiche, vinificazione e conservazione, nel corso dell'anno 2013.

Di fondamentale importanza nell'individuazione della zonizzazione termica è la definizione del grado di precisione da prendere a riferimento. Il valore di accettabilità delle temperature, denominato ARV, (con nomenclatura conforme a Barbaresi et al. 2015) è stato valutato in relazione agli obiettivi specifici della ricerca e alle caratteristiche del settore vitivinicolo in oggetto, alla qualità del prodotto e del processo produttivo. In Barbaresi et al. (2015), ARV era stato impostato in 1 °C, poiché il monitoraggio riguardava un prodotto di alta qualità, invecchiato all'interno di barrique. La presente ricerca riguarda invece un vino in bottiglia di qualità standard, conservato in un locale di stoccaggio di grandi dimensioni. Per queste ragioni il valore di

riferimento ARV è posto pari a 2°C. Tale grado di precisione può essere ragionevolmente esteso anche all'analisi della zona di vinificazione, dove il vino è contenuto in vasi vinari dotati di isolamento termico.

I sensori sono stati posizionati nel locale secondo una griglia tridimensionale in modo da avere una distribuzione dei sensori pressoché uniforme nello spazio.

Le temperature registrate da ciascun sensore sono confrontate con quelle registrate da tutti gli altri. Per ogni coppia di sensori è stato calcolato: il valore medio (M_{ij}) e l'errore quadratico medio (S_{ij}) per l'intero periodo di monitoraggio tra le differenze di temperatura registrate in ciascun istante dai sensori i e j . Con i valori così ottenuti è stata calcolata la matrice \mathbf{Z} :

$$\mathbf{Z} = \begin{pmatrix} Z_{11} & \dots & Z_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{n1} & \dots & Z_{nn} \end{pmatrix},$$

Equazione 1

dove:

$$Z_{i,j} = |M_{ij}| + S_{ij}$$

Ciascun valore Z_{ij} è confrontato con ARV: le aree in cui il valore assunto da Z_{ij} è inferiore a ARV per tutte le coppie di sensori, individuano una zona in cui la temperatura viene considerata uniforme, ovvero una 'zona termica'.

Analizzando i valori registrati da tutti i 19 sensori emerge che il locale non può essere considerato come un'unica zona termica, in quanto la Matrice \mathbf{Z} presenta valori più elevati di 2°C (2.4°C). I valori di Z_{ij} calcolati per i 19 sensori sono rappresentati nel Figura 10.

I risultati di questo primo test hanno però fornito un'indicazione sulla suddivisione del locale in zone termiche. Lo stesso test è stato quindi ripetuto nell'ipotesi di 3 zone termiche, articolate come segue:

- zona est sotto i 4 m di altezza – vinificazione;
- zona ovest sotto i 4 m di altezza – conservazione;
- zona sopra i 4m di altezza.

Tutte le matrici calcolate per le 3 zone termiche mostrano valori inferiori a 2°C; il valore maggiore pari a 1.83 °C è registrato nella zona di conservazione, 1.30 °C nella vinificazione e 0.55 °C nella parte sopra ai 4 m di altezza. Nei grafici seguenti sono visualizzati i risultati di questo test: il primo diagramma di Figura 10 riporta la combinazione di tutti i 19 sensori mentre gli altri 3 grafici illustrano ciascuno la Matrice Z calcolata per i sensori posizionati nelle 3 zone termiche. In ogni diagramma sono riportate tutte le combinazioni tra i sensori presenti in quella zona termica. La comprensione dei risultati è facilitata grazie alla differente colorazione delle celle, cui corrisponde un valore secondo la scala graduata riportata a lato.

Tutti i valori sono inferiori ad ARV e confermano che nel caso studio sono presenti 3 diverse zone termiche. Sebbene per questa suddivisione il numero dei sensori possa essere ridotto, tutti i 19 sensori sono stati lasciati nella loro posizione originale durante il monitoraggio permanente, a vantaggio di una migliore precisione del controllo e della possibilità di verificare la validità del test per tutto il tempo.

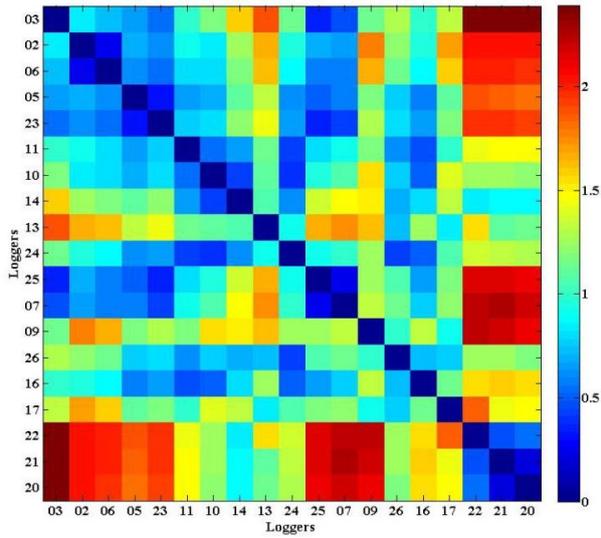


Figura 10 - Matrice Z calcolata per tutti i sensori

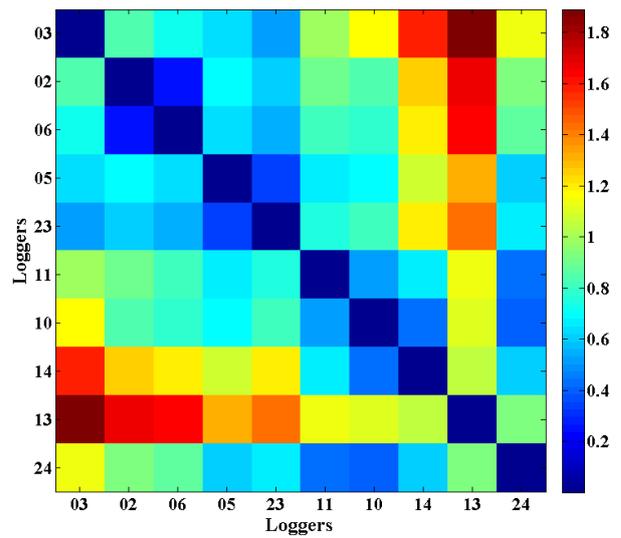


Figura 11 - Matrice Z per la zona di conservazione

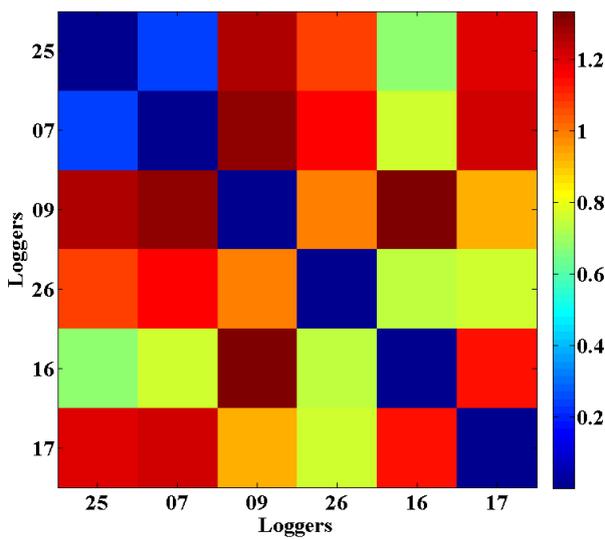


Figura 12 - Matrice Z per la zona di vinificazione

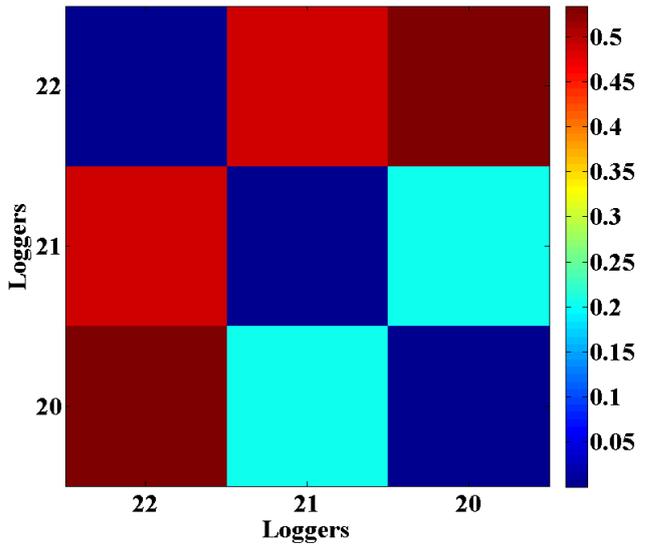


Figura 13 - Matrice Z per la zona sopra i 4 m

3.2. Definizione degli interventi e degli scenari progettuali di riqualificazione

Dopo aver completato l'analisi del caso studio, con la definizione delle prestazioni termiche dell'involucro edilizio e l'individuazione delle zone termiche, si è proceduto alla definizione delle variabili progettuali. Le variabili riguardano caratteristiche termiche e geometriche dell'edificio.

Scopo di questa fase è l'individuazione di un insieme di possibili soluzioni progettuali che portino alla massimizzazione delle prestazioni termiche raggiunte dall'edificio.

3.2.1. Definizione delle variabili progettuali

Molteplici sono le variabili progettuali che influenzano il comportamento termico dell'edificio, rendendolo più o meno idoneo alla funzione per cui è stato pensato. Nel presente studio le variabili prese in esame riguardano alcuni aspetti progettuali, sui quali è possibile intervenire in fase di progettazione. In particolare viene approfondita l'analisi del comportamento termico dell'involucro allo scopo di migliorarne le prestazioni. La scelta delle variabili progettuali è basata sulla natura del caso studio: i componenti dell'edificio che vengono fatti variare sono le pareti verticali esterne, la copertura e le superfici trasparenti.

Un'ulteriore variabile è l'orientamento dell'edificio: a partire dalla direzione attuale (32°N) l'asse principale viene fatto ruotare ogni 90°.

Infine la variabile "superfici schermanti" consente di tenere conto della presenza o meno di un sistema di schermatura solare applicato alle pareti dell'edificio, come descritto nel Paragrafo 3.2.1.3.

Per condurre la ricerca delle variabili progettuali più influenti sul comportamento termico globale, la forma dell'edificio, la disposizione planimetrica ed il volume sono considerati fissi e corrispondono allo stato di fatto.

1° Variabile

Pareti verticali



2° Variabile

Copertura



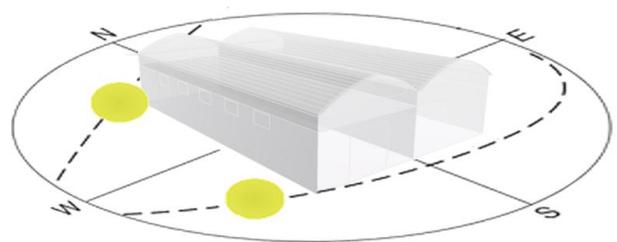
3° Variabile

Superfici trasparenti



4° Variabile

Orientamento



5° Variabile

Schermature solari



Figura 14 - Rappresentazione delle variabili progettuali analizzate

La Tabella 9 riassume le variabili progettuali considerate, definendo il tipo di grandezza e l'intervallo di valori entro cui ciascuna viene fatta variare.

Tabella 9 - Individuazione delle variabili progettuali indagate per il miglioramento del comfort termico dell'edificio

Categoria di variabile	Unità di misura	Caso Studio	Intervallo di variazione
Pareti verticali			
Trasmittanza	W/m ² K	1.26	2.60 ÷ 0.19
Pareti verticali			
Sfasamento termico	h	9.69	3.91 ÷ 22.77
Copertura			
Trasmittanza	W/m ² K	1.66	2.01 ÷ 0.19
Copertura			
Sfasamento termico	h	6.83	4.70 ÷ 18.38
Superfici trasparenti			
Trasmittanza	W/m ² K	6	6 ÷ 2.2
Superfici trasparenti			
Tasso di infiltrazione	vol/h	0.5	0.3 ÷ 0.5
Orientamento	Gradi	32° N	32°/122°/212°/302°
Schermature solari		Off	On/Off

3.2.1.1. *Il sistema di involucro*

La prima variabile riguarda il sistema di involucro dell'edificio. Tenuto conto delle peculiarità del caso studio (edificio monopiano, fuori terra) i sistemi di chiusura che si è scelto di analizzare sono: le chiusure verticali esterne e la chiusura orizzontale superiore, oltre ai componenti trasparenti.

Poiché nei locali destinati alla conservazione del vino è particolarmente importante la stabilità termica, le due grandezze termo-fisiche indagate sono la trasmittanza termica e lo sfasamento termico. La normativa energetica impone limiti restrittivi di trasmittanza termica per l'involucro degli edifici climatizzati (vedi Paragrafo 2.2) mentre prevede una trasmittanza limite di $0.8 \text{ W/m}^2\text{k}$ nel caso di locali non climatizzati.

Facendo variare lo spessore e la tipologia di materiale, sei diverse stratigrafie sono state individuate, sia per le pareti che per la copertura. Tutte le soluzioni studiate impiegano materiali facilmente reperibili sul mercato e rappresentano delle soluzioni costruttive già presenti nel settore delle costruzioni. Le sei tipologie di strutture studiate presentano livelli prestazionali crescenti, partendo da CVE01 (Chiusura Verticale Esterna 01) con proprietà molto carenti fino a CVE06 che rappresenta la soluzione più performante. Le tipologie CVE02 e COS02 rappresentano le pareti e la copertura presente nel caso studio mentre l'opzione 3 soddisfa i valori minimi previsti dalla normativa regionale (vedi i valori di trasmittanza riportati nel Paragrafo 2.2.3, per la zona climatica E). La soluzione 4 è caratterizzata da una buona trasmittanza termica e da un valore basso della massa superficiale, che la rende adeguata in presenza di climi rigidi, e al contrario l'opzione 5 presenta un'inerzia superficiale molto elevata e per questo solitamente preferibile in contesti climatici più caldi.

Nella definizione dei pacchetti murari e di copertura sono state adottate soluzioni tra loro molto differenti per materiali utilizzati, trasmittanza termica e sfasamento, allo scopo di verificare l'incidenza di ciascuna caratteristica termica sul comportamento termico globale dell'edificio.

Di seguito, per ogni tipologia viene fornita una descrizione delle principali caratteristiche che risultano di fondamentale importanza nel valutare le prestazioni termiche del pacchetto nel corso dell'anno. In particolare i valori presi a riferimento sono: la trasmittanza termica globale, il fattore di attenuazione, lo sfasamento termico e la massa superficiale. Si rimanda all'Allegato A

per la definizione degli strati che compongono le strutture e delle principali grandezze termofisiche di ciascun materiale.

Le pareti

	Trasmittanza termica U[W/m ² K]	Fattore di attenuazione	Sfasamento termico [h]	Massa superficiale [kg/m ²]
<i>CVE01</i>	2.60	0.76	3.91	234
<i>CVE02</i>	1.26	0.31	9.69	328
<i>CVE03</i>	0.29	0.14	12.34	140.6
<i>CVE04</i>	0.31	0.59	5.19	140.2
<i>CVE05</i>	2.42	0.17	10.72	906
<i>CVE06</i>	0.19	0.02	22.77	378

La copertura

	Trasmittanza termica U[W/m ² K]	Fattore di attenuazione	Sfasamento termico [h]	Massa superficiale [kg/m ²]
<i>COS01</i>	2.01	0.73	4.70	302
<i>COS02</i>	1.66	0.50	6.83	293
<i>COS03</i>	0.25	0.12	14.98	313.8
<i>COS04</i>	0.29	0.36	7.75	304.4
<i>COS05</i>	0.92	0.20	12.08	213
<i>COS06</i>	0.19	0.06	18.38	321.8

Le superfici trasparenti

Le tipologie di superfici trasparenti differiscono per il valore di trasmissione termica del vetro e per il tasso di infiltrazione d'aria. Per le superfici trasparenti sono impostate 2 alternative: la prima è una soluzione a "bassa prestazione" (denominata LP) costituita da un vetro singolo ($U_g=6 \text{ W/m}^2\text{K}$) e un valore di infiltrazione d'aria= 0.5 vol/h, la seconda è la soluzione ad alta prestazione (HP) con vetro doppio a norma di legge ($U_g=2.2 \text{ W/m}^2\text{K}$) e un tasso di infiltrazione pari a 0.3 vol/h.

3.2.1.2. L'orientamento

L'orientamento dell'edificio è stato fatto ruotare nelle 4 direzioni ogni 90°; prendendo a riferimento l'attuale orientamento del caso studio, 32°N, gli altri orientamenti variabili sono: 122°N, 212°N e 302°N.

3.2.1.3. Le schermature solari

Questa variabile di progetto consiste nell'inserire o meno un sistema di schermatura su due lati dell'edificio. Le superfici schermanti sono posizionate sempre a protezione della parete disposta sul retro e della parete con finestre e, nei diversi scenari simulati, vengono fatte ruotare insieme all'edificio. Le schermature solari progettate sono lunghe quanto le pareti da schermare, alte 4 m e posizionate a 3 m di distanza delle pareti per consentire il passaggio di persone e piccoli mezzi meccanici. La schermatura consiste in una maglia metallica su cui viene fatto crescere del verde rampicante, quale ad esempio la pianta di *vitis vinifera*, il cui ciclo di crescita dell'apparato vegetativo e di sviluppo dell'apparato fogliare è ampiamente documentato nella letteratura scientifica (Kontoleon and Eumorfopoulou 2010; Eumorfopoulou and Kontoleon 2009; Yao et al. 2015). Tale soluzione risponde alla volontà di impiegare materiali biologici e facilmente reperibili dall'azienda, in grado di inserirsi nel contesto ambientale in cui si inserisce l'edificio. L'utilizzo di una simile tipologia vegetale risulta appropriato allo scopo di garantire un idoneo raffrescamento estivo in quanto in estate la pianta crea una barriera verde che protegge l'edificio dall'eccessivo irraggiamento solare, mentre in inverno, grazie alla caducità delle foglie la schermatura consente il passaggio dei raggi solari e quindi l'irraggiamento solare delle pareti nei mesi più freddi. Nella modellazione digitale di tali schermature, al parametro che rappresenta la copertura fogliare vengono assegnati valori variabili nel corso dell'anno per approssimare il più possibile la situazione reale.

3.2.2. Stima dei costi degli interventi

Le soluzioni progettuali indicate sono state scelte seguendo un principio di economicità e semplicità. Oltre a riferirsi a tipologie costruttive ampiamente diffuse sul mercato, alcuni scenari prevedono l'utilizzo di materiali, quali il verde rampicante e la paglia, che l'azienda vitivinicola riesce facilmente a reperire e a posare con maestranze interne, riducendo così i costi dell'intervento. Tuttavia l'insieme di lavorazioni connesse a ciascun intervento può comportare un investimento molto costoso per l'azienda oltre a presentare costi di manutenzione del tempo.

Sebbene la presente ricerca non si prefigga come scopo primario la valutazione economica dettagliata degli interventi, la stima dei costi intende fornire una visione più completa per valutare ciascuno scenario sotto il profilo costi/benefici e vuole costituire un utile strumento di supporto nelle scelte di intervento da intraprendere.

Per ciascuna soluzione di retrofit è stato quantificato il costo dell'intervento per realizzare la lavorazione ed è stato stimato il costo degli eventuali interventi di manutenzione e gestione occorrenti per la conservazione dell'opera nel tempo. Per sostenere il costo iniziale dell'intervento è stato definito il piano di ammortamento di ciascuno scenario, ipotizzando una durata quindicennale di mutuo. E' stato quindi definito l'importo mensile della rata di mutuo, necessaria ad ottenere una copertura totale del costo dell'investimento. Si è quindi proceduto ad un'analisi finanziaria dei costi previsti in ciascuno scenario, in cui si è tenuto conto sia della rata mensile fissa di mutuo che degli interventi di manutenzione da eseguirsi nel corso degli anni. In questo modo è stato ricavato il costo complessivo annuo di ciascuna soluzione di retrofit e si è potuto procedere all'analisi costi/benefici degli scenari di intervento ipotizzati.

Costo dell'intervento

Il costo iniziale dell'intervento è stato calcolato come la somma dei costi di: materiali, struttura, progettazione, ponteggi e manodopera.

Il costo dei materiali è stato ricavato utilizzando le voci di capitolato presenti nel prezzario ufficiale di zona (Prezzario del Comune di Imola - Listino A Opere edilizie, anno 2013 e successiva integrazione) e laddove non disponibili ricavati da preventivi.

Per le soluzioni di parete CVE01, CVE02, CVE04, CVE06 è stato aggiunto al costo dei materiali, quello della struttura portante, stimato in 30 096,17 €. Tale costo è ottenuto

considerando una struttura puntiforme costituita da pilastri in cemento armato di dimensione 30x30 cm e travi di collegamento sempre in cemento armato. Al contrario, per le chiusure CVE03 e CVE 05 questo non è stato aggiunto, in quanto si tratta di pareti portanti, rispettivamente in legno e cemento armato prefabbricato.

Lo scenario CVE06 prevede l'isolamento delle pareti verticali con balle di paglia delle dimensioni standard di 100x25x50 cm, disposte in modo da formare uno strato di 50 cm di spessore. Nella valutazione economica dello scenario, il costo della paglia è considerato nullo in quanto le balle di paglia vengono comunque prodotte dall'azienda. La quantità di paglia necessaria ad isolare le pareti è pari a circa 210 m³ ogni 2 anni (vita utile media di questo tipo di intervento). Tale quantitativo è facilmente reperibile dall'azienda in oggetto, in quanto ogni anno la sua produzione di balle di paglia è di 200000 kg/anno, corrispondente a 1000 m³, considerando che si producono 3,5 t di paglia per ettaro. (Regione Toscana, 2010). Nel costo della parete, stimato pari a 101 892,53 € è stata inserita la spesa per la struttura di sostegno per le balle di paglia, costituita da profilati metallici del tipo IPE140 posti ad interasse di 2 m. Infine è stata aggiunto il costo della progettazione, dei ponteggi e della manodopera per il montaggio della paglia, stimata in 5 giorni di lavoro.

Analogamente, per le soluzioni di copertura al costo dei materiali è aggiunto quello delle strutture. Per tutti le configurazioni, ad eccezione di COS 05, la struttura è costituita da travi in cemento armato, il cui costo complessivo è stimato pari a 17 474,20 €. Nella soluzione COS 05 realizzata con solaio in legno, la struttura prevista è a travi in legno lamellare, per il quale è stimato un costo di 58 603,41 €.

Per la variabile chiusure finestrate, il costo del materiale per la soluzione a basse performance (HP) è di 6 017,41 €, mentre per la soluzione ad elevate performance (LP) è di 10 329,92 €. A questi viene aggiunto solamente il costo per la progettazione e sicurezza.

Il costo dell'intervento previsto per la schermatura solare, identificata con la sigla SS, prevede la messa a dimora di piante rampicanti, quali ad esempio la *vitis vinifera*, su idonea struttura di sostegno. In particolare le voci considerate nella stima sono: lo scavo ed il getto delle fondazioni, la struttura portante in profilati di acciaio del tipo HEA 180 posti ad interasse di 3 m. La spesa include inoltre la fornitura e posa di rete elettrosaldata Ø5 - 20x20 su tutta la superficie. La fornitura e posa delle piante (una ogni 50 cm di lunghezza della schermatura) viene considerata trascurabile, così come la spesa per l'irrigazione, in quanto rientra nell'ambito

dell'attività produttiva dell'azienda. Il costo complessivo dell'intervento, pari a 28 691,63 €, include, oltre alle spese di progettazione e sicurezza, la spesa per il nolo di idonea attrezzatura, costituita da cestelli semoventi.

In tutti gli scenari il costo della progettazione si articola in:

- progettazione architettonica, pari al 10% del costo dell'intervento (fornitura e posa dei materiali + costo della struttura)
- progettazione strutturale, pari al 12% del costo delle sole strutture
- sicurezza, stimata pari a 1 000 € per tutti gli interventi, ad eccezione degli interventi che riguardano le schermature trasparenti dove è posta pari a 500 €.

Piano di ammortamento

Per procedere nell'analisi economica si è ipotizzato che l'azienda chieda un finanziamento a copertura totale del costo dell'intervento. Per ciascuno scenario è stato stimato il corrispondente piano di ammortamento a rate mensili costanti di pari importo. Nel calcolare il piano di ammortamento è stata supposta una durata dell'investimento di 15 anni, corrispondente a 180 rate mensili, e l'applicazione di un tasso di interesse pari al 2.30%. La scelta della durata dell'investimento pari a 15 anni è stata valutata insieme ad operatori finanziari e risulta coerente alla durata dei finanziamenti erogati dagli istituti bancari nei confronti delle aziende.

La formula che permette di determinare la rata mensile è rappresentata dall'equazione:

$$RATA = \frac{C \cdot i}{1 - \frac{1}{(1+i)^n}} \quad \text{Equazione 2}$$

dove:

C = importo del mutuo corrispondente al costo iniziale dell'intervento

i = tasso di interesse su base mensile (prassi bancaria) espresso in decimali (es. 2,3/12/100)

n = numero totale delle rate (15×12)

Piano di manutenzione

Ai fini della valutazione costi/benefici, oltre alla determinazione dei costi di intervento è necessario individuare il costo degli interventi di manutenzione di ciascuna soluzione e la frequenza con cui si rendono necessari nell'arco temporale prefissato di 15 anni.

Nel caso degli scenari CVE01-02-03-04-05 riguardanti le pareti verticali sono stati stimati due interventi di rifacimento della tinta esterna, comprensivi del costo del materiale e dei ponteggi. Per lo scenario CVE06 che prevede l'isolamento in balle di paglia viene previsto un intervento di manutenzione ogni 2 anni, che consiste nel completo smontaggio della paglia su tutte le pareti e la successiva sostituzione con nuove balle.

Per quanto riguarda gli scenari relativi alle coperture, sono stati stimati due interventi di manutenzione nell'arco di 15 anni consistenti nel ripristino locale del manto di copertura esterno e delle lattonerie. Non si prevede invece nessuna manutenzione alle chiusure trasparenti nell'arco di 15 anni.

Infine nel caso delle schermature verdi si prevede un intervento di manutenzione una volta l'anno per effettuare la potatura e legatura della pianta con il noleggio di idonea attrezzatura per poter lavorare raggiungendo le necessarie altezze.

Attualizzazione dei flussi di cassa

Per effettuare una stima attendibile della convenienza economica di ogni scenario, le rate del finanziamento ricavate col piano di ammortamento e le spese di manutenzione sono state attualizzate con tecniche finanziarie. E' stato definito uno scenario temporale di riferimento di 15 anni, così come stabilito per il piano di ammortamento. Tutte le rate annuali di mutuo e le spese puntuali di manutenzione sono state attualizzate, applicando un tasso di inflazione dell'1% e un tasso di sconto del 5%. Per ciascuna soluzione si è quindi in grado di definire l'andamento anno per anno dei flussi di cassa nell'arco temporale prefissato. Dividendo la spesa totale così ottenuta per i 15 anni viene ricavata la spesa annua attualizzata relativa a ciascuna soluzione.

Nella Tabella 10 vengono sinteticamente riepilogati le principali voci di spesa connesse a ciascuna variabile di intervento ottenute dal procedimento di stima economica, descritto nel presente paragrafo.

Tabella 10 - Riepilogo delle principali voci di spesa considerate nell'analisi economica per ciascuna variabile

Variabile	Costo iniziale intervento	Rata annuale finanziamento	Spese di manutenzione	Spesa annua attualizzata
CVE01	96 634.78	7 623.50	7 354.54	5 983.00
CVE02	105 757.10	8 343.16	7 354.54	6 517.91
CVE03	122 805.89	9 688.14	7 354.54	7 517.61
CVE04	110 753.07	8 737.29	7 354.54	6 990.54
CVE05	133 820.19	10 557.05	7 354.54	8 163.46
CVE06	122 597.10	9 671.67	14 000.00	7 881.13
COS01	117 783.27	9 291.90	5 000.00	7 121.74
COS02	121 709.66	9 601.66	5 000.00	7 351.97
COS03	150 810.99	11 897.46	5 000.00	9 058.40
COS04	157 754.70	12 445.24	5 000.00	9 465.56
COS05	179 671.27	14 174.24	5 000.00	10 750.69
COS06	165 361.65	13 045.36	5 000.00	9 911.62
LP	7 119.15	561.63	-	417.45
HP	11 862.92	935.86	-	695.61
SS ON	28 691.63	2 263.48	7200.00	7 034.04
SS OFF	-	-	-	-

3.2.3. Definizione degli scenari

Dalla combinazione delle 20 variabili progettuali precedentemente individuate (6 pareti, 6 coperture, 6 finestrate, 4 orientamenti e 2 superfici schermanti) derivano i 576 scenari di intervento.

Di seguito vengono definiti i criteri di valutazione per quantificare l'apporto migliorativo delle diverse variabili, considerate sia singolarmente che combinate tra loro.

3.3. Modellazione e simulazione energetica

Scopo principale della ricerca è la valutazione del comfort termico dei locali destinati alla produzione e conservazione del vino, confrontando tra loro diverse strategie di intervento. Per questo motivo è di fondamentale importanza l'utilizzo di un idoneo software di simulazione energetica, in grado di restituire tra gli altri parametri, l'andamento delle temperature interne all'interno del caso studio nel corso dell'anno.

Ai fini della presente ricerca si è proceduto dapprima alla modellazione del caso studio, che è stato poi validato secondo la procedura descritta in Barbaresi et al.(2014). Successivamente sono state modellate tutte le variabili progettuali, giungendo alla modellazione e simulazione energetica di tutti gli scenari. Vista la natura del software che opera con lo standard “garbage in garbage out”, per ottenere risultati affidabili è particolarmente importante che i dati di input inseriti siano il più possibile precisi. I dati raccolti durante la campagna di monitoraggio delle temperature (illustrati nel Paragrafo 3.1.1) hanno fornito informazioni utili per la modellazione del caso studio e per la suddivisione in zone termiche, fornendo un riferimento per la fase di calibrazione del modello. Inoltre, i dati climatici sono stati registrati con una stazione meteorologica nei pressi del caso studio nel corso dell'anno, e organizzati in un file meteo necessario alla simulazione (vedi Paragrafo 3.3.3).

La simulazione energetica in regime dinamico è stata condotta per analizzare le condizioni delle comfort termico dello stato di fatto e confrontarle con quelle corrispondenti ai diversi scenari di intervento. Lo strumento di calcolo utilizzato è il software EnergyPlus abbinato all'applicazione OpenStudio utilizzato come interfaccia grafica e per la modellazione tridimensionale. Con l'utilizzo di un algoritmo di calcolo, messo a punto dal gruppo di ricerca in ambiente Octave, sono stati creati i 1152 scenari di intervento corrispondenti a tutte le possibili combinazioni tra

le variabili. Tutte le simulazioni sono state eseguite con EnergyPlus attraverso l'applicativo RunManager e i risultati di ogni singola simulazione sono stati successivamente analizzati e riportati nel Paragrafo 4.2.

3.3.1. Energy Plus

Il software utilizzato per la modellazione e simulazione energetica del caso- studio è EnergyPlus 8.1 e la sua interfaccia grafica OpenStudio v1.4. EnergyPlus è un programma ad uso gratuito sviluppato dall' U.S. Department of Energy, ampiamente utilizzato dalla comunità scientifica per l'elevato grado di dettaglio e di affidabilità dei risultati. Il software è in continua evoluzione e l'affidabilità è costantemente testata secondo la normativa americana ASHRAE.

Il software è in grado di modellare sia il fabbricato sia il suo sistema impiantistico, simulando in regime dinamico il suo comportamento termico ed il fabbisogno energetico.

I file di input e output sono in formato ASCII, modificabili con un qualunque editor di testo ed esportabili sotto forma di fogli di calcolo. La poca immediatezza grafica è stata risolta creando interfacce user-friendly (es. OpenStudio) che ne semplificano l'utilizzo.

Il software si basa sulla modellazione dell'edificio in Zone Termiche (definite come quelle porzioni di spazio a temperature uniforme composte da un volume d'aria e dalle superfici che lo delimitano) e sulle seguenti condizioni di scambio termico: temperatura dell'aria uniforme all'interno della zona termica, temperatura uniforme di ogni superficie, irraggiamento uniforme ad alta e bassa lunghezza d'onda, superfici uniformemente diffondenti e trasmissione monodimensionale del calore di conduzione.

Per consentire il calcolo, il modello deve contenere un file meteo in formato .epw (EnergyPlusWeather), che descrive i dati climatici dell'area in cui l'edificio è collocato. Tale file raccoglie le principali informazioni atmosferiche che influenzano il comportamento termico dell'edificio, per cui la conoscenza precisa delle condizioni climatiche esterne è di fondamentale importanza per garantire l'accuratezza del modello di simulazione.

Una volta lanciata la simulazione, il motore di calcolo restituisce un file in formato .eso contenente i parametri di output richiesti, secondo le preferenze dell'utente.

3.3.2. Open Studio

Tutti i modelli calcolati in questo lavoro sono stati sviluppati per mezzo di OpenStudio SketchUp plug-in (NREL 2015).

OpenStudio è un software sviluppato da NREL (National Renewable Energy Laboratory) che consente di gestire quasi interamente il processo di modellazione energetica di EnergyPlus, presentandosi con un'interfaccia grafica user-friendly. OpenStudio, giunto alla versione 1.4 durante le fasi di elaborazione di questo studio, utilizza EnergyPlus come motore di calcolo e si compone di numerosi applicativi che consentono di gestire l'intera modellazione:

- Plug-in per SketchUp
- ParametricAnalysis Tool
- RunManager
- OpenStudio Application
- Result Viewer

Il Plug-In per SketchUp viene impiegato per la modellazione tridimensionale degli edifici da simulare. La prima fase della modellazione consiste nel modellare geometricamente il caso studio utilizzando i comandi base di SketchUp; successivamente tramite la finestra ausiliaria dell'Inspector di OpenStudio vengono aggiunte le maggior parte delle informazioni relative all'edificio: l'orientamento, le caratteristiche dei materiali, la suddivisione in zone termiche, ecc.

Un ulteriore comando apre il modello con l'OpenStudio Application (un'ulteriore applicativo di OpenStudio) con cui vengono aggiunte tutte le informazioni mancanti, quali ad esempio il file meteo, l'infiltration rate (livello di infiltrazione d'aria all'interno dei locali) per ciascuna zona termica e le caratteristiche dei materiali dell'involucro. Una volta completata la modellazione è stato quindi possibile lanciare la simulazione con EnergyPlus, utilizzando il RunManager, applicativi che gestiscono gli output di calcolo e le simulazioni.

L'applicativo ResultViewer consente infine di visualizzare graficamente i risultati della simulazione (Figura 15)

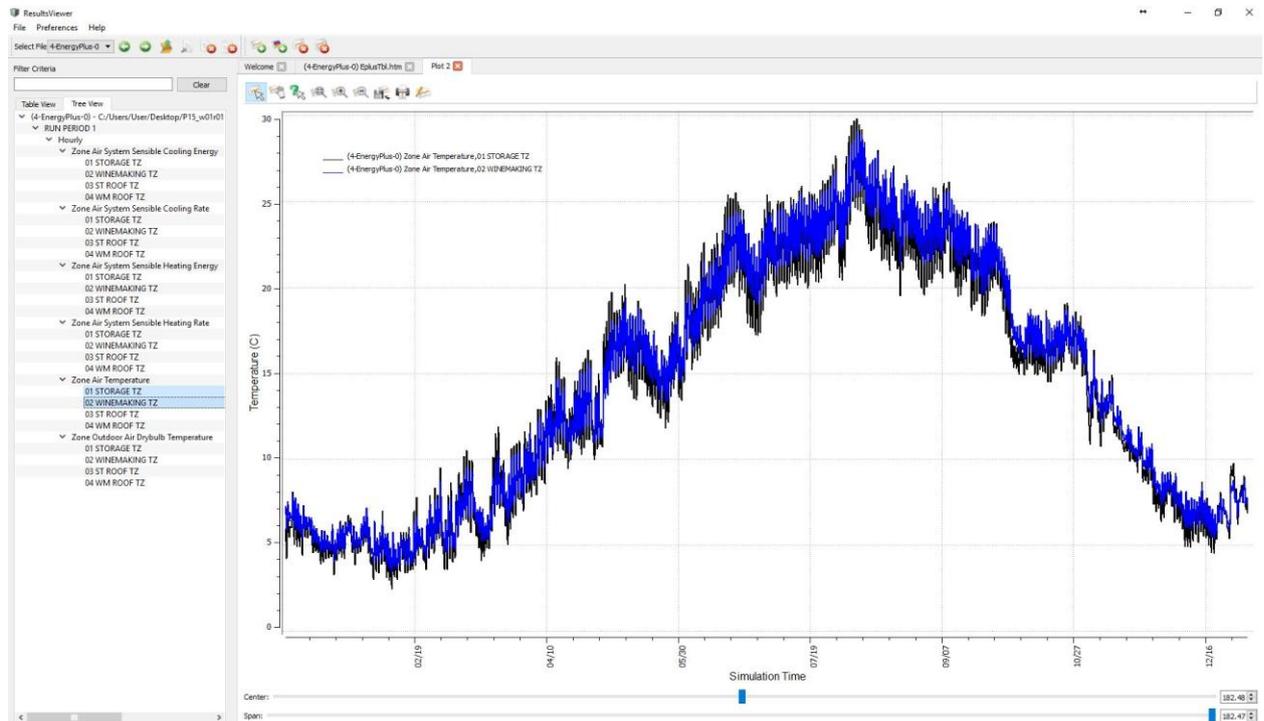


Figura 15 - Esempio di schermata dei risultati ottenuti con ResultViewer

3.3.3. Il file meteo

Per poter effettuare la simulazione, oltre al file che descrive l'edificio (in formato .idf) EnergyPlus necessita di un file meteo per poter modellare con maggior precisioni le condizioni climatiche esterne. La precisione del file meteo è di fondamentale importanza per restituire risultati attendibili della simulazione termica.

I principali dati contenuti in un file meteo riguardano i dati climatici che influenzano gli scambi termici quali la temperatura, l'umidità relativa, la pressione atmosferica esterna, oltre ad altri fattori quali la radiazione solare, la luminosità e la nuvolosità. Si possono inoltre aggiungere informazioni che riguardano il sito, non necessarie alla simulazione, come ad esempio: latitudine, longitudine, altezza s.l.m., fuso orario, ecc. Il file è in codice ASCII, i principali dati occupano le prime 8 righe del file meteo (vedi Figura 16) cui seguono altre 8760 righe, dove sono riportate, per ogni ora dell'anno, le seguenti grandezze fisiche:

- Temperatura di bulbo secco [°C];
- Punto di rugiada [°C];

- Umidità relativa [%];
- Pressione atmosferica [Pa];
- Radiazione orizzontale extraterrestre [Wh/m²];
- Radiazione normale extraterrestre [Wh/m²];
- Intensità di radiazione infrarossa orizzontale [Wh/m²];
- Radiazione orizzontale globale [Wh/m²];
- Radiazione normale [Wh/m²];
- Radiazione orizzontale diffusa [Wh/m²];
- Illuminamento orizzontale globale [lux];
- - Illuminamento normale [lux];
- Illuminamento orizzontale diffuso [lux];
- Intensità luminosa di Zenith [cd/m²];
- Direzione del vento [gradi sessagesimali];
- Velocità del vento [m/s];
- Copertura totale del cielo [decimi];
- Visibilità [km];
- Precipitazioni piovose [mm];
- Altezza della neve al suolo [cm];
- Giorni dall'ultima nevicata [g].

Diversi file meteo sono disponibili sul sito internet di EnergyPlus, che sono in grado di fornire i dati climatici raccolti in oltre 2100 località al mondo. Tra questi, il file chiamato "ITA Bologna Borgo.Panigale.161400IGDG.epw" contiene i dati registrati dalla stazione meteo WMO di

BorgoPanigale, posizionata a 32 km di distanza dal caso studio. Questo file rappresenta l'anno meteorologico tipico e si presta per le simulazioni energetiche predittive, diversamente, per la procedura di calibrazione occorrono dati climatici raccolti nello stesso anno di monitoraggio delle temperature interne. Per questo studio, si è potuto disporre di un file meteo creato dal gruppo di ricerca in una fase precedente dei lavori, con i dati registrati nel 2013 da una stazione meteo del tipo PCE-FWS20 posizionata a 100 m dal caso studio. I dati registrati ogni 30 minuti forniscono informazioni circa la temperatura esterna, l'umidità dell'aria, la pressione atmosferica, la velocità e la direzione del vento.

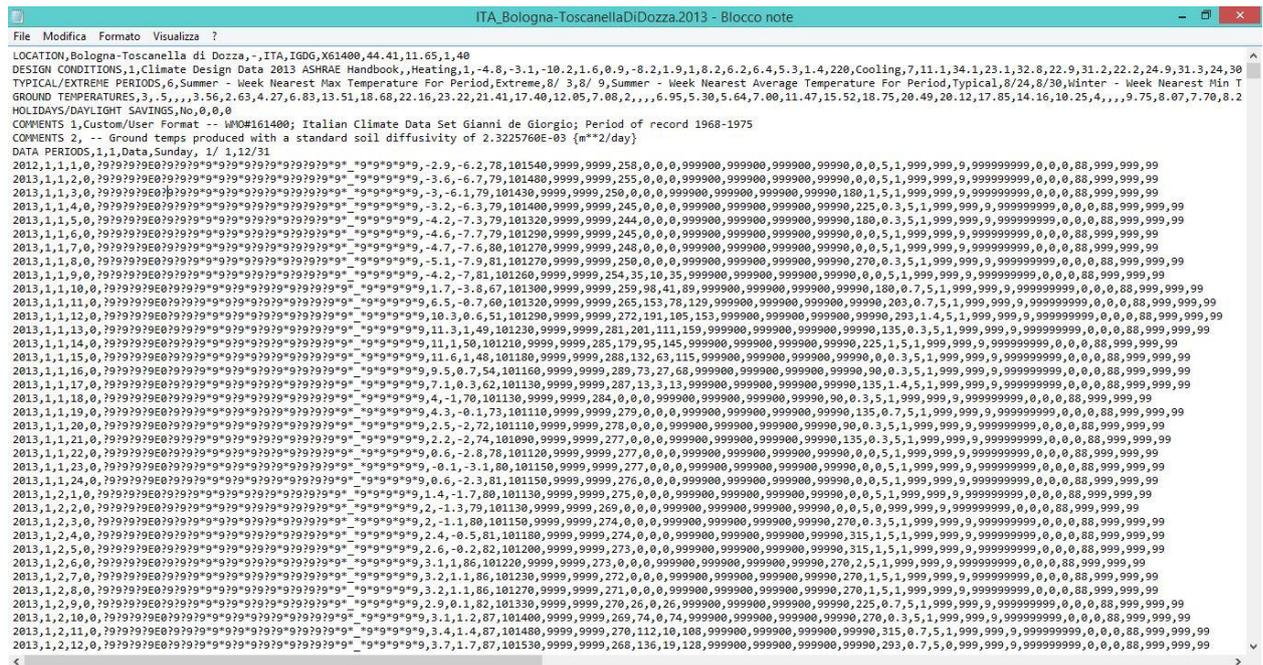


Figura 16 - Visualizzazione del file meteo 2013 di Toscanella di Dozza

Le medie orarie di tutti i dati raccolti, integrati con quelli provenienti dalla stazione meteo WMO di BorgoPanigale, hanno permesso di ottenere i file meteo di tutti gli anni di monitoraggio. Per la presente ricerca, i calcoli con EnergyPlus sono state eseguite sia con i dati climatici del 2013 (utilizzati per simulazioni di confronto dei vari scenari e per la procedura di calibrazione/validazione) registrati dal gruppo di ricerca che con quelli del 2007 (utilizzati unicamente per le simulazioni di confronto dei vari scenari), registrati da Arpa Emilia-Romagna con una stazione meteorologica nei pressi di Sasso Morelli (Bo) e accessibili col Sistema Dexter. Si è scelto infatti di analizzare i risultati delle simulazioni prendendo a riferimento due anni caratterizzati da un differente andamento delle temperature (vedi Figura 17), sebbene con la stessa temperatura media annua, pari a circa 14°C: il 2007 presenta temperature più alte nei

primi mesi da gennaio a maggio, mentre da giugno a dicembre il 2013 risulta più caldo di circa 2°C rispetto al 2007.

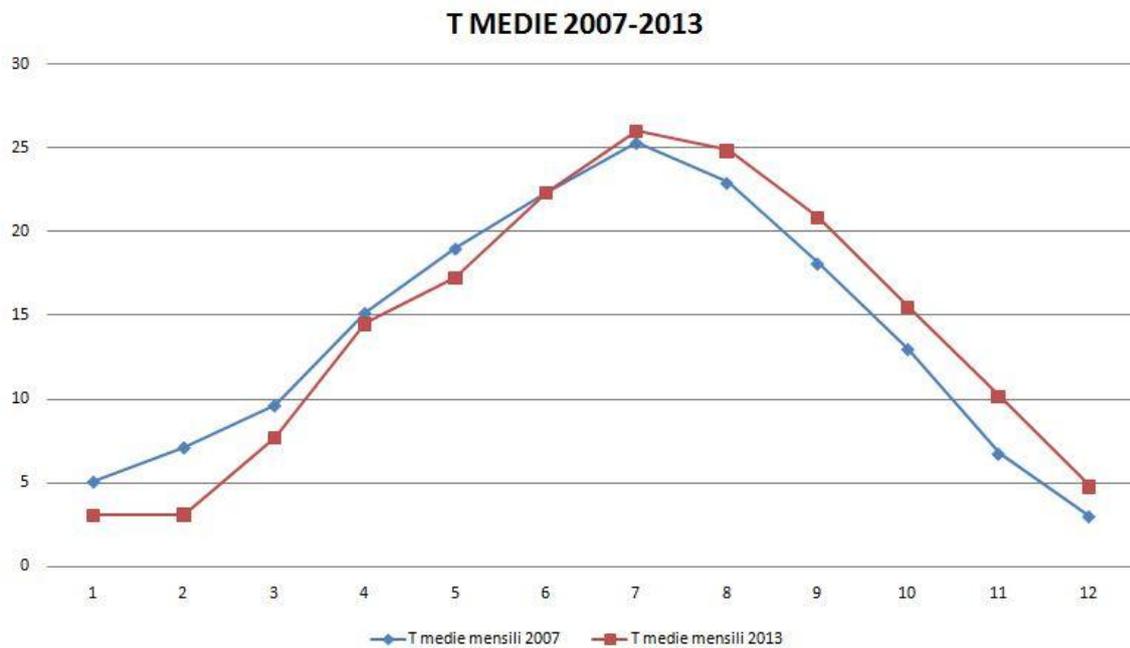


Figura 17 - Confronto tra le temperature medie mensili dei due anni presi a riferimento, 2007 e 2013

3.3.4. Modellazione dello stato di fatto

Tutti i modelli sono stati ottenuti a partire da quello realizzato basandosi sullo stato di fatto e apportando le necessarie modifiche. (Figura 18).

Utilizzando i comandi base di SketchUp è stato realizzato il modello geometrico del caso studio.

Gli sporti di copertura e la tettoia posta sul lato nord sono stati inseriti come superfici schermanti e il vicino corpo servizi è stato incluso nella modellazione per tenere conto dell'ombreggiamento proiettato sulle pareti del caso studio.

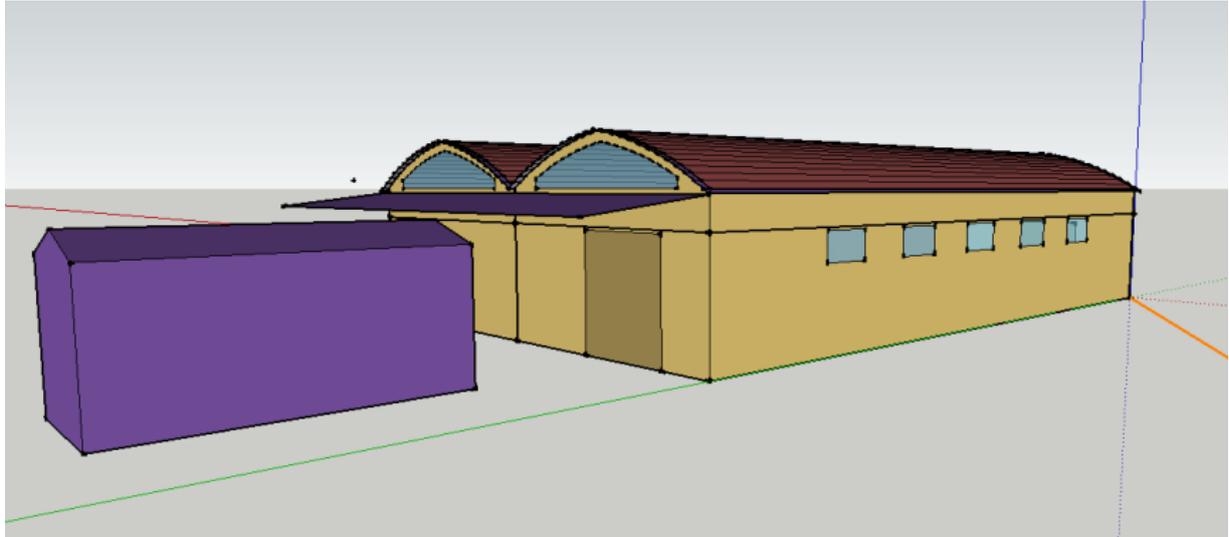


Figura 18 - Modellazione del caso studio con OpenStudio SketchUp plug-in: il vicino corpo servizi (colorato in viola) è trattato come Superficie Schermante

Sulla base della campagna di monitoraggio delle temperature e sul numero minimo di zone termiche, così come definito nel Paragrafo 3.1.1, il modello è stato suddiviso in 4 zone termiche (la parte superiore a 4 m è stata suddivisa in 2) così individuate

- 1) la zona della vinificazione compresa tra 0 e 4 m;
- 2) la zona della conservazione compresa tra 0 e 4 m;
- 3) la parte della vinificazione compresa tra 4 m e la copertura;
- 4) la parte della conservazione compresa tra 4 m e la copertura

In SketchUp sono stati modellati 4 Spazi e ad ognuno è stata assegnata una zona termica. Durante la fase di calibrazione, sono stati testati vari modelli dell'edificio articolati in più di quattro zone termiche e i loro risultati sono stati confrontati con quelli del modello a 4 zone termiche. La calibrazione è stata effettuata confrontando i risultati di ciascuna zona termica con le temperature misurate da almeno due sensori posti nell'edificio, pertanto sono state elaborate suddivisioni in un massimo di 8 zone (come mostrato in Figura 20), sulla base della presenza di sensori posizionati per il monitoraggio.

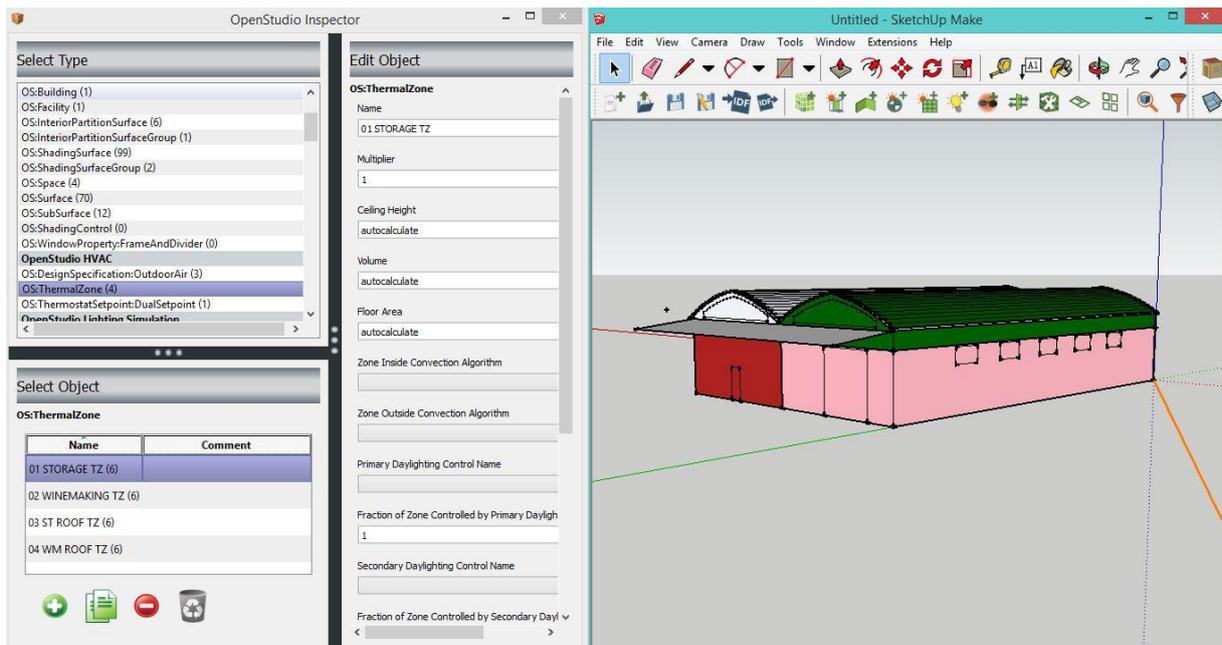


Figura 19 - Suddivisione del fabbricato in Zone Termiche col plug-in OpenStudio SketchUp.

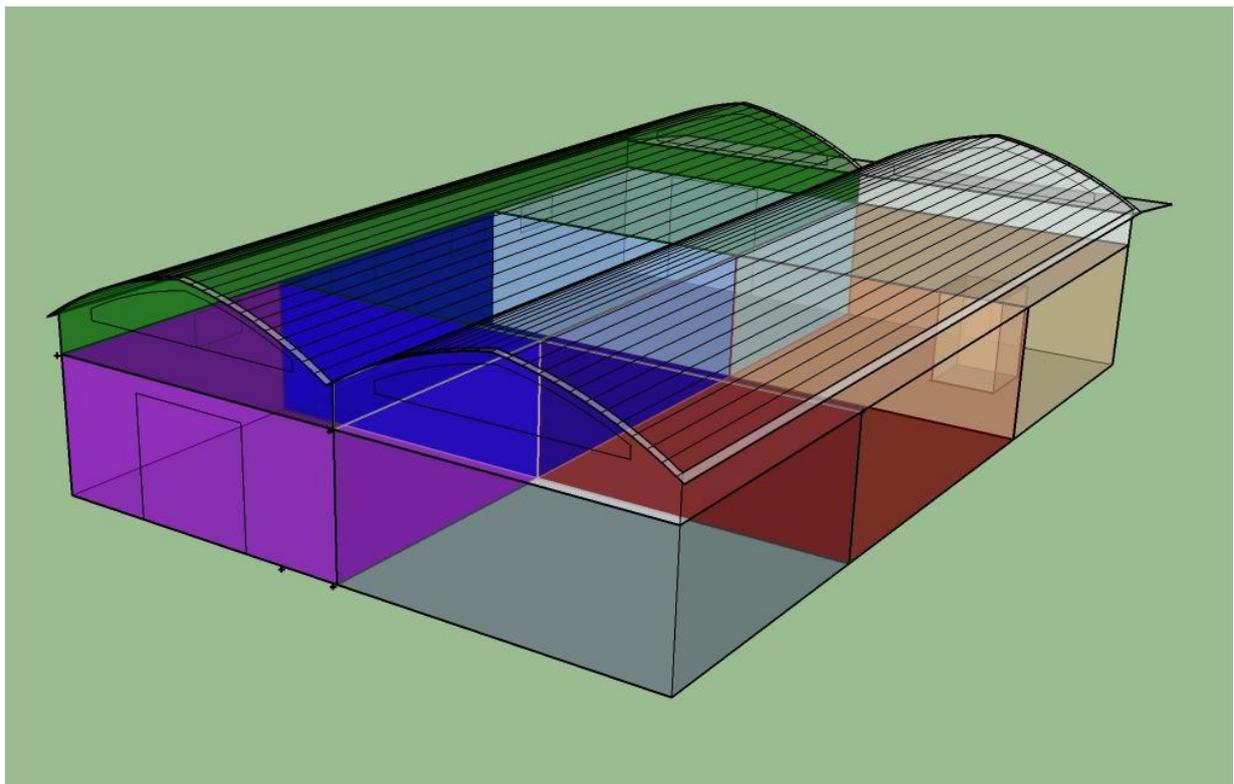


Figura 20 - Suddivisione del modello in 8 Zone Termiche in EnergyPlus

Per le finalità della ricerca si è ritenuto opportuno effettuare alcune semplificazioni, in particolare non sono stati modellati i tramezzi interni che delimitano lo spazio utilizzato ad ufficio in quanto considerati trascurabili nella simulazione termica.

Ogni anno circa 250 000 litri di vino sono ospitati all'interno del caso studio. La letteratura scientifica dimostra che la massa del vino conservata in un locale influisce notevolmente sull'inerzia termica del locale stesso (Benni et al., 2013). Per questo motivo nella modellazione si è tenuto conto della presenza del vino posizionato nella zona di vinificazione e stoccaggio. Nel caso studio il vino è conservato in 3 diversi tipi di contenitore:

- vasi vinari non climatizzati in cemento e vetroresina
- vasi vinari refrigerati in acciaio, con pareti isolate
- bottiglie di vetro collocate su scaffalature metalliche.

I vasi vinari e le bottiglie sono stati modellati come un solido (oggetto partizione interna), la cui dimensioni corrispondono all'esatto volume del vino e dei contenitori, a cui sono state assegnate le stesse caratteristiche termiche del vino ($U = 0.536 \text{ W/mK}$, $\delta = 990 \text{ kg/m}^3$, $C = 4500 \text{ J/kgK}$) (Boulton et al., 1998).

Durante la fase di vinificazione (la fermentazione alcolica ha durata di circa 10-20 giorni durante i mesi di Ottobre e Novembre), il succo ed il mosto devono essere conservati tra i 15°C e 25°C a seconda del tipo di vino, temperatura prossima alla temperatura interna dell'ambiente. I vasi vinari sono refrigerati con un sistema interno di raffreddamento per assorbire il calore rilasciato durante la fermentazione alcolica. L'isolamento termico delle pareti dei vasi vinari minimizza ulteriormente lo scambio di calore tra l'ambiente di vinificazione e i vasi vinari. Infine, la macchina frigorifera per il raffreddamento dei vasi vinari è posizionata all'esterno dell'edificio; per tutte queste ragioni, il calore sviluppato durante la fase di fermentazione viene considerato trascurabile ai fini della valutazione del comportamento termico della cantina.

Per ogni tipologia costruttiva che costituisce l'involucro dell'edificio (pareti verticali esterne, copertura, solaio di terra, porte e finestre) è stata creato il relativo pacchetto murario, definito in EnergyPlus con il termine *Construction*. Ogni *Construction* è costituita da tutti i materiali che compongono quel tipo di pacchetto, elencati in ordine dal più esterno al più interno. Con l'OpenStudio Application sono state definite tutte le caratteristiche termo-igrometriche dei

materiali presenti nell'edificio; per ogni materiale è stata creata la specifica scheda dove vengono riassunte tutte le informazioni: il nome, la rugosità, lo spessore (m), la conduttività termica (W/mK), la densità (kg/m³), il calore specifico (J/kgK) e i coefficienti di assorbimento termico, solare e di radiazione visibile.

Per il solaio di terra è stata seguita una specifica modellazione. A livello costruttivo è stato ipotizzato come una soletta in c.c.a. di 30 cm posto a diretto contatto con il terreno. Per tenere conto dell'influenza del terreno, EnergyPlus permette di impostare le temperature mensili del terreno, tramite il parametro della "*GroundTemperature:BuildingSurface*". Tali valori sono stati raccolti registrando con dei termo-igrometri posti a diverse profondità fra 0.60 e 1,20 m la temperatura del terreno nei pressi del caso-studio, per un periodo di oltre 2 anni. Grazie ai dati raccolti è stato possibile ricavare le medie mensili del terreno, impostando in EnergyPlus dei valori con un elevato grado di precisione.

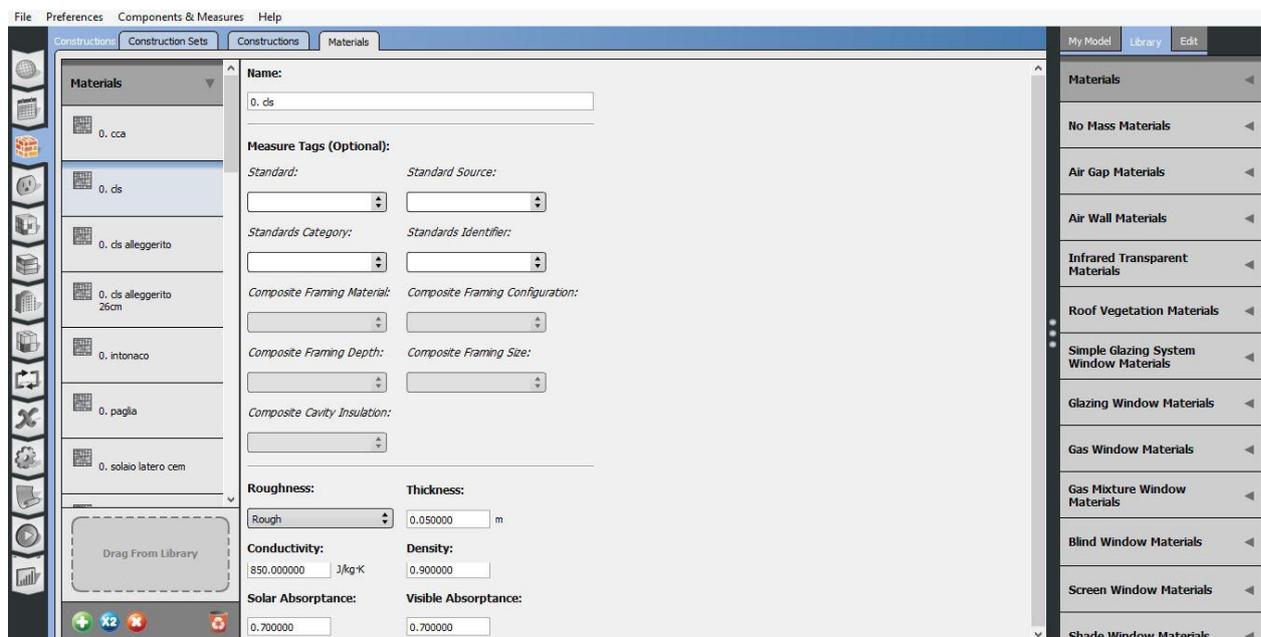


Figura 21 - Schermata relativa alla definizione dei diversi materiali con l'OpenStudio Application

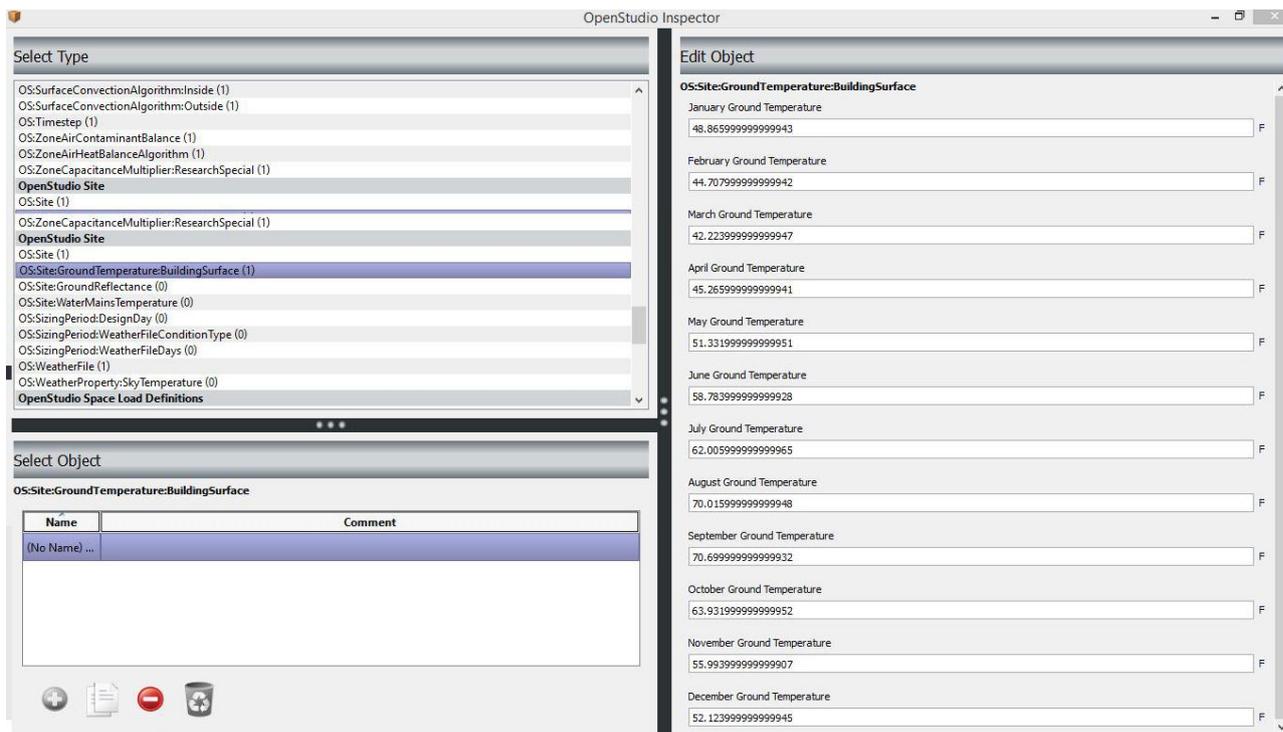


Figura 22 - Settaggio della GroundTemperature:BuildingSurface con l'Inspector di OpenStudio

Infine per stato definito lo *ZoneInfiltration:DesigFlowRate*, corrispondente al livello di infiltrazione d'aria all'interno dei locali, dovuto alla conformazione stessa dei locali nonché della presenza di porte e finestre.

Per la modellazione di grandezze variabili durante l'anno, definibili a priori, EnergyPlus consente di impostarle utilizzando la programmazione definita dallo *Schedule*. Lo *Schedule* è un modulo di EP in cui vengono impostati i valori assunti da una variabile (es. schermature, termostati, orari di funzionamento di macchinari ecc) durante l'anno secondo una programmazione temporale definita dall'utente.

Durante la fase di calibrazione sono state impostate *Schedule* specifiche per le finestre ed i portoni. Lo *Schedule* è stato impostato in questo caso per tenere conto dei periodi di apertura e chiusura dei serramenti, dove il valore 1 indica il serramento aperto e il valore 0 il serramento chiuso. Questi valori sono dei moltiplicatori di un valore di base stabilito dall'utente. Per questo studio, i valori di base sono a 0.5 vol/h per le finestre con vetri singoli fissi, 10 vol/h per i portoni metallici, in accordo alla norma UNI-TS 13300.

Nel corso dell'anno i portoni restano aperti per esigenze legate allo svolgimento dell'attività. Al fine di aumentare il grado di precisione del modello sono stati monitorati i periodi di chiusura ed apertura dei portoni, grazie ad una telecamera installata esternamente e i dati registrati nel corso dell'anno sono stati utilizzati nella modellazione.

3.3.5. Calibrazione e validazione del modello

Le simulazioni con EnergyPlus forniscono come risultati l'andamento di numerose grandezze fisiche; di queste il lavoro si focalizza sulla valutazione del comfort termico attraverso l'analisi del parametro della temperatura interna dell'aria. Sebbene l'affidabilità e la precisione del programma di calcolo EnergyPlus siano ampiamente riconosciute, durante la fase di modellazione si potrebbero avere imprecisioni o errori nell'inserimento dei dati di input tali da pregiudicare l'affidabilità dei risultati (Heo et al., 2014). Per questo motivo prima di procedere con la modellazione di tutti gli scenari di retrofit, è stata seguita la procedura di calibrazione del modello (Scenario 0), confrontando i risultati della simulazione con i dati registrati durante la campagna di monitoraggio delle temperature (illustrata nel Paragrafo 3.1.1), seguendo il metodo di individuato da Barbaresi et al.(2014).

Il procedimento di calibrazione del modello è un processo di aggiustamento e ottimizzazione di alcuni parametri, al fine di ottenere un modello che riproduca in maniera più accurata possibile lo stato di fatto. Si tratta quindi di un passaggio di fondamentale importanza in cui i dati di input e le scelte compiute durante la modellazione vengono perfezionate, in modo da rendere minima la differenza tra i valori simulati e quelli registrati. La messa a punto delle variabili si basa sulle informazioni ottenute nel corso di appositi rilievi effettuati sul caso studio e sul confronto tra le temperature medie orarie simulate e quelle registrate. Data l'importanza di tale procedura, è assolutamente necessario che questa sia compiuta sul modello dello stato di fatto (Scenario 0) prima di procedere alla successiva modellazione delle variabili progettuali.

Terminata la calibrazione, segue un processo di validazione in cui viene dimostrata la validità del modello e verificata l'accuratezza dei risultati. La validazione consiste quindi nell'accertare che il modello calibrato sia in grado di simulare fedelmente la situazione reale. Questa fase si basa sul confronto tra i dati simulati e quelli registrati, con l'analisi della regressione lineare. In particolare si sono analizzati i seguenti valori: il coefficiente di correlazione lineare (*r- Pearson*) e la retta di regressione lineare ($y= ax+b$).

Dopo aver verificato l'attendibilità del modello, viene valutata l'accettabilità dei risultati attraverso l'analisi delle differenze orarie tra le temperature simulate e quelle registrate. A tale scopo vengono valutati 4 indicatori (espressi in gradi-ora [dh]):

- errore in eccesso_ somma delle sole differenze positive;
- errore in difetto_ somma delle sole differenze negative;
- errore totale_ somma algebrica di tutte le differenze;
- errore assoluto_ somma dei valori assoluti delle differenze.

Per ciascun indicatore è stato definito il rispettivo intervallo-soglia da rispettare per assicurare l'accettabilità dei risultati:

- intervallo in eccesso: da 0 a l
- intervallo in difetto: da $-l$ a 0
- intervallo totale: da $-l$ a l
- intervallo assoluto: da 0 a l

dove $l = n \cdot r$, con n corrispondente al numero di ore considerate e r uguale al gradi di precisione della temperatura preso a riferimento (espresso in gradi Celsius [°C]). Per il presente studio, il grado di precisione preso a riferimento è posto pari a 1°C, in accordo con il metodo descritto in Barbaresi et al. (2014). I risultati sono considerati affidabili se tutti gli indicatori rientrano nei limiti del proprio intervallo di accettabilità (ARV). Sebbene l'errore assoluto fornisca un'informazione sufficiente per valutare l'accettabilità del modello, l'analisi di tutte le differenze di temperature attesta maggiormente l'affidabilità della modellazione, permettendo di individuare eventuali valori sovra o sottostimati.

3.3.6. Modellazione delle variabili

Dopo aver calibrato e validato correttamente il modello, si procede alla modellazione delle variabili (vedi Paragrafo 3.2.1 per la descrizione delle variabili), per mezzo di OpenStudio SketchUp plug-in (NREL 2015), partendo dal modello dello Scenario 0. Con l'applicazione OpenStudio sono state create tutte le 6 tipologie di parete e di copertura, impostando in ognuna

le caratteristiche termo-fisiche dei materiali presenti. Tutte le tipologie prevedono l'impiego di materiali edili ampiamente diffusi sul mercato, le cui caratteristiche sono facilmente reperibili.

Più singolare è la tipologia CVE06 che prevede un isolamento termico esterno della parete in balle di paglia dello spessore di 50 cm e nelle dimensioni standard di 100x50x25 cm. Le caratteristiche termo-fisiche della paglia sono state ricavate dalla letteratura scientifica, nello specifico da un test appositamente condotto per studiarne la conducibilità termica in base alla normativa italiana. Il test ha dimostrato che dopo un breve periodo transitorio della durata di pochi secondi, la variazione nella conducibilità termica può essere considerata trascurabile, specialmente se la paglia è posta a contatto con una parete o uno strato di intonaco. Nella modellazione della parete CVE06 lo strato isolante in paglia ha uno spessore di 50 cm ed una conducibilità termica di 0.11 W/mK. Complessivamente la parete così isolata raggiunge una trasmittanza termica pari a 0.2 W/m²K.

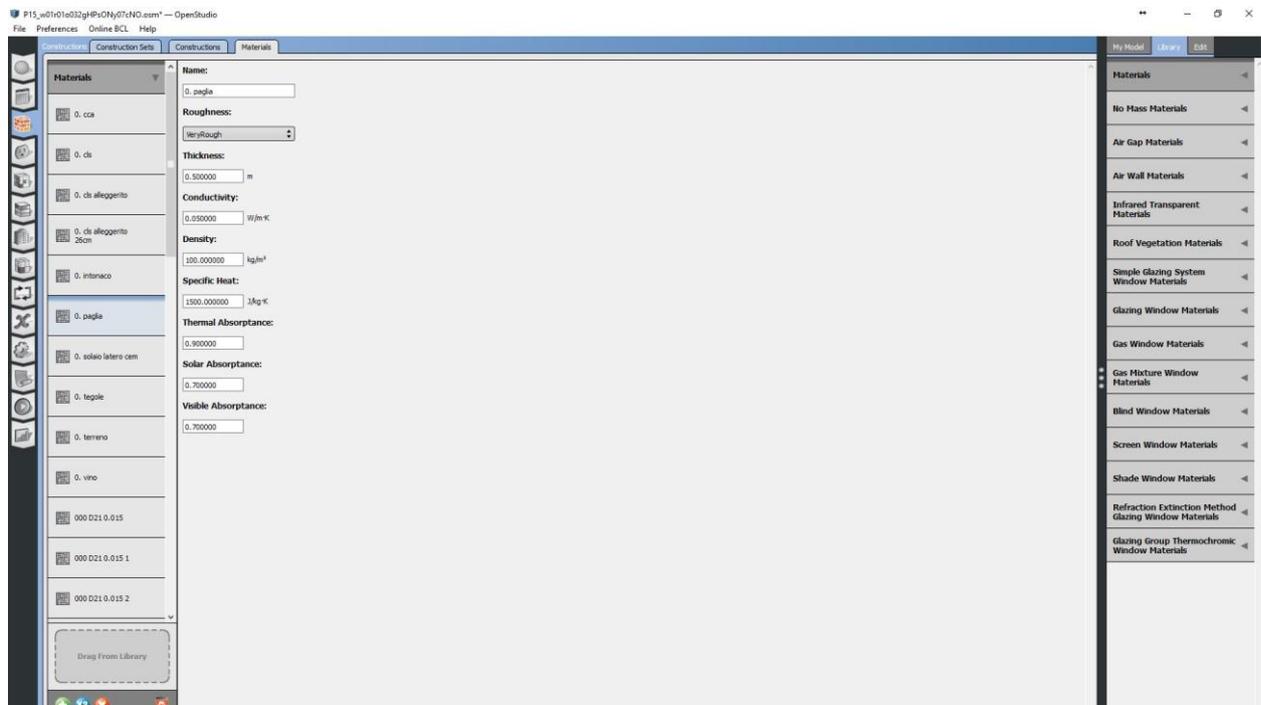


Figura 23 - Scheda OpenStudio Application per la gestione del materiale paglia

Per modellare le due alternative di chiusura trasparente è stata prima inserita in OpenStudio la soluzione meno performante associando un vetro singolo con trasmittanza termica U_g uguale a 6 W/m²K ed un valore di infiltrazione d'aria di 0.5 vol/h. Successivamente è stata creata la

seconda soluzione con infisso energeticamente più performante formato da vetro doppio a norma di legge ($U_g=2.2 \text{ W/m}^2\text{K}$) e un tasso di infiltrazione pari a 0.3 vol/h.

Infine è stata modellata la schermatura solare, che prevede l'inserimento di verde rampicante, che può essere realizzato con piante di vite, con effetto ombreggiante sulla parete verticale. Il comportamento del verde verticale è ampiamente trattato in letteratura. La schermatura solare è stata modellata col plug-in OpenStudio disegnando una ShadingSurface verticale di altezza 4 m posta a 3 di distanza dalle pareti dell'edificio ed una orizzontale superiore a chiusura. La schermatura verde è stata posizionata a protezione di due lati dell'edificio: quello lungo finestrato e quello corto opposto all'ingresso. Alla schermatura così definita è stato attribuito un livello di oscuramento variabile nel corso dell'anno per tenere conto della diversa copertura fogliare (Bellomo, 2009; Susorova et al., 2013). Per questo motivo con l'OpenStudio Application è stata associata una *Schedule* appositamente settata che tiene conto della variazione della copertura fogliare nei vari periodi dell'anno. In particolare, il valore della copertura fogliare viene fatto variare da un minimo del 10% nei mesi invernali ad un massimo del 100% in quelli estivi.

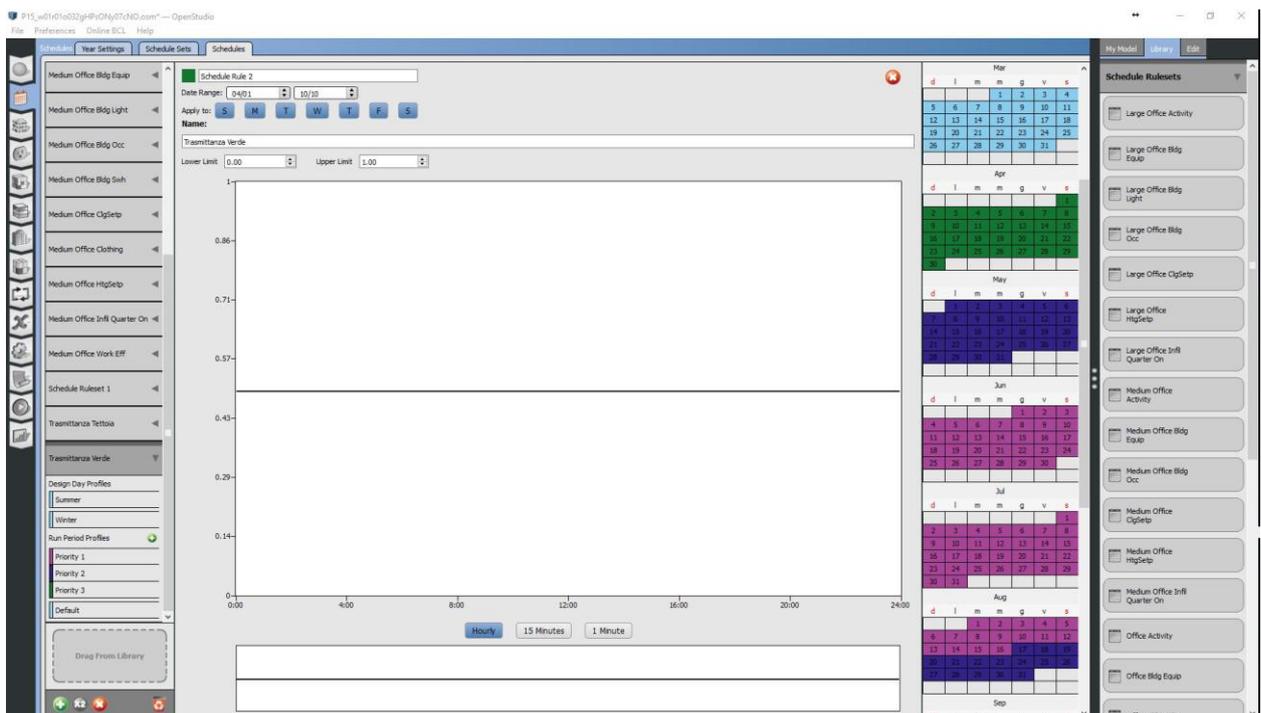


Figura 24 - Schermata relativa alla definizione dello Schedule della copertura fogliare

3.3.6.1. *Simulazione degli scenari*

Una volta effettuata la modellazione di ogni singola variabile, sono stati simulati gli scenari a partire dal modello dello stato di fatto. Come output della modellazione è stato ottenuto il file dello stato di fatto (Scenario 0), denominato "P15_w02r02o032gLPsOFy13.osm". Il gruppo di ricerca ha fornito un algoritmo di calcolo fatto con l'utilizzo di Octave, con il quale è stato automatizzato il processo di combinazione delle 22 variabili. In questo modo sono stati ottenuti 1152 file corrispondenti a tutte le possibili combinazioni tra le variabili. Tutte le simulazioni sono state eseguite con RunManager. I risultati di ogni singola simulazione sono stati esportati in un file .csv e successivamente analizzati secondo i criteri di Comfort Zone (vedi Sezione 2.4 Comfort Zone).

3.4. Criteri e metodologia di analisi delle performance termiche

3.4.1. Valutazione delle performance termiche di locali non climatizzati

Nei locali climatizzati, l'efficacia degli interventi di riqualificazione può essere valutata confrontando i consumi di energia prima e dopo ciascun intervento. Tale valutazione può inoltre essere completata da un'analisi costi-benefici che consente di valutare il tempo di ritorno di ciascuno scenario.

Nella presente ricerca tale metodologia non può essere applicata in quanto il caso studio non presenta consumi energetici essendo privo di impianti.

Ciò rende necessaria la definizione di un diverso criterio di valutazione. Gli interventi di riqualificazione, ipotizzati in questo studio, mirano ad ottenere le condizioni ambientali interne più adatte alla vinificazione e alla conservazione del vino. Obiettivo della progettazione è mantenere la temperatura interna dell'aria entro specifici intervalli.

Per questo motivo, la presente ricerca definisce un nuovo criterio per la valutazione delle performance termiche di interventi di riqualificazione in locali non climatizzati, basato sulla capacità di mantenere nel tempo la temperatura interna entro specifici intervalli di temperatura.

La conservazione del vino in bottiglie o serbatoi da un lato, la mancanza di parti interrato dell'edificio dall'altro, fanno sì che i fenomeni legati ai valori dell'umidità relativa e quindi

all'evaporazione del vino e alla formazione di muffe, possano essere considerati trascurabili ai fini della presente ricerca.

3.4.1.1. *Il Comfort Termico*

In questo studio, viene individuato un intervallo di "comfort termico" per valutare i diversi interventi di riqualificazione, definito come l'intervallo di temperatura ideale dei locali in relazione all'uso a cui sono destinati.

Comfort termico I - CTI

Il Comfort termico I (d'ora in avanti denominato CTI) è quello ritenuto ideale per la conservazione della maggior parte dei vini prodotti, sia bianchi che rossi. Per definire i valori di tale intervallo - temperatura ideale e oscillazione attorno al valore di temperatura ideale (swing) - ci si riferisce allo stato di fatto e alle tecniche tradizionali del contesto in cui si inserisce il caso studio. In generale, la letteratura in materia suggerisce diversi valori per la conservazione e l'invecchiamento, a seconda di fattori quali: il contesto climatico, la qualità delle uve, le tecniche di produzione e persino il gusto soggettivo del consumatore. Come spiegato nel Paragrafo 2.1.1, molti autori concordano che l'intervallo di temperatura ideale del vino - e quindi dell'ambiente che lo ospita - deve essere superiore a 10°C (affinché si verifichi una corretta fermentazione) ed inferiore a 20°C (Mazarrón et al, 2013) per non compromettere la qualità del vino. Oltre agli intervalli di temperatura, molti autori sottolineano l'importanza della stabilità termica, stabilendo che la temperatura dovrebbe essere il più possibile costante, con un'oscillazione massima di +/-3°C (Vogt,1971).

Nel definire l'intervallo di temperatura ideale per la conservazione e l'invecchiamento sono state prese a riferimento le tecniche tradizionali locali di conservazione e invecchiamento. Storicamente il vino viene conservato in locali interrati non climatizzati dove la temperatura media del locale è prossima alla temperatura media annua del terreno. Studi specifici sull'argomento (Kusuda, 1965) ed una campagna di monitoraggio effettuata in sito (Tinti et al. 2014) hanno dimostrato come la temperatura media annua del terreno sia equivalente a quella esterna con un'oscillazione che dipende dalla profondità.

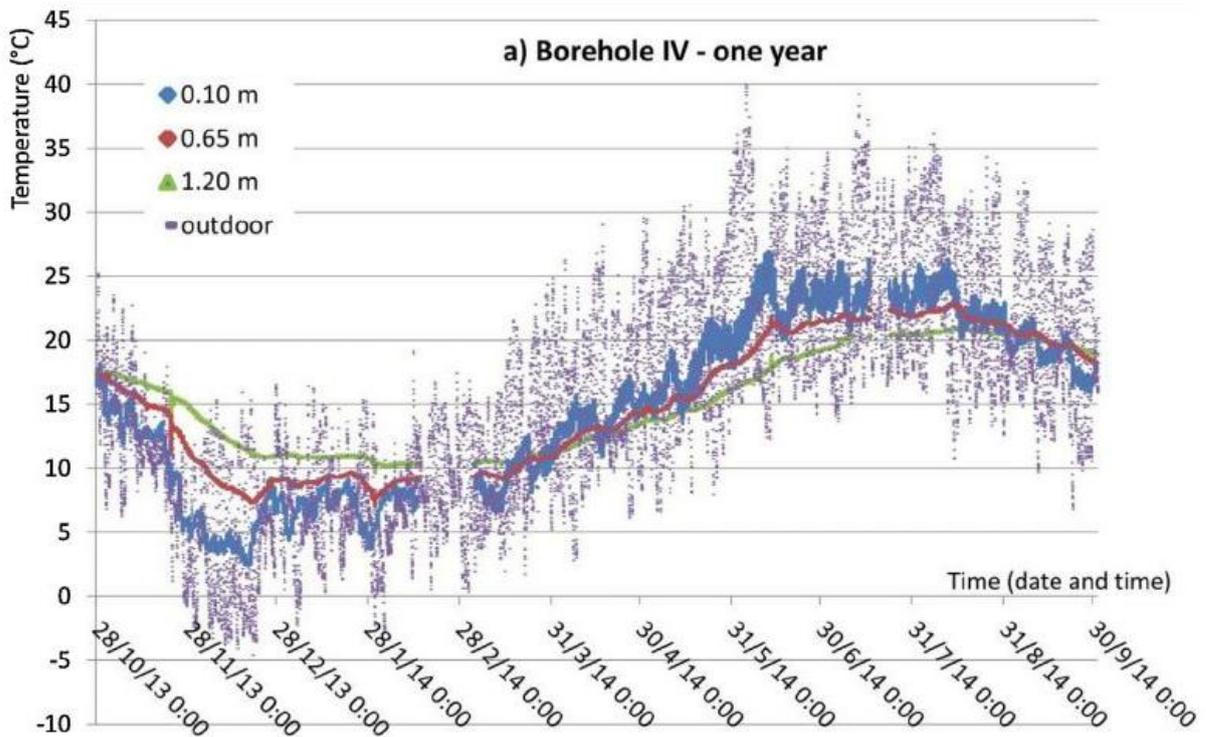


Figura 25 - Andamento delle temperature del terreno, a differenti profondità, nel corso dell'anno

Per questi motivi la temperatura media annua del terreno è assunta come temperatura ideale per la conservazione del vino. I dati raccolti durante la campagna di monitoraggio svolta da Tinti et al. (2014) in prossimità del caso studio dimostrano come 15°C sia il valore di temperatura medio annuo del terreno nel sito in esame negli strati di terreno superficiali e a bassa profondità (vedi Figura 25 tratta da Tinti et al).

Quindi 15°C è considerata la temperatura ideale e considerando un'oscillazione massima di +/- 3°C, il comfort termico I è definito come l'intervallo di temperatura compreso tra $T_{min}=12^{\circ}C$ and $T_{max}=18^{\circ}C(15\pm 3^{\circ}C)$.

Comfort termico II - CTII

L'analisi dei risultati viene inoltre condotta considerando un secondo intervallo di comfort per il vino: 9 ÷ 12°C (CT II), che è un intervallo di temperatura ideale per la produzione del vino secondo il metodo classico (vedi Paragrafo 2.1.1.1) , come ad esempio lo spumante (Troost, 1953).

Comfort termico III - CT III

Il terzo livello di comfort (CT III) considerato rappresenta un intervallo di temperature ideale per i luoghi destinati alla permanenza di persone, così come previsto dalla normativa per ambienti non climatizzati (EN 15251; Chiappini et al., 2015). Questo intervallo di comfort è scelto per valutare come si comporterebbe l'edificio nel caso ne venisse cambiata la destinazione d'uso. I valori soglia sono quelli previsti nel metodo adattivo, descritti dalle seguenti equazioni:

$$T_c = 0.302 T_{RM80} + 19.39, T_{RM80} > 10^\circ\text{C} \quad [\text{Equazione 3}]$$

$$T_c = 22.88^\circ\text{C}, T_{RM80} \leq 10^\circ\text{C} \quad [\text{Equazione 4}]$$

dove:

T_c è la temperatura di comfort e T_{RM80} è la temperatura media esterna.

La fascia di accettabilità è invece definita dall'[Equazione 5:

$$dT = -0.189 T_c + 6.35 \quad [\text{Equazione 5}]$$

Nella valutazione degli scenari l'intervallo di comfort CTIII è stato calcolato sia con le temperature del 2007 che con quelle del 2013 per confrontare le rispettive simulazioni.

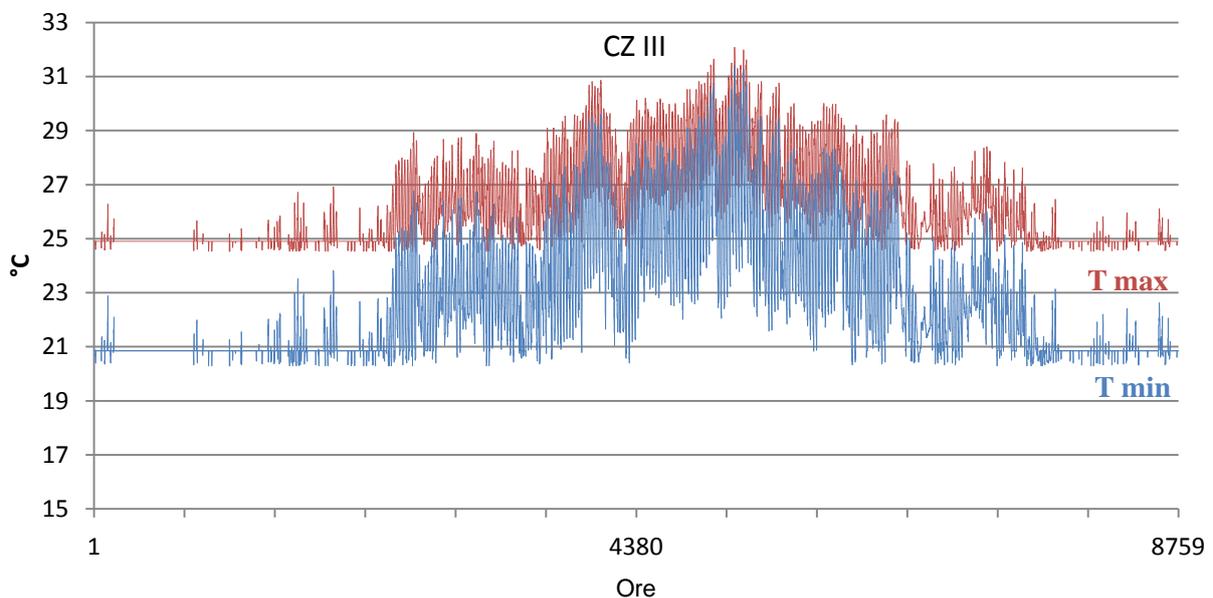


Figura 26 - Rappresentazione grafica dell'intervallo di temperatura ideale per il benessere umano variabile nel corso dell'anno in funzione della temperatura esterna come descritto dal metodo adattivo. I valori visualizzati nel grafico (calcolati per l'anno 2013) rappresentano il valore minimo accettabile (linea blu) e il valore massimo (linea rossa).

3.4.2. Criteri di valutazione

Per ciascun modello ed in ciascuna zona termica, la simulazione energetica restituisce l'andamento della temperatura interna nel caso studio nel corso dell'anno. Questi valori sono stati confrontati con gli intervalli di comfort termico sopra descritti.

La valutazione del comfort termico in locali non climatizzati è basata sull'analisi delle temperature al di fuori dell'intervallo di comfort, attraverso la definizione di tre indicatori:

_ **Tempo di Discomfort - DT** [h] ovvero il numero di ore in cui la temperatura non rispetta l'intervallo di comfort. In particolare il numero di ore in cui la temperatura interna è superiore a T_{max} è chiamato DT_+ , mentre il numero di ore in cui la temperatura è inferiore a T_{min} è chiamato DT_-

_ **Livello di Discomfort - DL** [dh] ovvero la somma delle temperature interne al di fuori dell'intervallo di comfort. Questo indicatore è espresso in gradi-ora e calcolato come segue:

$$DL_+ = \sum_{i=1}^{8760} T_{e,i} \quad \text{dove } T_{e,i} = \begin{cases} T_i - T_{max}, & T_i > T_{max} \\ 0, & T_i \leq T_{max} \end{cases}$$

$$DL_- = \sum_{i=1}^{8760} T_{d,i} \quad \text{dove } T_{d,i} = \begin{cases} 0, & T_i \geq T_{min} \\ T_{min} - T_i, & T_i < T_{min} \end{cases}$$

dove T_{max} e T_{min} sono rispettivamente i valori soglia superiore ed inferiore dell'intervallo di comfort e T_i indica la temperatura interna dell'aria all'*i-esimo* step temporale. DL_+ indica i gradi-ora in eccesso, mentre DL_- quelli in difetto.

_ **Miglioramento del Discomfort - MD** [%] ovvero la percentuale di miglioramento termico dell'edificio ottenuta confrontando il livello di discomfort corrispondente a ciascuno scenario col livello di discomfort rispetto ad un ambiente in costante equilibrio termico con l'esterno, situazione presa a riferimento. Questo indicatore nasce dalla necessità di valutare ogni singola variabile simulata con un riferimento comune, che possa fornire dati il più indipendenti possibile. Si è quindi preso a riferimento il Livello di Discomfort calcolato sui valori di temperatura esterna nell'anno della simulazione. Questo valore può essere immaginato come un confronto fra l'ambiente simulato e un ipotetico ambiente in costante equilibrio termico con l'aria esterna (come se il vino fosse conservato in un locale aperto ma protetto da sole e vento).

Pertanto Il Miglioramento Termico è calcolato come segue:

$$MD_j = 1 - \frac{DL_j}{DL_0}$$

dove DL_j è la somma dei gradi ora di discomfort riferita allo *j-esimo* scenario e DL_0 è la somma dei gradi ora di discomfort riferita allo scenario preso a riferimento, le cui temperature equivalgono alle temperature esterne registrate negli anni 2007 e 2013.

Sulla base dei primi due indicatori, tutti gli scenari sono paragonati tra loro individuando quelli più efficaci: valori più bassi di **DT** e **DL** indicano un miglioramento del benessere termico dell'edificio.

Il terzo indicatore consente invece di valutare il miglioramento termico generato da ciascuno scenario di progetto rispetto ad un ambiente in costante equilibrio termico con l'esterno, non soggetto ad irraggiamento solare o al vento (come se il vino fosse conservato all'esterno in un luogo protetto dal Sole e dal vento).

Il Livello di Discomfort dello scenario di riferimento (DL_0) è calcolato per i 3 intervalli di comfort termico definiti nel Paragrafo 3.4.1.1, con le temperature esterne riferite agli anni 2007 e 2013. La Tabella 11 riporta i valori assunti da DL_0 con cui saranno confrontati i vari scenari nell'analisi del miglioramento termico illustrata nel Paragrafo 4.2.2.

Tabella 11 - Somma dei gradi ora di discomfort (DL_0) per lo scenario di riferimento

	<i>CTI</i>	<i>CTII</i>	<i>CTIII</i>
y 07	42183	54657	78223
y 13	45871	60113	78732

4. RISULTATI

Vengono qui analizzati e commentati i risultati ottenuti al termine dello studio. Nel Paragrafo 4.1 viene verificata la validità del modello e l'accuratezza dei risultati, svolgendo il confronto tra le temperature interne simulate e quelle registrate nell'anno 2013.

Successivamente nel Paragrafo 4.2 vengono discussi i risultati delle simulazioni, analizzando il comportamento termico dell'edificio, prendendo a riferimento i 3 livelli di comfort definiti in precedenza. Per ciascuna variabile si arrivano a definire i gradi ora (dh) di discomfort negli scenari in cui è presente la singola variabile e per ciascuno scenario viene calcolato il miglioramento delle prestazioni termiche dell'edificio rispetto ad uno scenario preso come riferimento.

Infine, nel Paragrafo 4.3 vengono esaminati i risultati dell'analisi costi-benefici condotta sulle variabili individuate in precedenza, al fine di aiutare nella comprensione della convenienza economica di ciascuna variabile.

4.1. Validazione del modello

La validazione del modello e la verifica dei risultati viene compiuta confrontando i risultati della modellazione con quelli registrati nel corso dell'anno 2013 nelle due zone termiche di vinificazione (ZT1) e conservazione (ZT2), seguendo la procedura descritta nel Paragrafo 3.3.5. Tale confronto è visualizzato nei grafici di Figura 27, riferiti alla zona termica di vinificazione e conservazione.

I risultati di tale confronto sono riassunti nella Tabella 12. La validità del modello è stata verificata analizzando la correlazione fra modello simulato e edificio reale con l'analisi del coefficiente di correlazione lineare (r) e della retta di regressione lineare descritta dall'equazione $y = ax + b$, confrontando i valori simulati e quelli registrati. Per entrambe le zone termiche, il valore assunto da r^2 è prossimo ad 1 (0.985 nella vinificazione e 0.982 nella conservazione come illustrato nei grafici di Figura 28). Tali dati dimostrano un'ottima correlazione tra i valori registrati e quelli simulati. In entrambe le zone termiche, dall'analisi della pendenza (a) e dell'intercetta sull'asse delle y (b) della retta di regressione lineare emerge che il valore assunto da a è prossimo a 1 (0.987 nella vinificazione, 0.998 nella conservazione), mentre b è vicino a 0 (0.446°C nella vinificazione, 0.116°C nella conservazione).

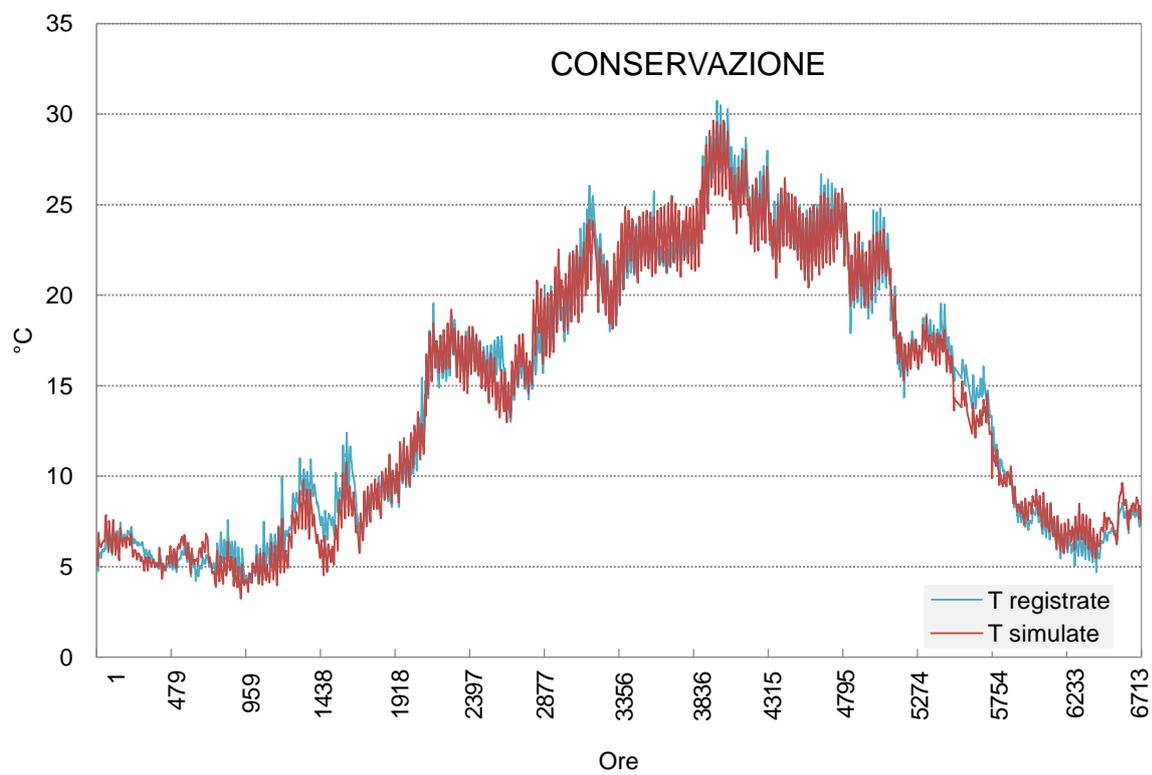
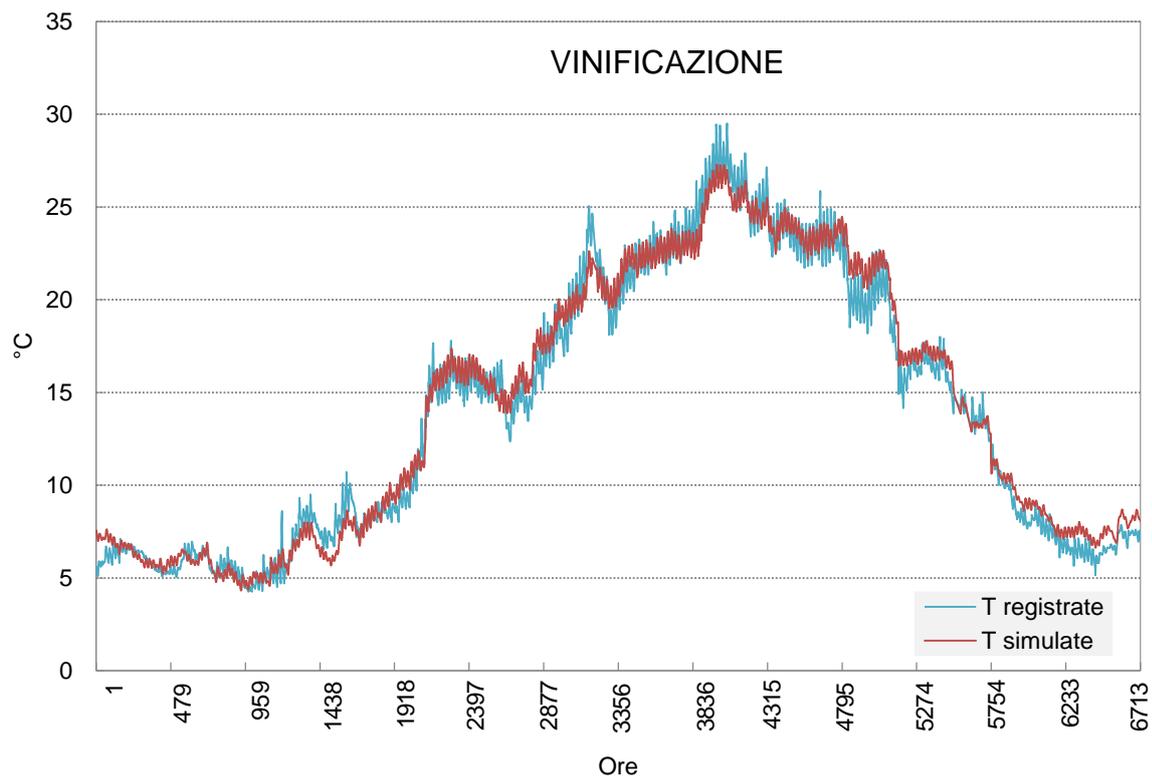


Figura 27 - Confronto tra le temperature interne simulate e registrate nella zona termica di vinificazione e conservazione, per l'anno 2013

Questi risultati dimostrano che lo scostamento tra i dati registrati e quelli simulati non è significativo, pertanto è possibile affermare che il modello è in grado di rappresentare in modo accurato il comportamento termico del caso studio, dal momento che dimostra una simile temperatura iniziale, simile variazione e simile temperatura finale per ogni istante del periodo di simulazione.

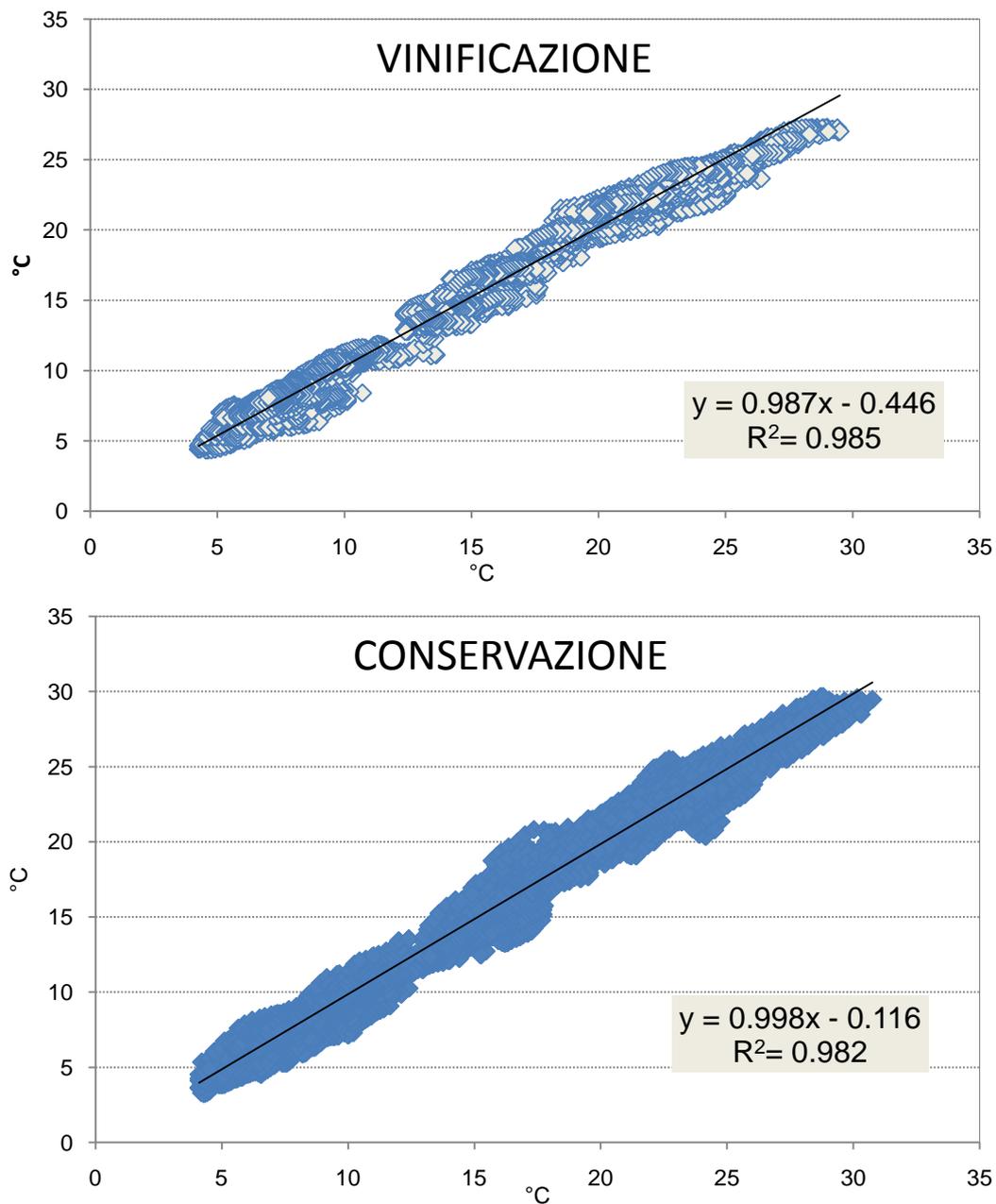


Figura 28 - Confronto tra le temperature simulate e registrate nelle due zone termiche: distribuzione e retta di regressione lineare

La verifica della precisione dei risultati, condotta attraverso l'analisi dell'errore medio, dello scarto quadratico medio (RMSE) e dell'errore assoluto, dimostra come in entrambe le zone termiche i risultati rientrano nell'intervallo di riferimento. L'analisi dell'errore medio mette in evidenza come i risultati relativi alla zona di conservazione siano più precisi di quelli ottenuti per il locale di vinificazione, infatti il valore dell'errore è più vicino allo 0. In particolare, l'errore medio è di 0.132 °C nella ZT2 e di -0.267 °C nella ZT1. Diversamente, il valore dello scarto quadratico medio è più basso nella ZT1 (0.856 °C) che nella ZT2 (0.958°C).

Prendendo a riferimento l'insieme di tutti i risultati di ciascuna simulazione (6713 valori), l'errore totale nel locale di vinificazione è il 26,7% mentre nella conservazione è pari al 13,2%. L'errore assoluto è invece di 73.05% nella ZT1 e 77.13% nella ZT2. Dall'analisi degli errori in eccesso e in difetto, emerge che nella ZT1 DL- (3351 dh) è maggiore di DL+ (1553 dh), con una differenza negativa complessiva di -1798 dh. Al contrario, nella ZT2 la somma degli errori in eccesso (DL+) è più grande (3033dh), di DL- (-2145dh) con una somma complessiva di 888 dh. Il confronto tra i dati registrati e quelli simulati con EnergyPlus dimostra che i risultati possono essere considerati accettabili in accordo con la procedura di validazione descritta nel Paragrafo 3.3.5. Dopo aver dimostrato che il modello è conforme ai requisiti di precisione e che i risultati sono sufficientemente accurati, il modello del caso studio (Scenario0) è stato utilizzato per modellare le altre variabili progettuali e confrontare tra loro i risultati dei diversi scenari.

Tabella 12 - Sommario dei risultati delle analisi

	Analisi del comportamento termico			Analisi della differenza delle temperature					
	r	a	b	Medio	RMSE	Eccesso	Difetto	Totale	Assoluto
range				± 1.0	± 1.0	0/6713	- 6713/0	± 6713	0/6713
ZT1	0.985	0.987	+0.446	-0.267	0.856	1553	-3351	-1798	4904
ZT2	0.982	0.998	- 0.116	0.132	0.958	3033	-2145	888	5178

I risultati dimostrano inoltre l'appropriatezza della modellazione del caso studio in 4 zone termiche rispetto all'ipotesi di suddivisione in un numero maggiore (8 zone termiche). Il modello articolato in 4 zone rappresenta in maniera sufficientemente precisa il caso studio, soddisfacendo il livello di precisione definito per il caso studio in oggetto.

I risultati ottenuti dai modelli costituiti da più di quattro zone termiche (non riportati qui per esigenze di sintesi) ricalcano infatti i dati registrati con un grado di precisione che rispetta il valore prefissato di $\pm 2^{\circ}\text{C}$. Tuttavia il modello costruito suddividendo l'edificio in quattro zone termiche mostra risultati perfino più prossimi ai dati reali. Ciò conferma che la modellazione al computer può trarre notevoli benefici da un'accurata definizione delle zone termiche dell'edificio, secondo un target di precisione prefissato basato sulle caratteristiche specifiche del caso studio.

4.2. Analisi degli scenari in assenza di impianto termico

Di seguito vengono discussi i risultati delle 1152 simulazioni, ottenute combinando tra loro tutte le 22 variabili: 20 variabili progettuali (6 pareti, 6 coperture, 2 chiusure trasparenti, 4 orientamenti, 2 schermature solari) e 2 variabili esterne, che rappresentano le due condizioni climatiche differenti prese a riferimento (temperature esterne nell'anno 2007 e nel 2013). Nel Paragrafo 4.2.1 il discomfort viene analizzato prendendo a riferimento l'indicatore del livello di discomfort come definito nel Paragrafo 3.4.2. Nel Paragrafo 4.2.2 invece viene considerato l'indicatore del miglioramento termico MT per valutare i risultati di tutti gli scenari.

La sigla adottata nei grafici per identificare ciascuna variabile trova corrispondenza con i codici finora utilizzati nel testo, come riportato nella Tabella 13.

Tabella 13 - Riepilogo dei codici utilizzati nel testo per identificare le variabili e della loro corrispondente sigla riportata nei grafici

CODICE NEL TESTO	VARIABILE	SIGLA NEI GRAFICI
CVE	Parete verticale	w
COS	Copertura	r
o	Orientamento	o
g	Superficie trasparente	g
SS	Superficie schermante	s

4.2.1. Analisi del discomfort complessivo

L'analisi dei risultati viene fatta per i 3 livelli di comfort definiti in precedenza nel Paragrafo 3.4.1.1. I risultati di ciascuna simulazione sono riportati nei grafici sottostanti di Figura 29, Figura 30, Figura 31. Ciascun grafico mostra il livello di discomfort dell'edificio, espresso in gradi ora (dh) riferita alla singola variabile. Per ciascuna variabile il box-plot rappresenta i gradi-ora di discomfort negli scenari in cui è presente la singola variabile.

Il box plot è un grafico che riporta informazioni quantitative circa la distribuzione di una certa variabile. Nei diagrammi tutte le variabili ipotizzate negli scenari di intervento sono riportate sull'asse delle ascisse, mentre il corrispondente Livello di Discomfort su quello delle ordinate.

La scatola del box plot ha come estremi inferiore e superiore rispettivamente il 1° e 3° quartile, mentre la linea rossa che divide la scatola in due parti rappresenta la mediana⁴, ovvero il valore medio di discomfort per tutti gli scenari per quella variabile.

L'ampiezza del box fornisce un'indicazione sull'importanza della singola variabile; tanto più il box è corto maggiore è l'influenza della variabile sulla performance termica globale dell'edificio. La lunghezza dei baffi è pari ad una volta e mezzo la distanza interquartile, oppure se inferiore, è pari alla differenza fra il primo quartile⁵ e il valore minimo e il terzo quartile⁶ e il valore massimo. Oltre i baffi sono collocati i punti considerati come valori anomali (outlier), ovvero eccezionalmente grandi o piccoli rispetto ai restanti valori della variabile; questi sono marcati sul diagramma con un simbolo a croce di colore rosso.

Analizzando l'ampiezza delle singole scatole emerge che la più influente risulta essere la variabile "copertura". La variazione degli altri parametri ha invece la stessa influenza sulla performance globale. Questo risultato è più evidente nei grafici associati alla *CTI* e alla *CTII* mentre lo è meno per la *CTIII*.

4 Mediana: il minimo valore osservato tale che almeno il 50% (=1/2) dei dati è minore o uguale a questo

5 Primo quartile: il minimo valore osservato tale che almeno il 25% (=1/4) dei dati è minore o uguale a questo

6 Terzo quartile: il minimo valore osservato tale che almeno il 75% (=3/4) dei dati è minore o uguale a questo

Ciò è dovuto al fatto che la copertura è la superficie maggiormente esposta alla radiazione solare e quindi al surriscaldamento estivo, pertanto è importante l'isolamento termico della copertura per il mantenimento delle temperature idonee per la conservazione del vino.

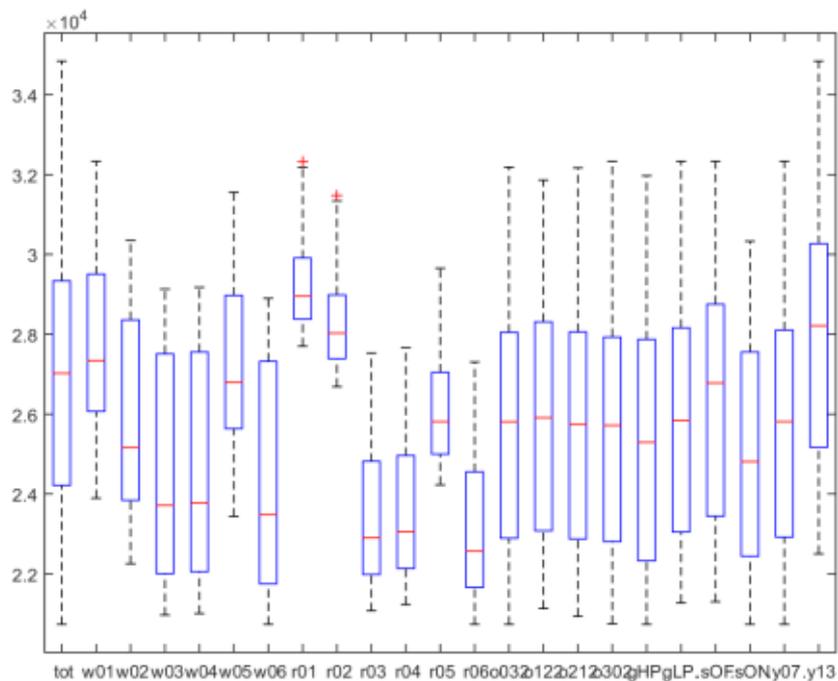
Se si osservano le mediane dei livelli di discomfort sia per la *CTI* che per la *CTII*, i valori più elevati di gradi ora sono associati alla variabile COS01 e COS02 (mediamente 30000 dh) mentre i valori più bassi sono associati alle variabili COS03, COS04 e COS06 (24000 dh); questo conferma che l'involucro edilizio è altamente influente sulla performance termica, in particolare la copertura. Questo significa che in assoluto l'elevata trasmittanza termica della copertura è di estrema importanza, ancora di più che un'ottima inerzia termica, che comunque ha effetti positivi. Una copertura isolata determina un miglioramento della performance termica globale dell'ordine del 25% rispetto ad un sistema di copertura non isolata.

Per quanto riguarda le pareti esterne, i risultati sono analoghi a quello delle coperture, anche se con differenze meno evidenti. Diversamente da ciò che si registra per la copertura, lo sfasamento dell'onda termica dovuto alle caratteristiche della parete non è così importante, infatti la mediana associata alla variabile CVE05 è paragonabile a CVE01 e CVE02. Sempre nell'ambito di *CTI* e *CTII* l'isolamento della copertura è più importante per avere una buona performance rispetto all'isolamento delle pareti.

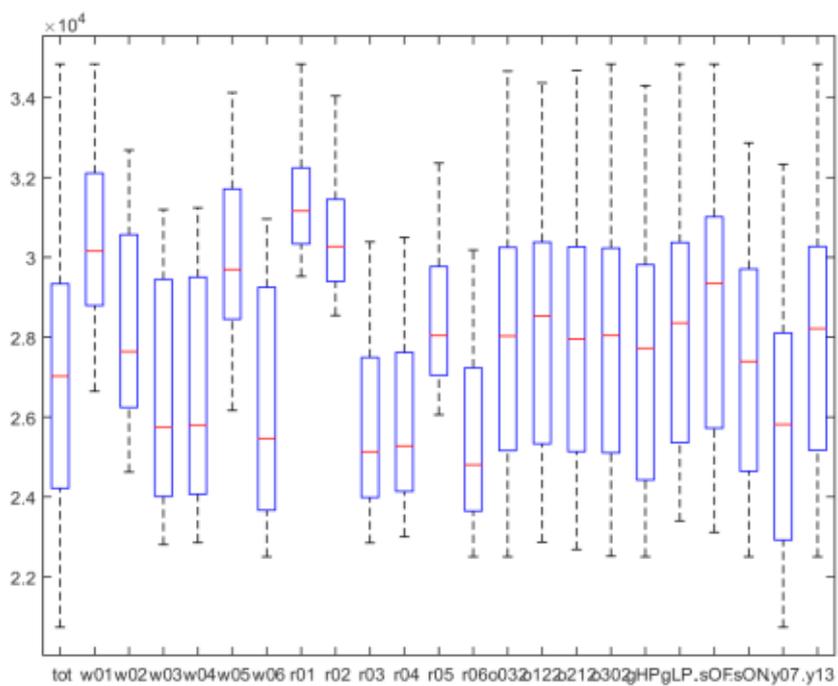
Se si confrontano le altre variabili è possibile notare come l'orientamento abbia pochissima influenza; questo risultato può essere giustificato dalla geometria del caso studio in quanto si tratta di edificio simmetrico con pianta rettangolare prossima al quadrato. Analogamente anche le caratteristiche delle componenti trasparenti appaiono come poco importanti. Questo dato deriva sempre dalla configurazione del caso studio, in cui la percentuale di finestre apribili è estremamente ridotta rispetto all'involucro opaco.

Più incisiva è invece la presenza o assenza di schermatura solare; sia per la *CTI* che per la *CTII* la presenza di schermature solari migliora la performance globale dell'edificio del 7%.

Se si confrontano i risultati delle simulazioni per l'anno 2007 e per il 2013 è possibile notare come le temperature esterne abbiano una grossa influenza sui gradi ora ma non cambiano i rapporti di forza tra le altre variabili. Ciò significa che una variabile continua ad essere la più incidente indipendentemente dall'anno.

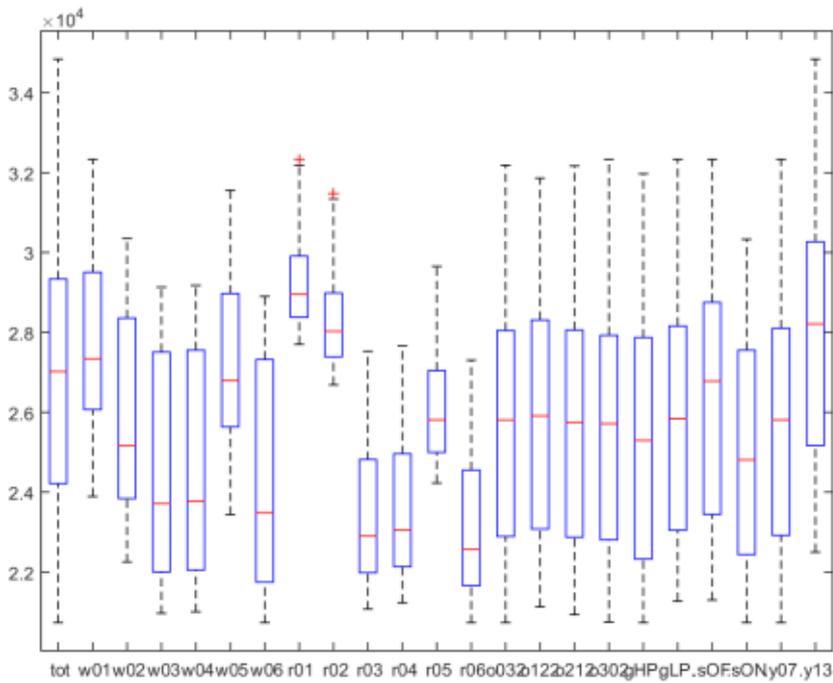


CTI y07

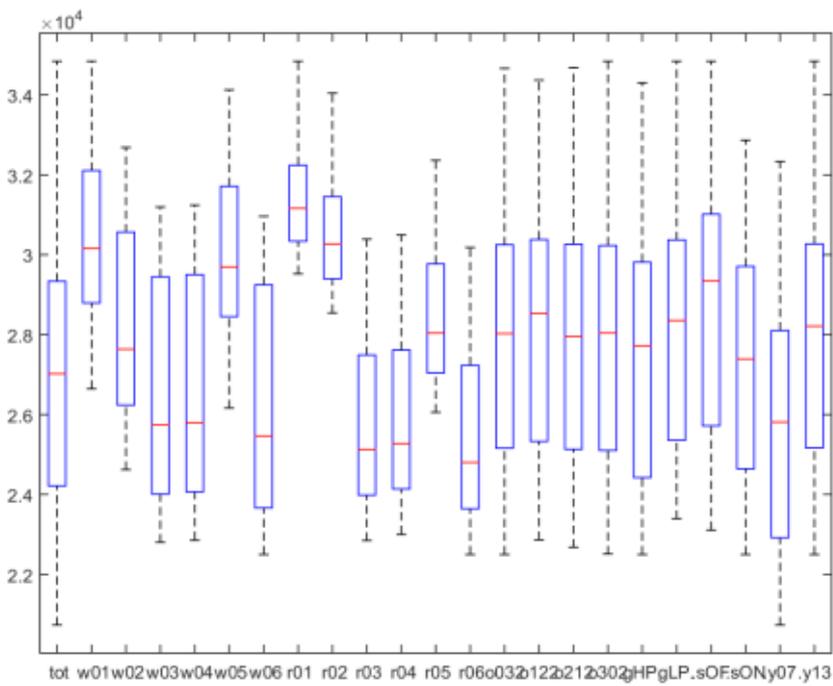


CTI y13

Figura 29- Analisi del discomfort delle singole variabili progettuali, per il livello di comfort CTI. I due grafici, estratti dall'Allegato B, riportano i risultati suddivisi per anno, 2007 e 2013.

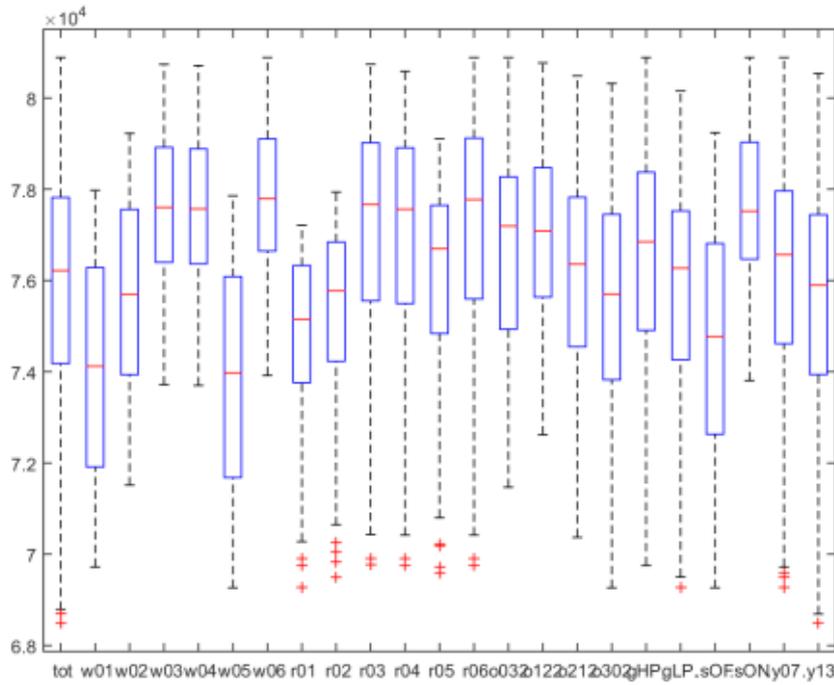


CTII y07

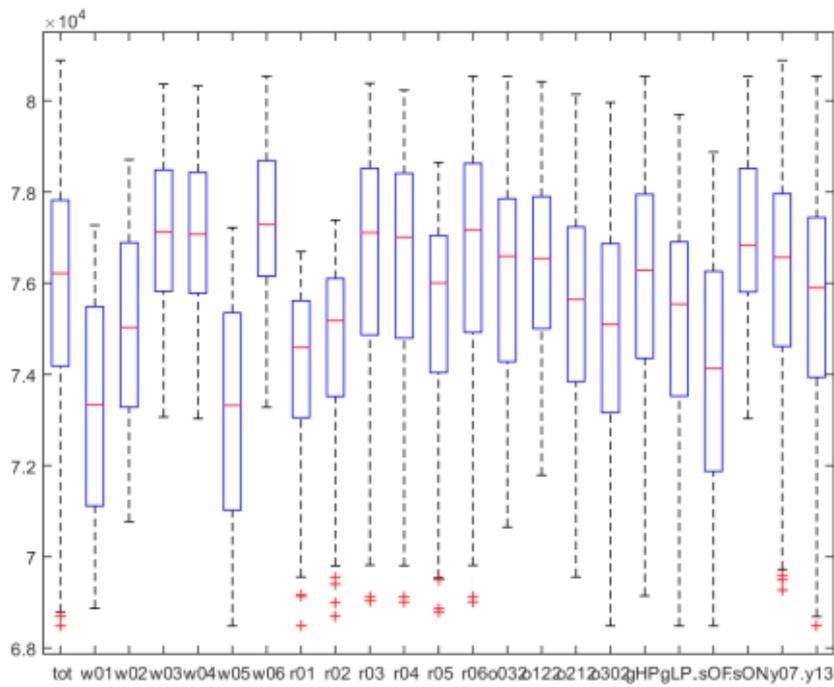


CTII y13

Figura 30 - Analisi del discomfort delle singole variabili progettuali, per il livello di comfort CTII. I due grafici, estratti dall'Allegato B, riportano i risultati suddivisi per anno, 2007 e 2013.



CTIII y07



CTIII y13

Figura 31 - Analisi del discomfort delle singole variabili progettuali, per il livello di comfort CTIII. I due grafici, estratti dall'Allegato B, riportano i risultati suddivisi per anno, 2007 e 2013.

Se si analizzano le simulazioni prendendo a riferimento l'intervallo di comfort per le persone (*CTIII*) i risultati presentano notevoli differenze rispetto ai livelli di comfort impostati per il vino. In particolare la maggiore influenza è data dalla variabile "parete". Se si osservano le mediane emerge come le soluzioni preferibili (con valore di mediana più basso) siano CVE01 e CVE05. A differenza di quanto osservato in precedenza, l'aumento della trasmittanza termica dell'involucro non determina un miglioramento mentre maggiore è l'influenza dell'inerzia termica. È confermata la poca importanza della trasmittanza termica anche nella variabile "copertura". Prendendo a riferimento la *CTIII* sono le soluzioni di copertura col maggior isolamento (COS03, COS04 e COS06) a presentare i valori di mediana dei livelli di discomfort più elevati.

Sempre nell'ambito della *CTIII*, poca importanza è assunta dalle variabili "orientamento" e "superficie trasparente", mentre significativa è la variabile delle "schermature solari". Dai risultati emerge infatti come sia preferibile l'assenza di sistemi di schermatura solare, a differenza di quanto avveniva per il *CTI* e il *CTII*.

L'analisi dei risultati precedenti dimostra che le variabili dell'involucro opaco, pareti e copertura, sono quelle che maggiormente influenzano il comportamento termico globale dell'edificio.

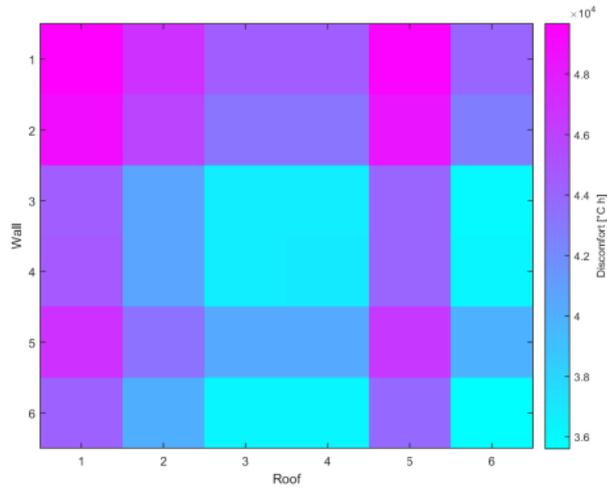
Per questo motivo lo studio si è quindi concentrato sul solo involucro edilizio, al fine di svolgere analisi comparative più dettagliate fra i vari scenari, assumendo come variabili solo le pareti e la copertura e mantenendo costanti tutti gli altri parametri, impostati sui seguenti valori: orientamento: 32°, superficie trasparente: HIGH PERFORMANCE, schermature solari: OFF, anno: 2013.

I risultati delle 36 simulazioni sono visualizzati nei grafici a matrice *paretexcopertura* di Figura 32. Ciascuna matrice presenta la combinazione delle 6 soluzioni di copertura (asse delle ascisse) con le sei soluzioni di parete (asse delle ordinate).

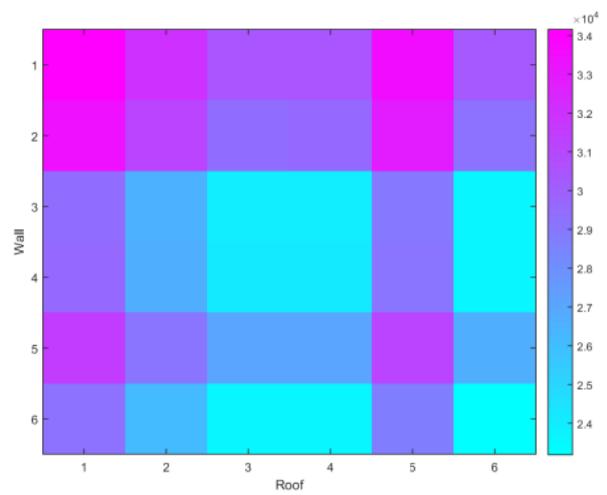
Nel grafico a scacchiera di Figura 32 ogni casella rappresenta i gradi ora di discomfort, tramite una colorazione uniforme che corrisponde ad un valore di gradi ora riportato sulla colormap. L'analisi dei risultati viene fatta per i 3 livelli di comfort definiti in precedenza. Dal confronto tra i 3 grafici emerge chiaramente che la combinazione *paretexcopertura* produce una gerarchia di prestazioni equivalente tra *CTI* e *CTII*. A conferma dei risultati precedenti le combinazioni di pareti e copertura maggiormente isolate sono le più performanti infatti determinano le soluzioni

con i gradi ora più bassi; al contrario le combinazioni con poco isolamento sono le meno performanti. Il grafico mostra con chiarezza come le soluzioni di involucro con un alto livello di sfasamento ma con bassa trasmittanza termica (CVE05 e COS05) siano totalmente sconsigliabili, in quanto comportano un elevato livello di discomfort, simile a quelli che si hanno con le soluzioni meno performanti (CVE01 e COS01).

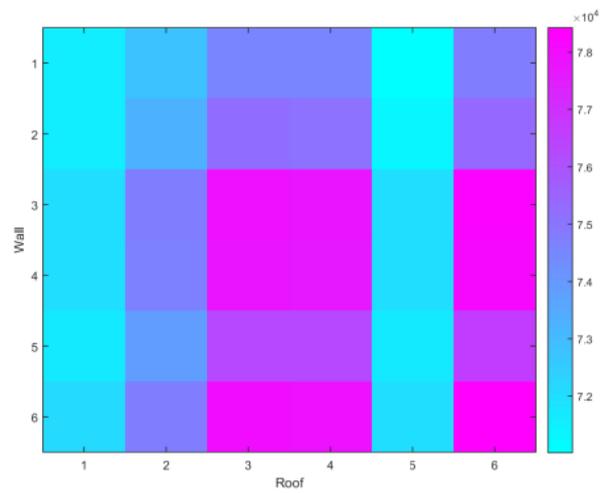
Analogamente a quanto osservato sui boxplots, per la *CTIII* si assiste ad una inversione della performance termica associata a ciascuna variabile. La matrice dimostra come un involucro ben isolato determina un peggioramento dello stato di fatto; questo risultato è dovuto al fatto che si tratta di edificio senza impianto per cui l'isolamento non aiuta nel mantenimento di una temperatura interna di comfort per l'uomo (che è sensibilmente più alta del valore della temperatura media annua esterna). Al contrario la caratteristica dello sfasamento risulta efficace in estate per evitare il surriscaldamento interno degli ambienti.



CTI_o032gHPsOFy13



CTII_o032gHPsOFy13



CTIII_o032gHPsOFy13

Figura 32 - Analisi dell'influenza delle variabili parete e copertura nei tre livelli di comfort

4.2.2. Analisi del miglioramento termico

Nel capitolo precedente gli scenari sono stati valutati utilizzando solamente il parametro del livello di discomfort (DL) calcolato come il numero dei gradi ora in eccesso o in difetto rispetto agli intervalli di temperatura ideali definiti per i 3 livelli di comfort termico. Tale valutazione non fornisce però un'indicazione su quanto sia il miglioramento del comportamento termico legato al singolo scenario.

Di seguito viene quindi condotta una seconda analisi prendendo in considerazione l'indicatore del miglioramento termico, allo scopo di confrontare i risultati delle simulazioni rispetto ad uno scenario standard di riferimento, costituito da un ambiente in costante equilibrio termico con l'esterno, non soggetto ad irraggiamento solare o al vento.

I dati utilizzati sono i livelli di discomfort di ogni scenario, suddivisi per anno e per intervallo di comfort termico e i corrispondenti livelli di discomfort dello scenario di riferimento (DL_0) riportati nella Tabella 11.

Per ogni scenario è stato calcolato il Miglioramento Termico (MT) espresso in percentuale, per i 3 intervalli di comfort termico. I risultati completi di tale confronto sono riportati nell'Allegato C, di cui se ne riporta un breve estratto in Tabella 14.

Le celle del miglioramento termico percentuale sono colorate, per facilitarne la lettura, secondo una scala di colori graduata in cui al colore verde corrisponde il miglioramento termico massimo e al colore rosso il valore minimo.

La Tabella 15 riporta i valori massimi e minimi risultanti da questa analisi, In particolare, il miglioramento termico massimo è pari al 51% e si ha per lo scenario *w06r06o032gHPsON* (*muro performante, copertura performante, orientamento 32°N, finestre performanti, schermature solari presenti*), riferita al livello di comfort CTI e per l'anno 2013. Il miglioramento termico minimo invece è uguale a -3.4% e corrisponde allo stesso scenario *w06r06o032gHPsON*, riferita al livello di comfort CTIII, per l'anno 2007. Questo risultato indica che lo scenario produce addirittura un peggioramento del livello di comfort percepito dall'uomo rispetto all'esterno.

I risultati dell'analisi del miglioramento termico confermano quelli ottenuti nell'analisi del discomfort termico. I valori più alti di miglioramento termico sono infatti relativi ai 2 intervalli di

comfort CTI e CTII, mentre per la CTIII sono molto più ridotti arrivando addirittura ad essere negativi. Tali valori mostrano che nonostante l'edificio venga adeguatamente progettato non risulterà mai idoneo per il comfort dell'uomo in assenza di impianti di climatizzazione.

Tabella 14 - Calcolo del miglioramento termico per tutti gli scenari

scenari	CTI				CTII				CTIII			
	y07		y13		y07		y13		y07		y13	
	[dH]	%	[dH]	%	[dH]	%	[dH]	%	[dH]	%	[dH]	%
w01r01o032gHPsON	29403	30.3%	31766	30.7%	42885	21.5%	46026	23.4%	76267	2.5%	75518	4.1%
w01r01o032gHPsOF	31864	24.5%	34157	25.5%	46494	14.9%	49662	17.4%	72217	7.7%	71537	9.1%
w01r01o032gLPsON	29660	29.7%	32215	29.8%	43263	20.8%	46626	22.4%	76075	2.7%	75214	4.5%
w01r01o032gLPsOF	32188	23.7%	34663	24.4%	46914	14.2%	50306	16.3%	72059	7.9%	71235	9.5%
w01r01o122gHPsON	30123	28.6%	32467	29.2%	43552	20.3%	46704	22.3%	76126	2.7%	75395	4.2%
w01r01o122gHPsOF	31591	25.1%	33921	26.1%	45816	16.2%	49043	18.4%	73175	6.5%	72448	8.0%
w01r01o122gLPsON	30331	28.1%	32869	28.3%	43855	19.8%	47237	21.4%	75993	2.9%	75147	4.6%

Tabella 15 - Riepilogo dei miglioramenti termici massimi e minimi per tutti gli scenari

	CTI		CTII		CTIII	
	y 07	y 13	y 07	y 13	y 07	y 13
MT max	50.8%	51.0%	42.0%	43.2%	11.5%	13.0%
MT min	23.4%	24.0%	12.3%	14.7%	-3.4%	-2.3%

4.3. Analisi economica

La stima economica delle varie opzioni di intervento, correlata con i loro effetti in termini prestazionali, è essenziale per l'individuazione dell'incidenza di una singola variabile dal punto di vista del rapporto costo/prestazione. Questa correlazione permette di selezionare fra le soluzioni tecnicamente possibili il tipo di intervento più appropriato da eseguire, in relazione al criterio di scelta adottato. Non esiste infatti una soluzione migliore in assoluto, ma possono risultare preferibili soluzioni diverse, a seconda che sia richiesto il rispetto di un determinato budget di spesa o il raggiungimento di un livello prestazionale con il minimo costo.

Se la precedente analisi del discomfort termico (vedi Paragrafo 4.2.1) consente di quantificare il comportamento termico ottenibile applicando una specifica strategia di riqualificazione, l'analisi economica descritta di seguito costituisce uno strumento utile di valutazione di ciascuna variabile sotto il profilo costi/benefici.

L'analisi dei risultati viene fatta per due dei tre livelli di comfort definiti in precedenza, rispettivamente *CTI* e *CTIII* (vedi Paragrafo 3.4.1.1). Si è ritenuto opportuno semplificare l'analisi escludendo il livello di comfort *CTII* in quanto, come emerge dalle analisi precedenti, presenta risultati simili a quelli di *CTI*.

Inoltre, sono state escluse dalla presente analisi economica le 2 variabili esterne, che rappresentano le temperature esterne nell'anno 2007 e nel 2013 e le variabili legate all'orientamento; si tratta infatti di variabili influenti sul comportamento termico dell'edificio ma che in fase di progettazione non rappresentano un costo per l'azienda.

In questa sezione vengono quindi discussi i risultati delle 144 simulazioni, ottenute combinando tra loro le 16 variabili - 6 pareti, 6 coperture, 2 chiusure trasparenti, 2 schermature solari - selezionando i risultati delle simulazioni per l'anno 2013 e scegliendo l'orientamento migliore per ciascun livello di comfort (o212 per la *CTI* e o302 per a *CTIII*).

I risultati di ciascuna simulazione sono riportati nei grafici a dispersione sottostanti, suddivisi per categorie di variabile per semplificarne la lettura. Ciascun grafico a dispersione confronta coppie di valori: sull'asse X sono riportati i costi annui di ciascuno scenario mentre sull'asse Y sono riportati i corrispondenti gradi ora (dh) di discomfort. In particolare il costo annuo degli scenari è stato ottenuto sommando il costo annuo attualizzato delle singole variabili che lo compongono, come determinato nel Paragrafo 3.2.2.

Per ciascuna variabile il grafico di dispersione può essere utile per visualizzare il grado di correlazione (cioè di dipendenza lineare) tra il costo e le prestazioni. Un grafico a dispersione può suggerire vari tipi di correlazione: positive, negative o nulle.

Se si analizzano i grafici a dispersione delle variabili *CVE* e *COS* nell'ambito della *CTI* (Figura 33 e Figura 34) è possibile osservare una disposizione dei punti secondo una linea ad indicare una correlazione negativa tra gli aspetti energetici ed economici: tanto più una soluzione è prestazionale, maggiori sono i benefici termici, ma in genere il suo costo iniziale è più elevato.

Sia nel grafico della variabile CVE che per COS esistono dei punti che si discostano dalla media della distribuzione, cosiddetti *outlier*. Tali punti corrispondono nella maggior parte dei casi alle variabili CVE05 e COS05. Questo indica che tali soluzioni comportano dei costi maggiori di altre soluzioni a parità di comportamento termico ottenuto.

Se si analizza il grafico della variabile delle superfici trasparenti (Figura 35) è possibile notare come vi sia una distribuzione molto simile dei punti per le due variabili, superfici ad alte performance (HP) e a basse performance (LP), a conferma della ridotta incidenza di questa variabile. Tuttavia, è possibile notare come la soluzione HP comporti un considerevole beneficio termico a fronte di un piccolo aumento dei costi.

Infine, molto significativo è il grafico per la variabile "schermature solari" (Figura 36). In questo caso sono presenti due nuvole di dati nettamente separati corrispondente alle due possibili configurazioni: ON (schermatura presente) e OF (schermatura assente), Il grafico indica come la presenza di schermatura comporti un leggero miglioramento termico a fronte però di un forte aumento dei costi. Tale variabile è molto influente e in tutti i grafici la variabile della schermatura comporta l'anomala distribuzione dei risultati in due nuvole di dati.

I risultati sono molto diversi nell'ambito della *CTIII*. Osservando il grafico di Figura 37 delle pareti verticali, le variabili che garantiscono le migliori performance termiche sono le soluzioni CVE01 e CVE05, a conferma di quanto precedentemente esposto nel Paragrafo 4.2.1. Nel caso di locali non climatizzati, in cui la temperatura interna è inferiore a quella di comfort umano, sono preferibili le strategie che aumentano lo sfasamento termico dell'involucro piuttosto di quelle che ne aumentano la trasmittanza termica.

La soluzione CVE01 oltre a generare il maggior beneficio termico è anche la più economica.

Anche per quanto riguarda le variabili di copertura risultano economiche ed efficaci quelle con la maggiore trasmittanza, ovvero le soluzioni COS01 e COS02. In questo grafico (Figura 38) si osserva inoltre una correlazione positiva, in cui le soluzioni meno performanti sono le più costose e viceversa.

Sempre nell'ambito della *CTIII*, le variabili della "superficie trasparente" rivestono poca importanza, mentre significative e molto incidenti sono le schermature solari. Dai risultati emerge infatti come sia preferibile l'assenza di sistemi di schermatura solare, sia da un punto di vista termico che economico, a differenza di quanto avveniva per il *CTI*.

I dati ottenuti dall'analisi del miglioramento termico condotta nel Paragrafo 4.2.2 sono stati infine combinati ai costi di ciascuno scenario per valutare ogni intervento sotto il profilo costi/prestazioni.

Il grafico di Figura 41 illustra graficamente questi risultati; in particolare sull'asse delle ascisse sono riportati i costi così come ricavati dalla stima economica (Paragrafo 3.2.2), mentre su quello delle ordinate sono restituite le percentuali di miglioramento termico.

In questo grafico sono stati considerati i dati derivanti dai 576 scenari ottenuti combinando tra loro: le 6 variabili di pareti, le 6 di copertura, i 4 diversi orientamenti, le 2 chiusure trasparenti e le 2 configurazioni di schermature solari. Per quanto riguarda le 2 variabili esterne sono stati considerati i soli risultati delle simulazioni per l'anno 2013, escludendo quelli del 2007. Come si può vedere dalla Tabella 15 il miglioramento termico è indipendente dall'anno, infatti è stato calcolato che la differenza di miglioramento termico al variare dell'anno di riferimento è minima, dell'ordine del 3-4%.

L'analisi dei risultati viene fatta per tutti i tre livelli di comfort definiti in precedenza e per ognuno il grafico consente di quantificare il miglioramento termico percentuale a fronte di una determinata spesa. Sia per quanto riguarda la CTI e la CTII a fronte di un maggior investimento economico, gli scenari ipotizzati consentono di ottenere un maggior beneficio termico, mentre analizzando i risultati per la CTIII emerge come certi scenari siano persino peggiorativi rispetto alla "situazione base", di un ambiente in costante equilibrio termico con l'esterno.

Questa analisi conferma quanto osservato in precedenza: per quanto riguarda il benessere termico del vino gli interventi proposti migliorano notevolmente il comportamento termico dell'edificio senza rendere necessaria l'installazione di impianti di climatizzazione, mentre per quanto riguarda il benessere umano, la cui temperatura di comfort è molto più alta delle temperature medie esterne, nessun intervento si rivela migliorativo senza l'inserimento di un impianto di climatizzazione.

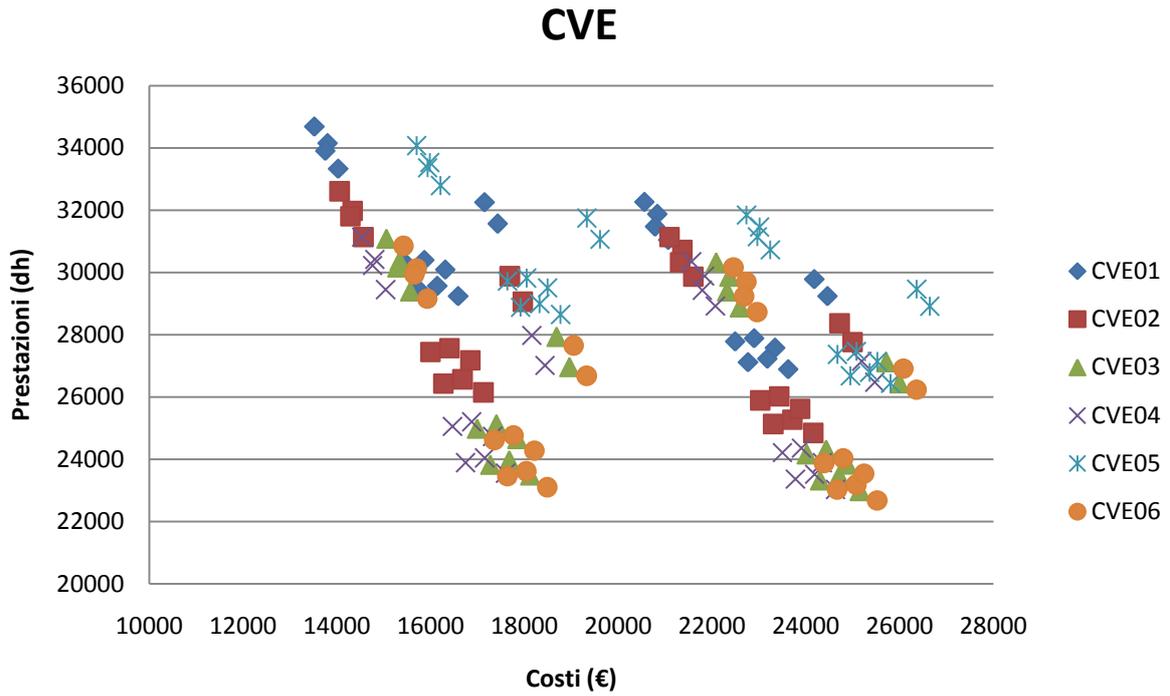


Figura 33 - Analisi dell'influenza della variabile parete (CVE) per il livello di comfort I

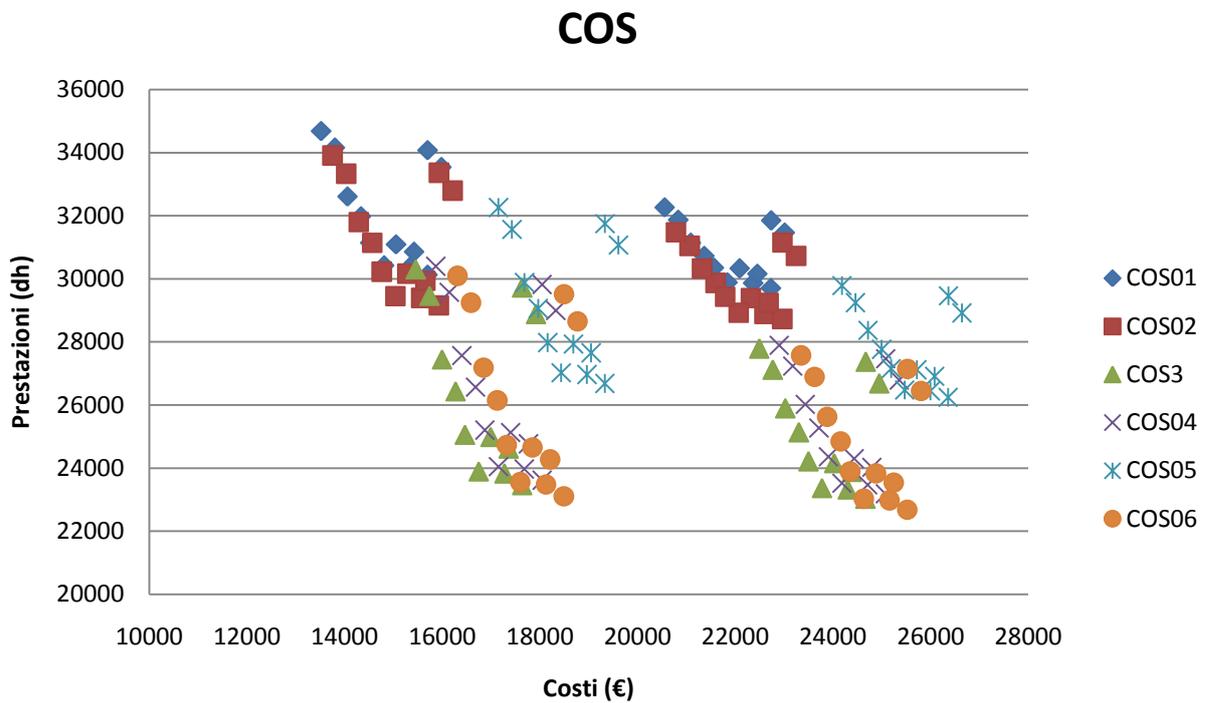


Figura 34 - Analisi dell'influenza della variabile copertura (COS) per il livello di comfort I

SUPERFICI TRASPARENTI

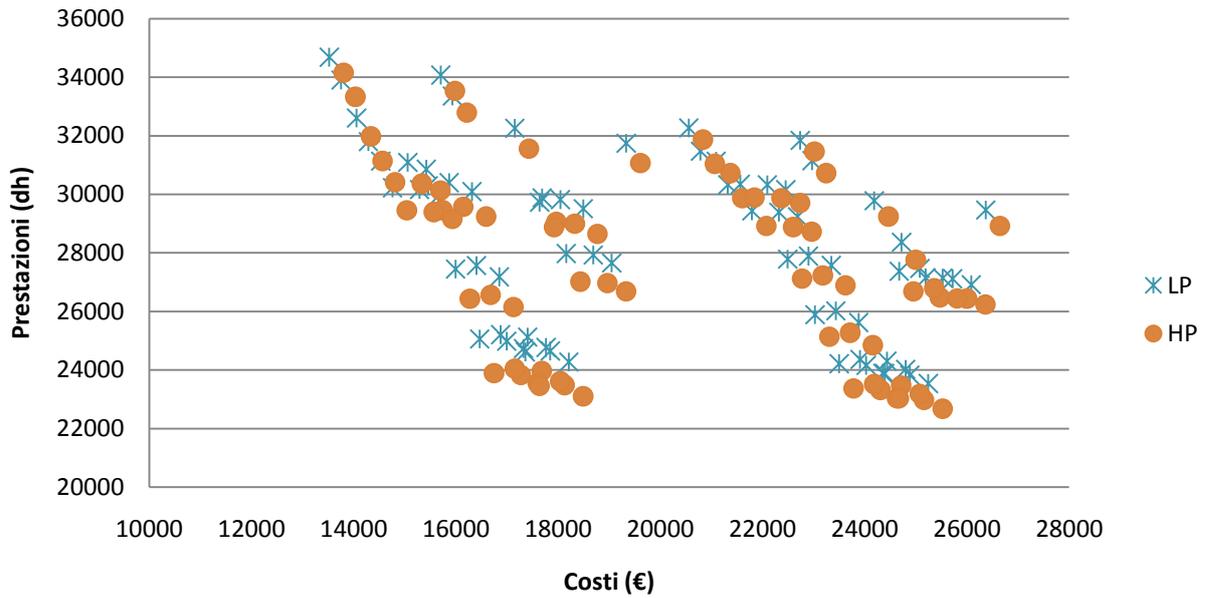


Figura 35 - Analisi dell'influenza della variabile superfici trasparenti per il livello di comfort I

SCHERMATURE SOLARI

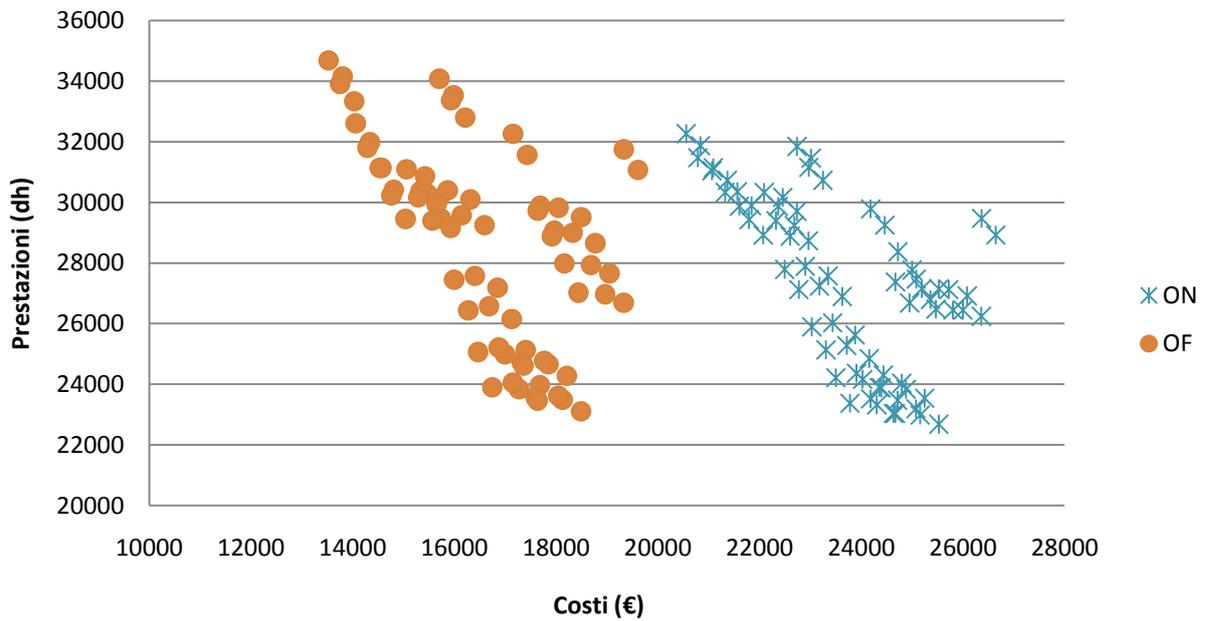


Figura 36 - Analisi dell'influenza della variabile schermature solari per il livello di comfort I

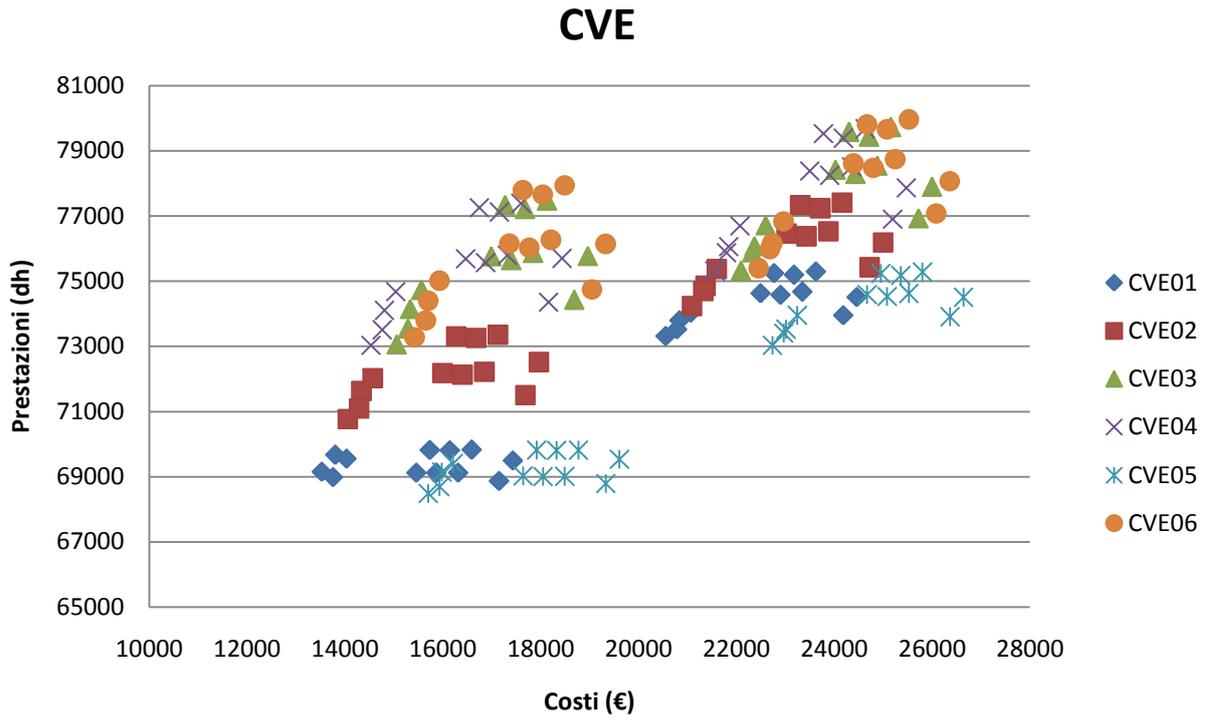


Figura 37 - Analisi dell'influenza della variabile parete (CVE) per il livello di comfort III

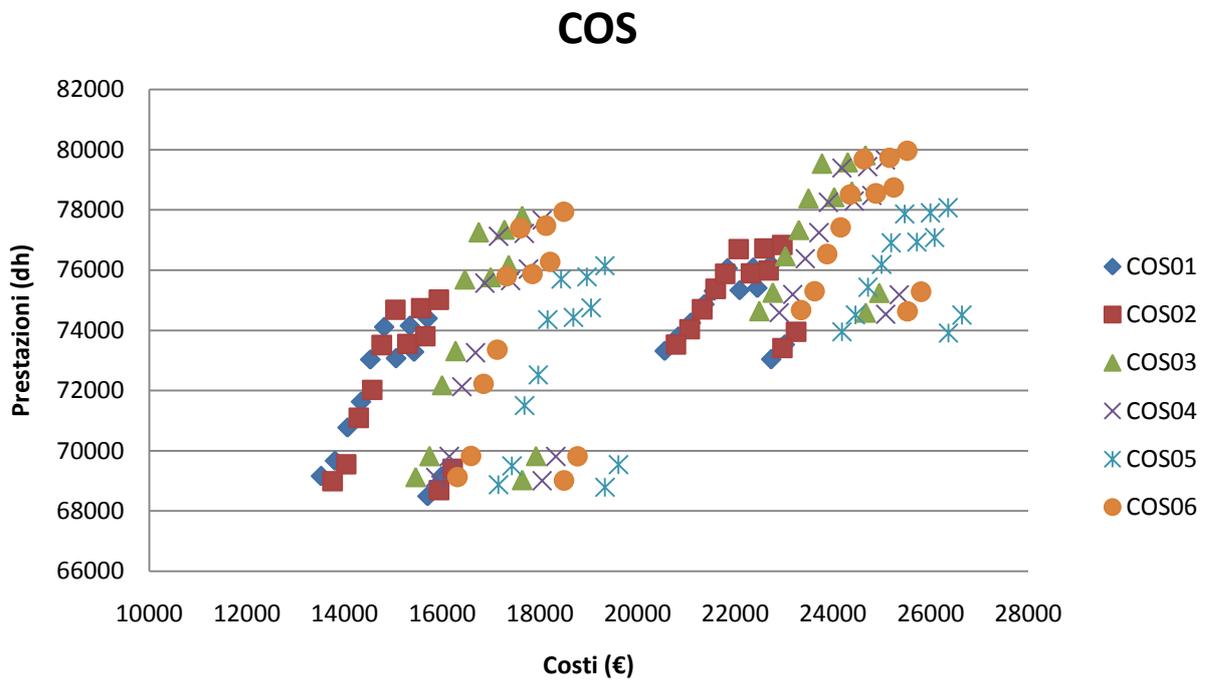


Figura 38- Analisi dell'influenza della variabile copertura (COS) per il livello di comfort III

SUPERFICI TRASPARENTI

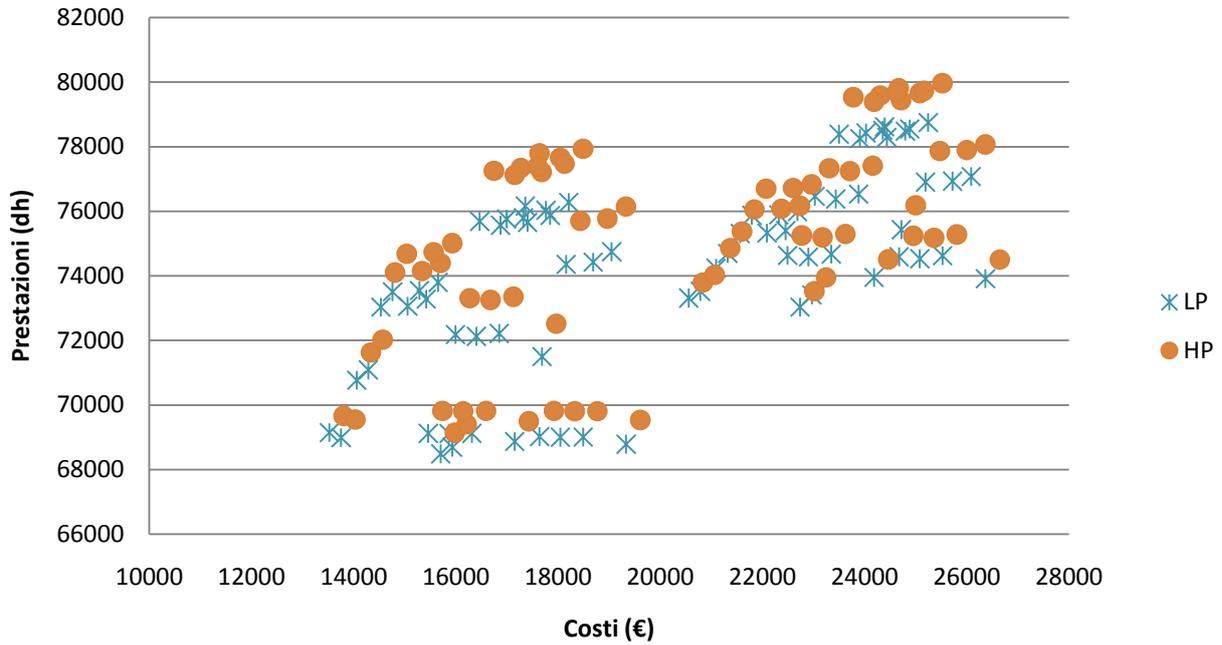


Figura 39 - Analisi dell'influenza della variabile superfici trasparenti per il livello di comfort III

SCHERMATURE SOLARI

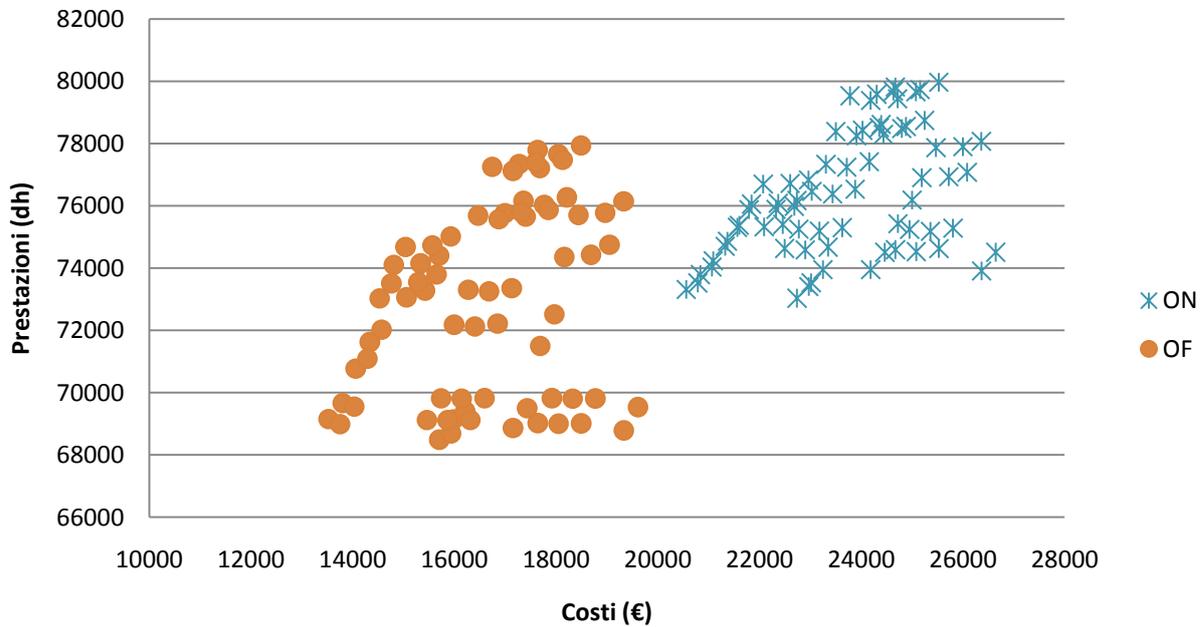


Figura 40 - Analisi dell'influenza della variabile schermature solari per il livello di comfort III

COSTO/MIGLIORAMENTO

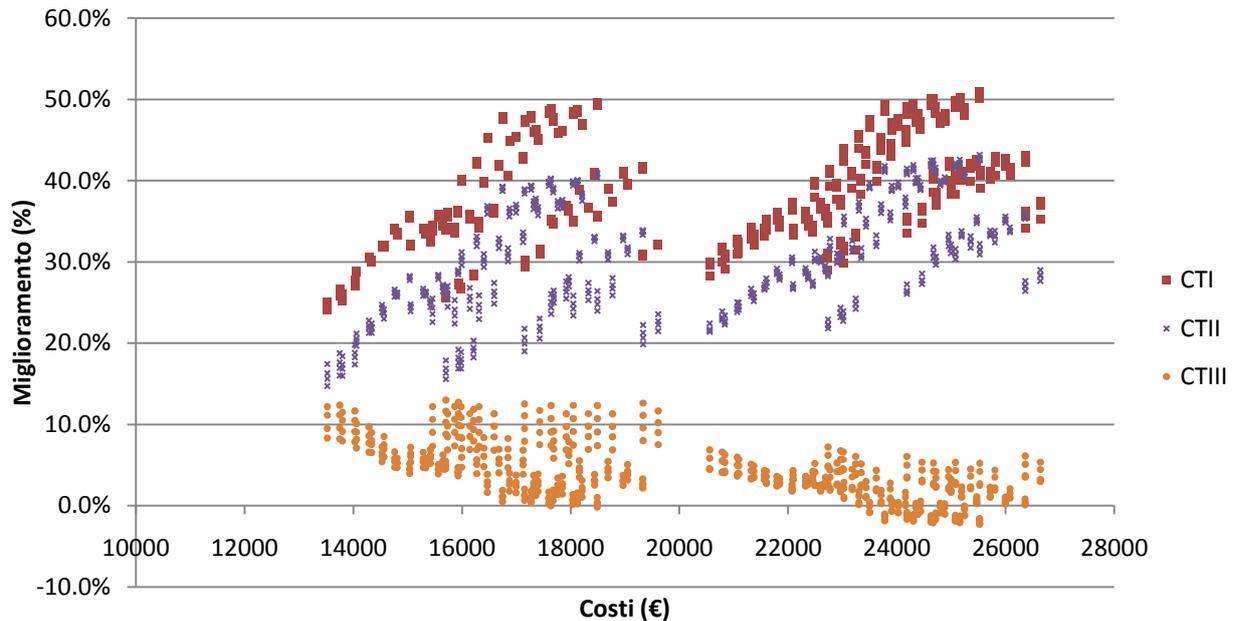


Figura 41 - Analisi costo/miglioramento per tutti gli scenari di intervento

4.4. Discussione dei risultati

L'analisi del discomfort complessivo (Paragrafo 4.2.1) quantifica il Livello di Discomfort nell'edificio per ogni singola variabile.

Ai fini del benessere del vino, la variabile che in assoluto ha la maggiore influenza è la copertura, seguita dalle pareti verticali. In particolare per ciascuna variabile sono le soluzioni col maggiore isolamento termico (CVE06 e COS06) a determinare la massima riduzione del Livello di Discomfort. Le altre variabili, orientamento e chiusure trasparenti, hanno tutte poca influenza, mentre più incisiva è invece la presenza della schermatura solare, che sia per la *CTI* che per la *CTII*, determina una riduzione del Livello di Discomfort del 7%.

Questo risultato probabilmente è dovuto alla geometria del caso studio, la copertura è infatti la superficie più estesa esposta alla radiazione solare, e alle specifiche temperature di comfort richieste per la conservazione del vino. Le temperature ideali sono infatti prossime alla temperatura media annua, per cui l'isolamento termico è funzionale al mantenimento delle temperature all'interno dei locali.

I Livelli di Discomfort di ogni singola variabile sono molto diversi prendendo a riferimento l'intervallo di comfort per le persone (*CTIII*) invece del vino. In questo caso la variabile più influente è quella delle pareti verticali, seguita dalla copertura. In entrambe le variabili, le soluzioni preferibili sono quelle con l'inerzia termica più alta (*CVE05* e *COS05*). Orientamento e chiusure trasparenti hanno sempre scarsa influenza mentre più rilevante sono le schermature solari; in questo caso è preferibile l'assenza di sistemi di schermatura solare, a differenza di quanto avveniva per il *CTI* e il *CTII*.

In generale i Livelli di Discomfort cambiano notevolmente in relazione alle temperature esterne anche se la gerarchia tra le variabili non cambia: una variabile continua ad essere la più incidente indipendentemente dall'anno.

L'analisi del miglioramento termico, condotta nel Paragrafo Analisi del miglioramento termico 4.2.2 consente invece di quantificare il miglioramento del comportamento termico dell'edificio per ogni scenario di intervento, rispetto ad uno scenario preso a riferimento.

I risultati confermano quelli ottenuti in precedenza. Nello specifico sono le soluzioni di involucro col più alto isolamento termico e più performanti a consentire il maggior miglioramento termico, pari al 51% per la *CTI* e del 43.2% per la *CTII*. Al contrario per la *CTIII* il miglioramento termico massimo che si ottiene, pari al 13.0%, si raggiunge con soluzioni di involucro ad alta inerzia e basso isolamento termico.

Il comportamento negativo rispetto al benessere dell'uomo delle soluzioni a elevato isolamento termico pare essere dovuto al fatto che l'isolamento limita gli apporti solari e determina il mantenimento di una temperatura prossima a quella esterna, che non corrisponde all'intervallo di benessere.

Dall'analisi dei risultati emerge come le soluzioni di involucro più performanti siano quelle che consentono di ottenere il miglior comportamento termico del locale ai fini del benessere del vino. Al contrario per il benessere dell'uomo nessuna delle soluzioni progettuali proposte comporta dei significativi effetti positivi.

Nell'analisi economica descritta nel Paragrafo 4.3 viene messa in luce l'influenza della singola variabile sotto il profilo costi/benefici. Per ciascuna variabile viene analizzata la correlazione tra il costo e le prestazioni.

Nell'ambito della *CTI* si osserva una correlazione negativa tra i costi e le prestazioni, che indica come le soluzioni più prestazionali e costose generano i maggiori benefici termici, mentre nell'ambito della *CTIII* i rapporti costi/prestazioni sono molto diversi. Qui infatti si osserva una correlazione positiva tra costi e prestazioni, in quanto il discomfort termico è minore con le soluzioni meno prestazionali e quindi più economiche. Le soluzioni CVE01 per le pareti e COS01-COS02 per la copertura oltre a generare il maggior beneficio termico, sono quelle con il minor isolamento e le più economiche.

Infine, sempre nel Paragrafo 4.3 si arriva a fare una valutazione degli scenari dal punto di vista del rapporto costo/miglioramento. I risultati confermano quanto esposto in precedenza ovvero che per il benessere del vino a fronte di un maggior investimento economico, gli scenari ipotizzati consentono di ottenere un maggior beneficio termico.

5. CONCLUSIONI

Il presente studio ha condotto alla definizione di una metodologia di valutazione delle performance termiche di locali non climatizzati, che può essere adottata per analizzare il miglioramento termico conseguito con l'applicazione di diverse variabili progettuali, riguardanti l'involucro opaco e trasparente, l'orientamento e le schermature solari.

Quando si analizzano le caratteristiche dell'involucro, la difficoltà è data dall'elevato numero di variabili che incidono sul comportamento termico dell'edificio. Uno degli aspetti di maggior rilievo della ricerca consiste nell'aver definito una metodologia semplice per la modellazione e successiva valutazione di un numero estremamente ampio di scenari, in grado di fornire informazioni circa l'influenza della singola variabile progettuale.

La ricerca è stata condotta assumendo a riferimento un caso studio di un'azienda vitivinicola e si è avvalsa di simulazioni numeriche e di campagne sperimentali di monitoraggio, i cui esiti sono stati fondamentali per la calibrazione e la validazione degli approcci modellistici impiegati.

I risultati sottolineano come una progettazione dell'edificio attenta alle particolari esigenze del processo produttivo possa notevolmente migliorare la qualità microclimatica interna dei locali, rendendo superflua l'installazione di sistemi di climatizzazione.

In primo luogo i risultati dimostrano che le variabili riguardanti le proprietà fisiche dell'involucro opaco, pareti e copertura, sono quelle che maggiormente influenzano il comportamento termico globale dell'edificio. Ai fini del benessere termico del vino, viene messa in evidenza la maggiore importanza dell'isolamento termico della copertura, in grado di determinare un miglioramento della performance termica globale dell'ordine del 25% rispetto ad un sistema di copertura non isolata.

Con specifico riferimento all'edificio di vinificazione e stoccaggio del vino assunto come caso studio e alle condizioni di comfort idonee ai processi produttivi si evidenzia come lo scenario di miglioramento del comportamento termico che è risultato più efficace sia quello che prevede le soluzioni di copertura e di parete verticali più performanti (con minore trasmittanza termica e maggiore sfasamento), le finestrate più performanti e la presenza di schermature.

Per quanto riguarda invece il benessere umano, nessuno scenario progettuale consente di ottenere delle condizioni di comfort accettabili senza l'inserimento di un impianto di

climatizzazione, in particolare per evitare le temperature eccessivamente basse nei periodi invernali. Trattandosi di edifici produttivi, il rispetto delle condizioni di benessere per gli operatori non rappresenta un requisito cogente, ma un possibile scenario alternativo preso a riferimento per valutare la compatibilità del cambio di destinazione d'uso dei locali produttivi nel tempo, evidenziandone le principali criticità.

Un altro esito conseguito consiste nell'analisi degli aspetti economici più rilevanti, allo scopo di supportare gli operatori del settore nella scelta della soluzione migliore sotto il profilo costi/benefici. Nell'ambito della valutazione economica vengono considerati tutti i costi connessi alla realizzazione dell'intervento e ai successivi interventi di manutenzione, includendo il costo della manodopera esterna e quella interna per le lavorazioni in economia.

A tale riguardo, è stata messa a punto una procedura di comparazione integrata dei costi e dei benefici delle alternative progettuali considerate, che consente di confrontare ciascuna variabile ponendo in relazione i costi dell'intervento e il miglioramento del livello di comfort di ogni scenario dal punto di vista del rapporto costi/prestazioni termiche.

Sotto tale profilo, per garantire la qualità del vino, le soluzioni più costose e nel contempo più performanti sono quelle che determinano il maggior beneficio termico (scenario con parete CVE06, copertura COS06, chiusura trasparente HP e schermature solari presenti SS ON), mentre per il benessere dell'uomo le soluzioni che sono risultate maggiormente efficienti sotto il profilo costi/prestazioni sono risultate quelle con una buona inerzia termica ma scarsa trasmittanza termica (scenario con parete CVE05, copertura COS01, chiusura trasparente LP e schermature solari assenti SS OFF).

La metodologia proposta e validata nel presente studio rappresenta un valido strumento a supporto delle scelte più idonee sia per la progettazione di nuovi edifici che per la riqualificazione di strutture esistenti.

I principali aspetti metodologici della ricerca svolta sono stati illustrati in un articolo scientifico, pubblicato sulla rivista *Journal of Building Performance Simulation*. La pubblicazione che costituisce l'Allegato D di questa tesi, descrive la metodologia di valutazione delle prestazioni termiche di locali non climatizzati adottata nella presente ricerca. Questo lavoro propone una prima valutazione di tre variabili progettuali, analizzando gli effetti dell'applicazione in forma singola ed integrata delle variabili progettuali sul comportamento termico del caso studio.

La ricerca condotta pone le basi per ulteriori sviluppi futuri, tra i quali si ritengono di particolare importanza i seguenti:

- l'applicazione del metodo esposto per lo studio di ulteriori soluzioni progettuali, utili ad indagare altri parametri quali: il fattore di forma, l'assorbimento solare, differenti tipologie distributive;
- lo studio del comportamento igrometrico dei locali, effettuato prendendo in considerazione il parametro dell'umidità interna, di fondamentale importanza nei locali in cui il vino viene conservato in botti o in barrique;
- l'integrazione del modello con opportune modellazioni dei sistemi impiantistici, di climatizzazione e ventilazione meccanica;
- l'applicazione del metodo esposto per lo studio di altre categorie di edifici produttivi. Tra gli esiti della ricerca si evidenzia come la metodologia di valutazione possa essere seguita anche per differenti intervalli di temperatura di comfort.

BIBLIOGRAFIA

Alberti, Leon Battista. 1565. *L. Architettura Tradotta in Lingua Fiorentina Da Cosimo Bartoli* (The Architecture Translated by Cosimo Bartoli). Venezia: Francesco Franceschi Sanese.

Antonini, E., V. Zacchei and F. Dallacasa. 2012. "Simulating Solar Shading Effects in Sustainable Buildings". Transaction of MACDES.2011 Second International Congress on Built Environment and Sustainable Development /La Havana (Cuba): 3043-1 - 3043-8.

Ayuga, F. 1999."Wine processing." CIGR Handbook of Agricultural Engineering, ASAE:419- 46.

Barbaresi, A. 2014. "Modellazione Edilizia e Simulazione Energetica per le Analisi delle Prestazioni e la Progettazione Integrata delle Cantine Aziendali". Università di Bologna

Barbaresi, A., D. Torreggiani, S. Benni, and P. Tassinari. 2014."Underground Cellar Thermal Simulation: Definition of a Method for Modelling Performance Assessment Based on Experimental Calibration." Energy and Buildings 76: 363–372.

Barbaresi, A., D. Torreggiani, S. Benni, and P. Tassinari. 2015."Indoor air Temperature Monitoring: A Method Lending Support to Management and Design Tested on a Wine-Aging Room." Building and Environment 86: 203–210.

Barbaresi, A., F. De Maria, D. Torreggiani, S. Benni, and P. Tassinari. 2015. "Performance Assessment of Thermal Simulation Approaches of Wine Storage Buildings Based on Experimental Calibration". Energy and Buildings 103: 307- 316.

Bellomo, A. 2009. *Pareti Verdi* (Sistemi Ed ed.). Pozzuoli, NA:Gruppo Editoriale Simone S.p.A.

Benni, S., D. Torreggiani, A. Barbaresi, and P. Tassinari. 2013"Thermal Performance Assessment for Energy-Efficient Design of Farm Wineries." Transactions of the ASABE 56(1965): 1483–1491.

Benni, S., D. Torreggiani, V. Corzani, F. Cuttin, P. Tassinari, and S. Galassi. 2008. "Wine-Growing and Producing FarmBuildings: Meta-Design Analysis for the Definition of Spatial Layouts". 38th International symposium on agricultural engineering, Vol. 2, Opatija, HR, pp. 201–210.

Boeri, A., and E. Antonini. 2011, *Progettare Scuole Sostenibili. Criteri, Esempi e Soluzioni per l'Efficienza Energetica e la Qualità Ambientale*. Edicom Edizioni. Gorizia.

Boeri, A., and D. Longo. 2010. "Eco-Technologies for Energy Efficient Buildings in Italy". *Transactions of Eco-Architecture III – Harmonisation Between Architecture and Nature*, WIT Press: 399 - 410.

Boeri, A., and D. Longo. 2007. "Sostenibilità del Processo: il Ciclo dei Materiali Edili". *Architettura_Energia*, Edicom: 223 - 228.

Boeri, A. (a cura di). 2001. *Tecnologie per il Recupero degli Edifici Rurali. Esperienze in Emilia Romagna*. Minerva Edizioni.

Bondiac, E. 1953. *Elaboracion de Vinos. Vinificacion Moderna*. Buenos Aires: America Tecnica.

Boulton, R. B., V. L. Singleton, L. F. Bisson, and R. E. Kunkee. 1998. *Principles and Practices of Winemaking*. New York:Springer.

Chiappini, M., M.E., Menconi, and P. Borghi. 2015. *Passive Energy Optimization of Traditional Rural Buildings in Central Italy*. In *AIIA New Frontiers of Biosystems and Agricultural Engineering for Feeding the Planet*.

Di Giorgio Martini, Francesco. 1967. *Trattati di Architettura, Ingegneria E Arte Militare (Treatise on Architecture, Engineering and Art of War)*. Milano: Il Polifilo.

De Rosa, T. 1988. *Tecnologia Del Vino Tinto*. Mundi-Pren. Madrid.

De Rosis, A., A. Barbaresi, D. Torreggiani, S. Benni, and P. Tassinari. 2014. "Numerical Simulations of the Airflows in a Wine-Aging Room: A Lattice Boltzmann-Immersed Boundary Study." *Computers and Electronics in Agriculture* 109:261–270.

Eumorfopoulou, E., and K. J. Kontoleon. 2009. "Experimental Approach to the Contribution of Plant-Covered Walls to the Thermal Behaviour of Building Envelopes." *Building and Environment* 44 (5): 1024–1038.

Failla, A., G. Tomaselli, and L. Strano. 2008. "The Definition of Planning Criteria for Safe Workplaces in Wineries". In *Innovation Technology to Empower Safety, Health and Welfare in Agriculture and Agro-Food Systems*. Ragusa.

Fichera, C.R., G. Tomaselli, and S. Di Fazio.1995. "La Metaprogettazione Edilizia per l'Industria Agraria. Note di Metodo". *Rivista di Ingegneria Agraria* 18.

Heo, Y., D. J. Graziano, L. Guzowski, and R. T. Muehleisen.2014. "Evaluation of Calibration Efficacy Under Different Levels of Uncertainty." *Journal of Building Performance Simulation* 8 (3): 135–144.

Hussain, H. Alzoubi, and Al-Zoubi Amneh H. 2010. "Assessment of Building Façade Performance in Terms of Daylighting and the Associated Energy Consumption in Architectural Spaces: Vertical and Horizontal Shading Devices for Southern Exposure Facades." *Energy Conversion and Management* 51(8): 1592-99.

Jacquet, P., and C. Capdeville. 2007. *Installazioni Vinicole*. Eno-one. Reggio Emilia.

Kontoleon, K. J., and E. a. Eumorfopoulou. 2010. "The Effect of the Orientation and Proportion of a Plant-Covered Wall Layer on the Thermal Performance of a Building Zone." *Building and Environment* 45 (5): 1287–1303.

Kumar, R., and S. C. Kaushik. 2005. "Performance Evaluation of Green Roof and Shading for Thermal Protection of Buildings." *Building and Environment* 40 (11): 1505- 11.

Kusuda, T., and P. R. Achenbach. 1965. "Earth Temperature and Thermal Diffusivity at Selected Stations in the United States." *ASHRAE Transactions*71: 61–75.

Marescalchi, C. 1965. *Manuale dell'enologo (Winemaking Manual)*.Casale Monferrato: Fratelli Marescalchi.

Martín Ocaña, Silvia, and Ignacio Cañas Guerrero. 2005. "Comparison of Hygro-Thermal Conditions in Underground Wine Cellars from a Spanish Area." *Building and Environment* 40 (10) (October): 1384–1394. doi:10.1016/j.buildenv.2004.11.005.

Martín Ocaña, Silvia, and Ignacio Cañas Guerrero. 2006. "Comparison of Analytical and on Site Temperature Results on Spanish Traditional Wine Cellars." *Applied Thermal Engineering*26 (7) (May): 700–708. doi:10.1016/j.applthermaleng.2005.09.004.

Mazarrón, Fernando R., Jaime Cid-Falceto, and Ignacio Cañas Guerrero. 2012a. "An assessment of Using Ground Thermal Inertia as Passive Thermal Technique in the Wine

Industry around the World." *Applied Thermal Engineering* 33-34 (February): 54–61. doi:10.1016/j.applthermaleng.2011.09.010.

Mazarrón, F. R., J. Cid-Falceto, and I. Cañas Guerrero. 2012. "Ground Thermal Inertia for Energy Efficient Building Design: A Case Study on Food Industry." *Energies* 5 (12):227–242.

NREL. 2015. Open Studio 1.4. <https://www.openstudio.net/>.

Papadopoulos, A. M. 2005. "State of the Art in Thermal Insulation Materials and Aims for Future Developments." *Energy and Buildings* 37 (1): 77- 86.

Perini, K., M. Ottel , E. M. Haas, and R. Raiteri. 2013. "Vertical Greening Systems, a Process Tree for Green Facades and Living Walls". *Urban Ecosystems* 16 (2): 265- 77.

Porras-Amores, C., F. Mazarrón, and I. Cañas Guerrero. 2014. "Study of the Vertical Distribution of Air Temperature in Warehouses." *Energies* 7 (3): 1193–1206.

Prezziario del Comune di Imola - Listino A Opere edilizie, anno 2013.

Rafferty, P., M. Keane, and J. O'Donnell. 2011. "Calibrating Whole Building Energy Models: An Evidence-Based Methodology." *Energy and Buildings* 43 (9): 2356–2364.

Regione Toscana. 2010. Progetto VA.CE.V.OR. Technical Report, Pisa.

Ruiz De Adana, M., L. M. Lopez, and J. M. Sala. 2005. "A Fickian Model for Calculating Wine Losses From Oak Casks Depending on Conditions in Ageing Facilities." *Applied Thermal Engineering* 25 (5–6): 709–718.

SEPSA. 1952. *Guida Pratica de Vinificacion Moderna*. 4th ed. Barcelona, Spain: Ediciones Sociedad Enol gica del Penedes.

Stec, W., and A.H.C. van Paassen. 2003. "Defining the Performance of the Double Skin Façade with the Use of the Simulation Model". *Building Simulation*.

Stec, W.I., A.H.C. van Paassen, and A. Maziarz. 2005. "Modelling the double skin façade with plants". *Energy and Buildings* 37: 419- 427.

Susorova, I., M. Angulo, P. Bahrami, and Brent. Stephens. 2013. "A Model of Vegetated Exterior Facades for Evaluation of Wall Thermal Performance." *Building and Environment* 67:1–13.

Tassinari, P. 2007. "Analisi Del Sistema Insediativo Rurale: Approfondimenti Metodologici E Primi Risultati." *Architettura Del Paesaggio* 16.

Tassinari, P., S. Benni, D. Torreggiani, E. Dall'Ara, and V. Corzani. 2010. "Thinking (and Living) Everyday Wine Farm Landscape as Hortus." In *LIVING LANDSCAPE The European Landscape Convention in Research Perspective*.

Tassinari, P., E. Carfagna, D. Torreggiani, S. Benni, and M. Zagoraiou. 2010. "The Study of Changes in the Rural Built Environment: Focus on Calibration and Improvement of an Areal Sampling Approach." *Biosystems Engineering* 105 (4) (April): 486–494. doi:10.1016/j.biosystemseng.2010.01.008.

Tassinari, P., D. Torreggiani, S. Benni, and E. Dall'Ara. 2013. "Landscape Quality in Farmyard Design: An Approach for Italian Wine Farms." *Landscape Research* 38 (6):729–749.

Tatano, V. (a cura di). 2008. *Verde: naturalizzare in verticale*. Maggioli, Rimini.

Tinti, F., A. Barbaresi, S. Benni, D. Torreggiani, R. Bruno, P. Tassinari. 2015. "Experimental analysis of thermal interaction between wine cellar and underground. " *Energy and Buildings* 104: 275– 286.

Tinti, F., A. Barbaresi, S. Benni, D. Torreggiani, R. Bruno, and P. Tassinari. 2014. "Experimental Analysis of Shallow Underground Temperature for the Assessment of Energy Efficiency Potential of Underground Wine Cellars." *Energy and Buildings* 80: 451–460.

Torreggiani, D., S. Benni, V. Corzani, P. Tassinari, and S. Galassi. 2011. "A Meta-Design Approach to Agroindustrial Buildings: A Case Study for Typical Italian Wine Productions." *Land Use Policy* 28 (1) (January): 11–18. doi:10.1016/j.landusepol.2010.04.001.

Torreggiani, D., S. Benni, A. I. Garcia, F. Ayuga, and P. Tassinari. 2014. "Farm Winery Layout Design: Size Analysis of Base Spatial Units in an Italian Study Area." *Transactions of the ASABE* 57 (2): 625–633.

Troost, G. 1953. *Die Technologie Des Weines*. Stuttgart: Eugen Ulmer.

U.S. Department of Energy. 2013. Energy Plus 8.0.

Vogt, E. 1971. Fabricacion de vinos (Winemaking). Zaragoza: Editorial Acribia.

Wong, N. H., A. Y. K. Tan, P. Y. Tan, and N. C. Wong. 2009. "Energy simulation of vertical greenery systems". *Energy and Buildings* 41:1401- 1408.

Yao, J., D. H. C. Chow, R.-Y. Zheng, and C.-W. Yan. 2015. "Occupants' Impact on Indoor Thermal Comfort: A Co-Simulation Study on Stochastic Control of Solar Shades." *Journal of Building Performance Simulation*. 1–16.

ALLEGATI

Allegato A_ Stratigrafie delle pareti verticali e delle coperture ipotizzate negli scenari

CVE01

$$U = 2.60 \text{ W/m}^2\text{K} - \Phi = 3.91 \text{ h}$$

Strato	Spessore	Conduktività termica	Resistenza Termica	Calore specifico	Densità
Unità di misura	m	λ [W/m ² K]	R [m ² K/W]	Cp [kgJ/kgK]	ρ [kg/m ³]
1. Resistenza sup. interna			0.13		
2. Intonaco	0.015	0.7		900	1400
3. Mattone pieno	0.12	0.7		830	1600
4. Intonaco	0.015	0.7		900	1400
5. Resistenza sup. esterna			0.04		
			0.15		

CVE02

$$U = 1.26 \text{ W/m}^2\text{K} - \Phi = 9.69 \text{ h}$$

Strato	Spessore	Conduktività termica	Resistenza Termica	Calore specifico	Densità
Unità di misura	m	λ [W/m ² K]	R [m ² K/W]	Cp [kgJ/kgK]	ρ [kg/m ³]
1. Resistenza sup. interna			0.13		
2. Intonaco	0.015	0.7		900	1400
3. Calcestruzzo alleggerito con argilla espansa	0.26	0.45		1100	1100
4. Intonaco	0.015	0.7		900	1400
5. Resistenza sup. esterna			0.04		
			0.29		

CVE03U= 0.28 W/m²K - Φ= 12.33 h

Strato	Spessore	Conduttività termica	Resistenza Termica	Calore specifico	Densità
Unità di misura	m	λ [W/m ² K]	R [m ² K/W]	Cp [kJ/kgK]	ρ [kg/m ³]
1. Resistenza sup. interna			0.13		
2. Pannello in xlam	0.22	0.22		1650	500
3. Strato isolante in EPS estruso pesante	0.08	0.035		1350	120
4. Intonaco	0.015	0.7		900	1400
5. Resistenza sup. esterna			0.04		
0.315					

CVE04U= 0.31 W/m²K - Φ= 5.18 h

Strato	Spessore	Conduttività termica	Resistenza Termica	Calore specifico	Densità
Unità di misura	m	λ [W/m ² K]	R [m ² K/W]	Cp [kJ/kgK]	ρ [kg/m ³]
1. Resistenza sup. interna			0.13		
2. Intonaco	0.015	0.7		900	1400
3. Mattone forato	0.08	0.36		830	1200
4. Strato isolante in EPS espanso in lastre	0.11	0.04		1350	20
5. Intonaco	0.015	0.7		900	1400
6. Resistenza sup. esterna			0.04		
0.22					

CVE05

$$U = 2.42 \text{ W/m}^2\text{K} - \Phi = 10.71 \text{ h}$$

Strato	Spessore	Conduktività termica	Resistenza Termica	Calore specifico	Densità
Unità di misura	m	λ [W/m ² K]	R [m ² K/W]	Cp [kgJ/kgK]	ρ [kg/m ³]
1. Resistenza sup. interna			0.13		
2. Intonaco	0.015	0.7		900	1400
3. Parete in cemento	0.36	0.18		1000	2400
4. Intonaco	0.015	0.7		900	1400
5. Resistenza sup. esterna			0.04		
			0.39		

CVE06

$$U = 0.18 \text{ W/m}^2\text{K} - \Phi = 22.00 \text{ h}$$

Strato	Spessore	Conduktività termica	Resistenza Termica	Calore specifico	Densità
Unità di misura	m	λ [W/m ² K]	R [m ² K/W]	Cp [kgJ/kgK]	ρ [kg/m ³]
1. Resistenza sup. interna			0.13		
2. Intonaco	0.015	0.7		900	1400
3. Calcestruzzo alleggerito con argilla espansa	0.26	0.45		1100	1100
4. Intonaco	0.015	0.7		900	1400
5. Paglia	0.5	0.11		1500	100
6. Resistenza sup. esterna			0.04		
			0.79		

COS01

$U = 2.01 \text{ W/m}^2\text{K} - \Phi = 4.70 \text{ h}$

Strato	Spessore	Conduktività termica	Resistenza Termica	Calore specifico	Densità
Unità di misura	m	λ [W/m ² K]	R [m ² K/W]	Cp [kJ/kgK]	ρ [kg/m ³]
1. Resistenza sup. interna			0.10		
2. Intonaco	0.015	0.7		900	1400
3. Solaio in latero-cemento	0.2	0.8		600	1000
4. Coppi in laterizio	0.03	2		1260	2700
5. Resistenza sup. esterna			0.04		
			0.245		

COS02

$U = 1.66 \text{ W/m}^2\text{K} - \Phi = 6.82 \text{ h}$

Strato	Spessore	Conduktività termica	Resistenza Termica	Calore specifico	Densità
Unità di misura	m	λ [W/m ² K]	R [m ² K/W]	Cp [kJ/kgK]	ρ [kg/m ³]
1. Resistenza sup. interna			0.10		
2. Intonaco	0.015	0.7		900	1400
3. Solaio in latero-cemento	0.25	0.8		1000	800
4. Tegole di laterizio	0.04	0.7		830	1800
5. Resistenza sup. esterna			0.04		
			0.305		

COS03:U= 0.25 W/m²K - Φ= 14.97 h

Strato	Spessore	Conduttività termica	Resistenza Termica	Calore specifico	Densità
Unità di misura	m	λ [W/m ² K]	R [m ² K/W]	Cp [kJ/kgK]	ρ [kg/m ³]
1. Resistenza sup. interna			0.10		
2. Intonaco	0.015	0.7		900	1400
3. Solaio in latero-cemento	0.25	0.8		1000	800
4. Isolamento in fibra di legno	0.13	0.039		2100	160
5. Tegole di laterizio	0.04	0.7		830	1800
6. Resistenza sup. esterna			0.04		
0.435					

COS04U= 0.28 W/m²K - Φ= 7.74 h

Strato	Spessore	Conduttività termica	Resistenza Termica	Calore specifico	Densità
Unità di misura	m	λ [W/m ² K]	R [m ² K/W]	Cp [kJ/kgK]	ρ [kg/m ³]
1. Resistenza sup. interna			0.10		
2. Intonaco	0.015	0.7		900	1400
3. Solaio in latero-cemento	0.2	0.8		600	1000
4. Strato isolante in EPS espanso in lastre	0.12	0.04		1350	20
5. Coppi in laterizio	0.03	2		1260	2700
6. Resistenza sup. esterna			0.04		
0.365					

COS05

$U = 0.91 \text{ W/m}^2\text{K} - \Phi = 12.08 \text{ h}$

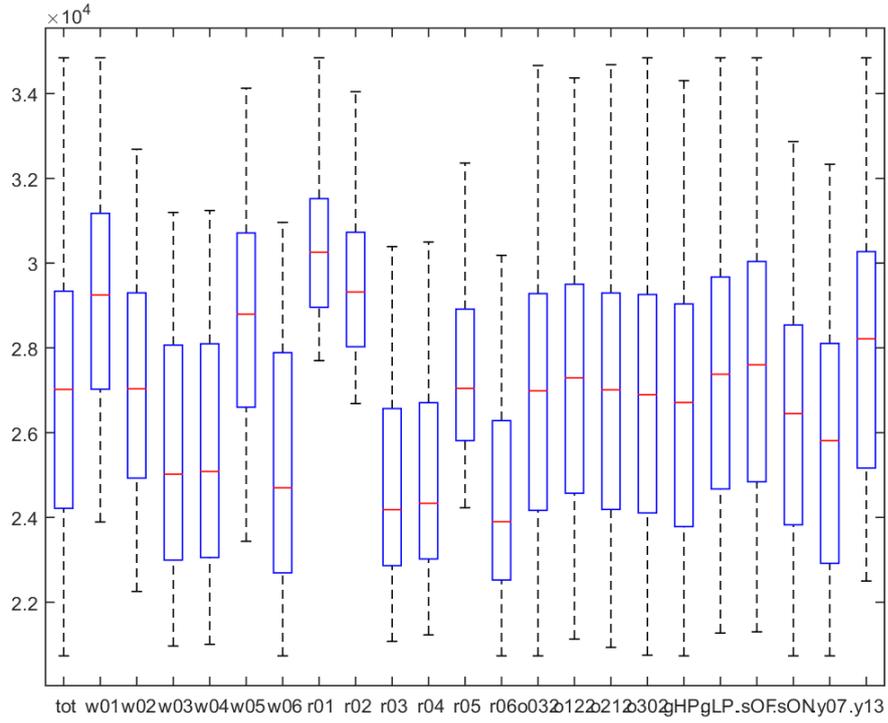
Strato	Spessore	Conduktività termica	Resistenza Termica	Calore specifico	Densità
Unità di misura	m	λ [W/m ² K]	R [m ² K/W]	Cp [kgJ/kgK]	ρ [kg/m ³]
1. Resistenza sup. interna			0.10		
2. Intonaco	0.015	0.7		900	1400
3. Solaio in legno	0.12	0.15		2500	1000
4. Tegole di laterizio	0.04	0.7		830	1800
5. Resistenza sup. esterna			0.04		
	0.175				

COS06

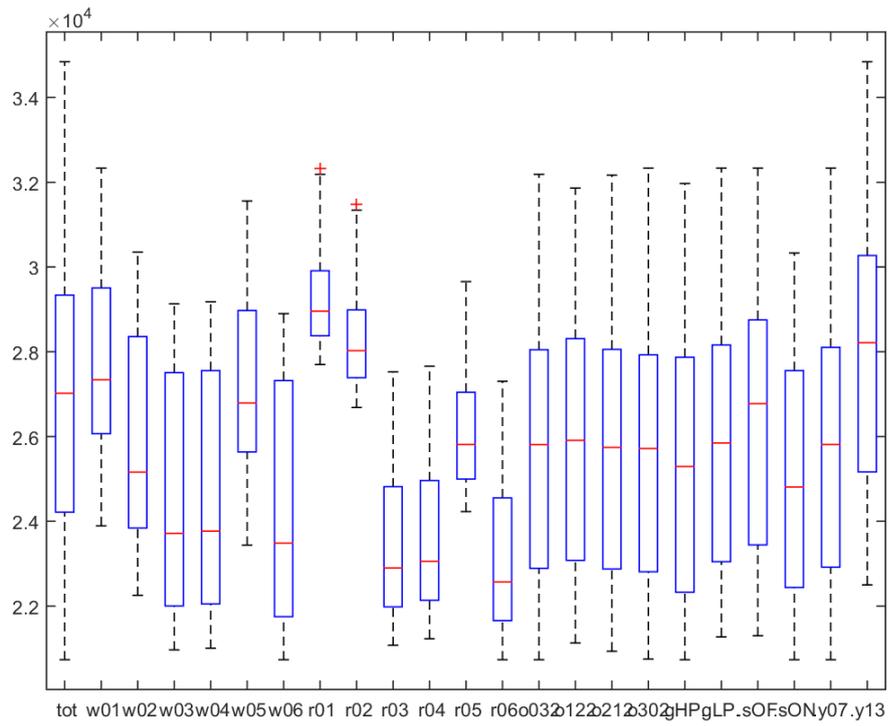
$U = 0.19 \text{ W/m}^2\text{K} - \Phi = 18.39 \text{ h}$

Strato	Spessore	Conduktività termica	Resistenza Termica	Calore specifico	Densità
Unità di misura	m	λ [W/m ² K]	R [m ² K/W]	Cp [kgJ/kgK]	ρ [kg/m ³]
1. Resistenza sup. interna			0.10		
2. Intonaco	0.015	0.7		900	1400
3. Solaio in latero-cemento	0.25	0.8		1000	800
4. Isolamento in fibra di legno	0.18	0.039		2100	160
5. Tegole di laterizio	0.04	0.7		830	1800
6. Resistenza sup. esterna			0.04		
	0.485				

Allegato B_ Tutti i grafici delle simulazioni

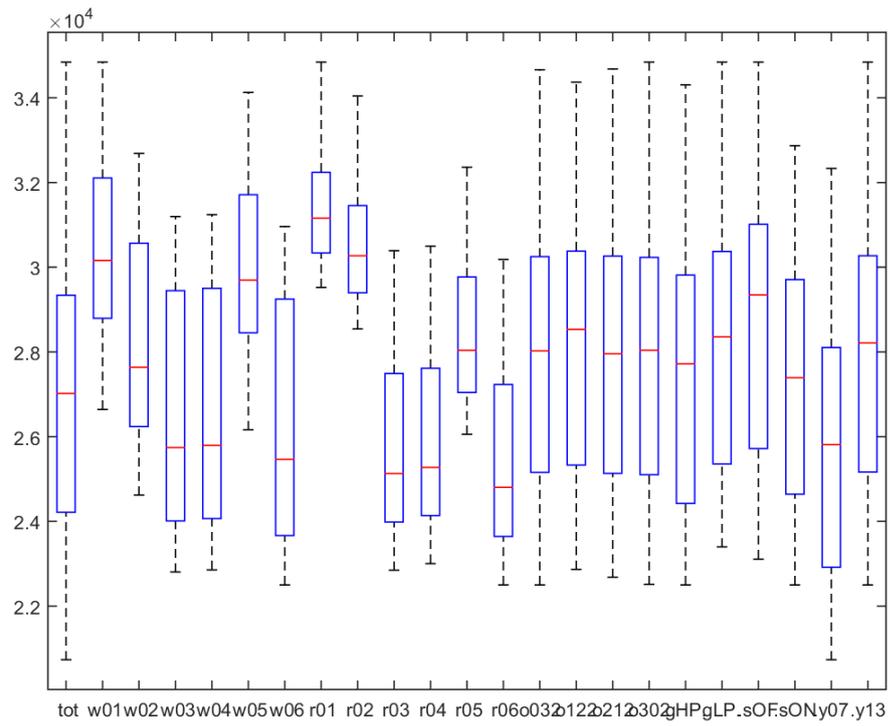


CZI - completo

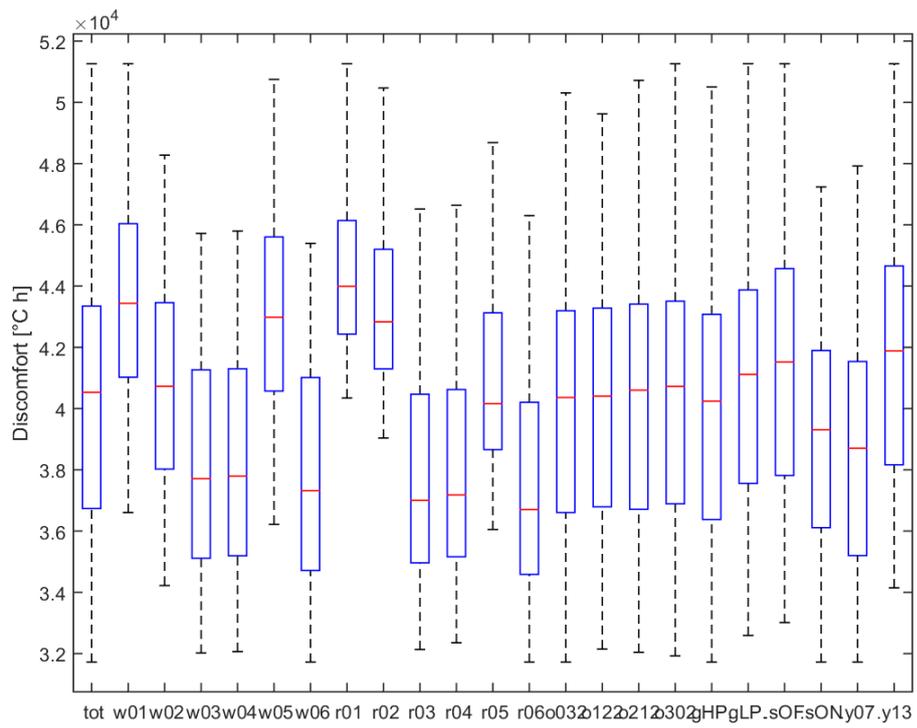


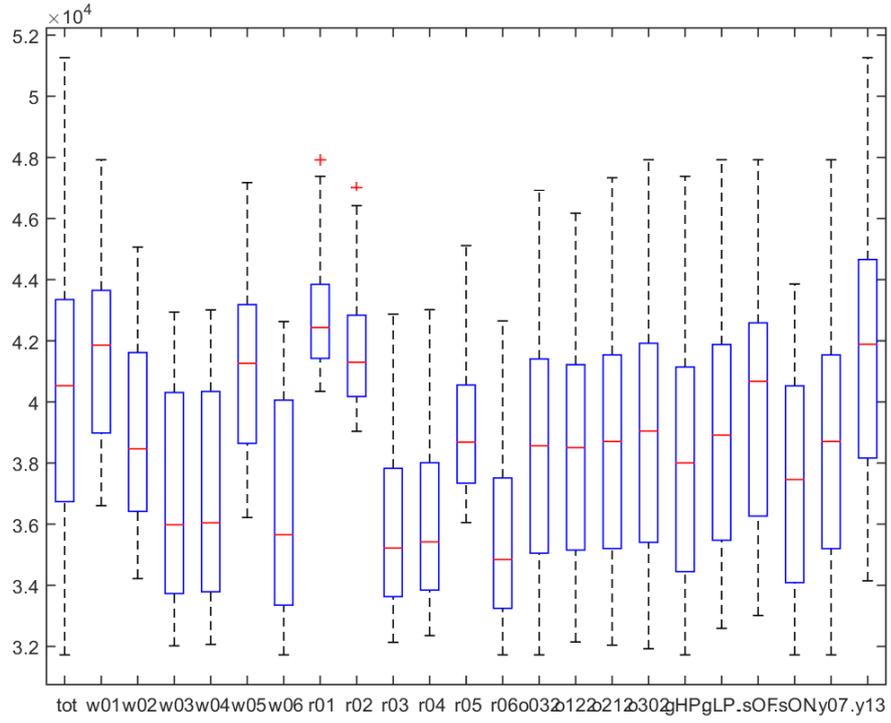
CZI - y07

CZI - y13

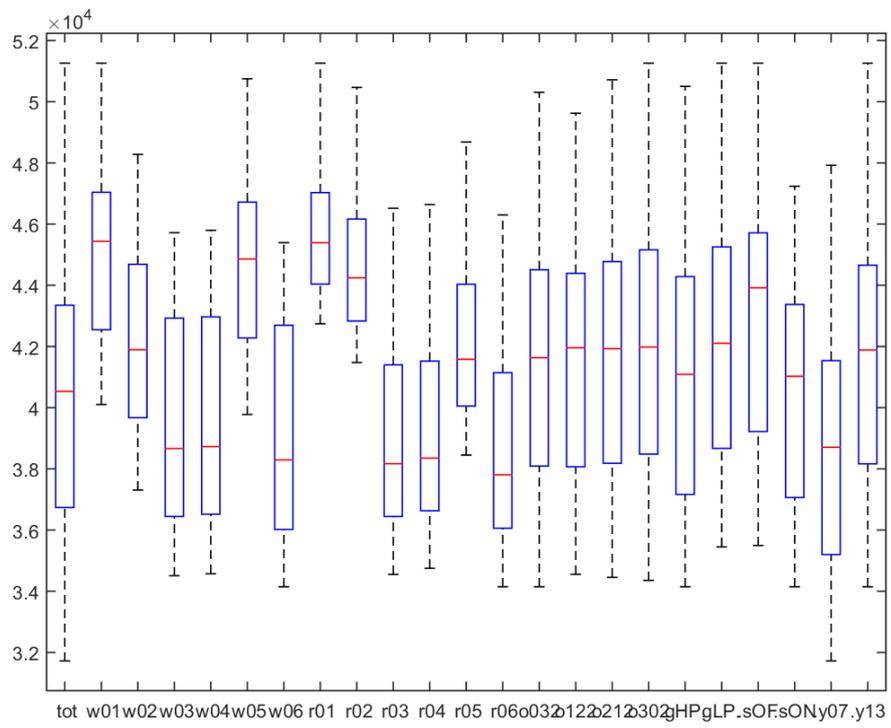


CZII - completo

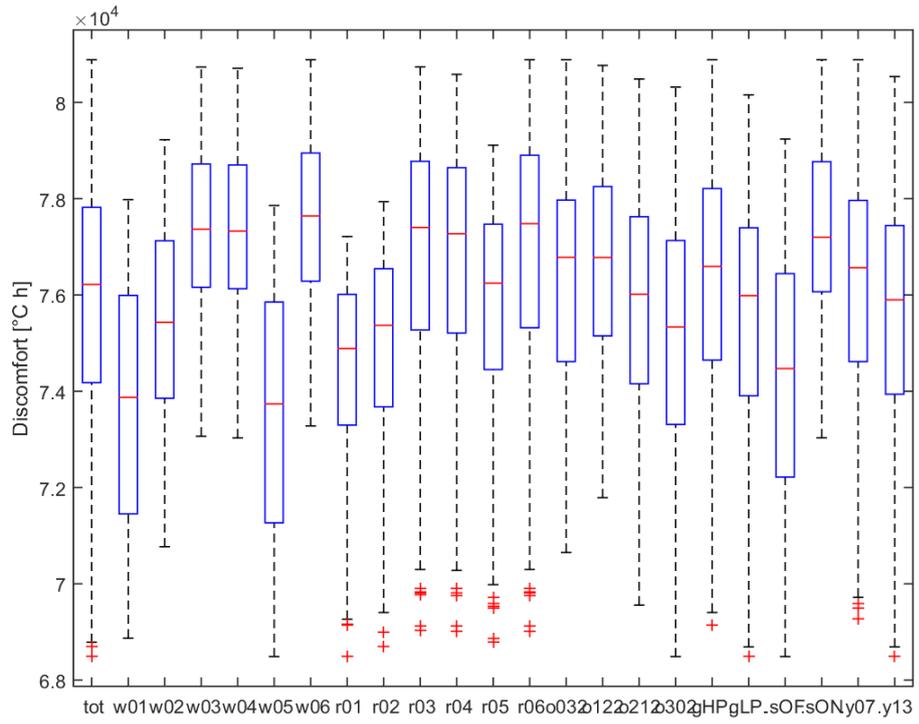




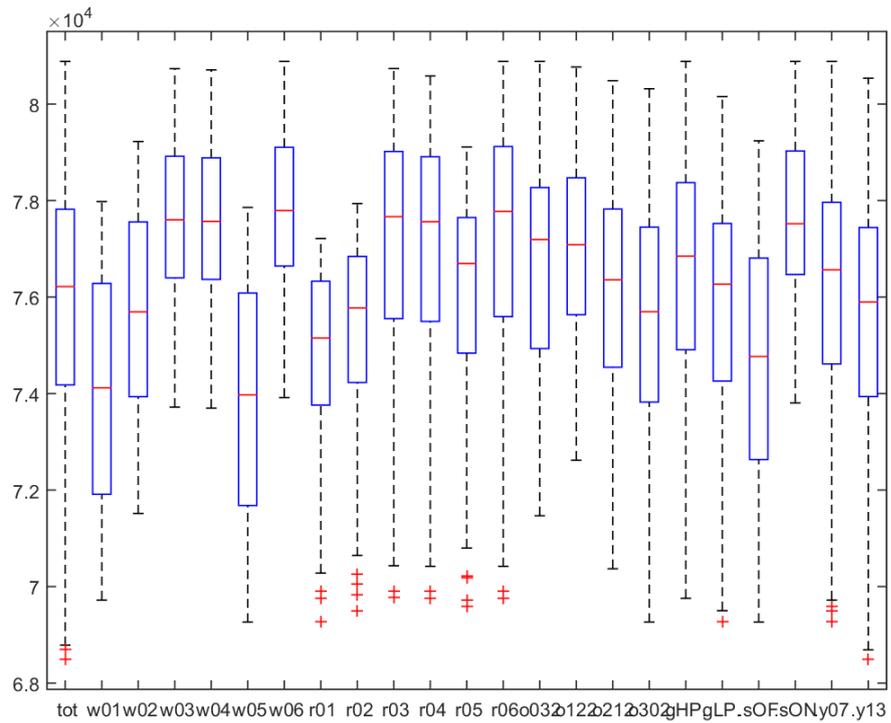
CZII - y07



CZII - y13

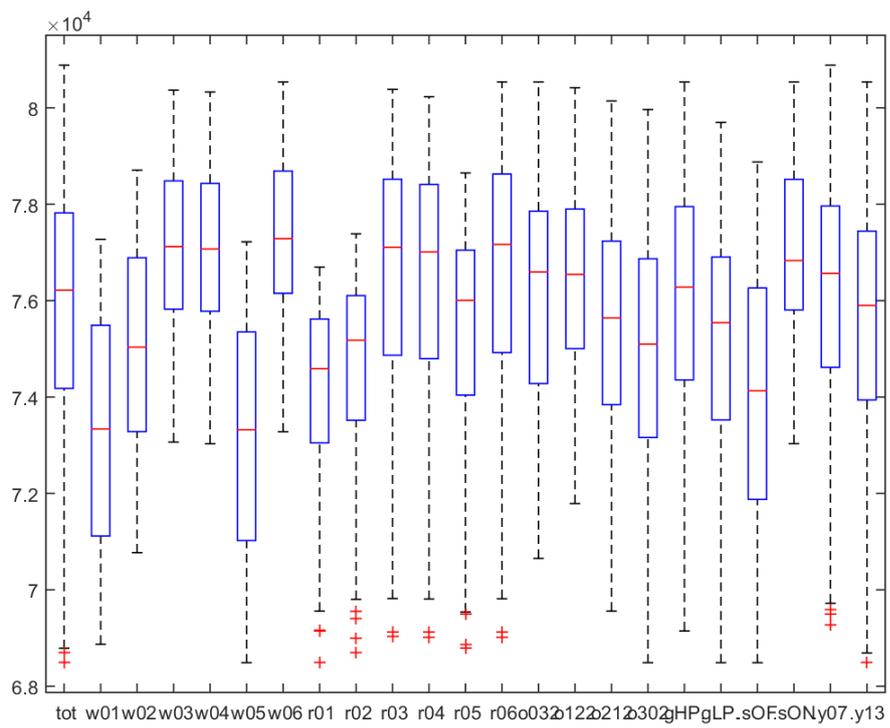


CZIII - completo



CZIII - y07

CZIII - y13



Allegato C_ Analisi del miglioramento termico

scenari	CTI				CTII				CTIII			
	y07		y13		y07		y13		y07		y13	
	[dH]	%										
w01r01o032gHPsON	29403	30.3%	31766	30.7%	42885	21.5%	46026	23.4%	76267	2.5%	75518	4.1%
w01r01o032gHPsOF	31864	24.5%	34157	25.5%	46494	14.9%	49662	17.4%	72217	7.7%	71537	9.1%
w01r01o032gLPsON	29660	29.7%	32215	29.8%	43263	20.8%	46626	22.4%	76075	2.7%	75214	4.5%
w01r01o032gLPsOF	32188	23.7%	34663	24.4%	46914	14.2%	50306	16.3%	72059	7.9%	71235	9.5%
w01r01o122gHPsON	30123	28.6%	32467	29.2%	43552	20.3%	46704	22.3%	76126	2.7%	75395	4.2%
w01r01o122gHPsOF	31591	25.1%	33921	26.1%	45816	16.2%	49043	18.4%	73175	6.5%	72448	8.0%
w01r01o122gLPsON	30331	28.1%	32869	28.3%	43855	19.8%	47237	21.4%	75993	2.9%	75147	4.6%
w01r01o122gLPsOF	31861	24.5%	34371	25.1%	46172	15.5%	49623	17.4%	73042	6.6%	72178	8.3%
w01r01o212gHPsON	29515	30.0%	31873	30.5%	43385	20.6%	46485	22.7%	75243	3.8%	74516	5.4%
w01r01o212gHPsOF	31817	24.6%	34152	25.5%	46817	14.3%	49980	16.9%	71151	9.0%	70460	10.5%
w01r01o212gLPsON	29711	29.6%	32266	29.7%	43741	20.0%	47065	21.7%	74960	4.2%	74115	5.9%
w01r01o212gLPsOF	32169	23.7%	34683	24.4%	47334	13.4%	50718	15.6%	70788	9.5%	69958	11.1%
w01r01o302gHPsON	29270	30.6%	31669	31.0%	43423	20.6%	46505	22.6%	74523	4.7%	73791	6.3%
w01r01o302gHPsOF	31969	24.2%	34306	25.2%	47380	13.3%	50500	16.0%	70278	10.2%	69666	11.5%
w01r01o302gLPsON	29499	30.1%	32094	30.0%	43839	19.8%	47145	21.6%	74167	5.2%	73314	6.9%
w01r01o302gLPsOF	32333	23.4%	34842	24.0%	47922	12.3%	51257	14.7%	69900	10.6%	69151	12.2%
w01r02o032gHPsON	28505	32.4%	30958	32.5%	41804	23.5%	45070	25.0%	76637	2.0%	75855	3.7%
w01r02o032gHPsOF	30973	26.6%	33338	27.3%	45511	16.7%	48802	18.8%	72309	7.6%	71541	9.1%
w01r02o032gLPsON	28804	31.7%	31440	31.5%	42238	22.7%	45724	23.9%	76408	2.3%	75517	4.1%
w01r02o032gLPsOF	31341	25.7%	33883	26.1%	45987	15.9%	49498	17.7%	72111	7.8%	71203	9.6%
w01r02o122gHPsON	29249	30.7%	31681	30.9%	42514	22.2%	45777	23.8%	76479	2.2%	75708	3.8%
w01r02o122gHPsOF	30730	27.2%	33138	27.8%	44846	18.0%	48196	19.8%	73348	6.2%	72552	7.8%
w01r02o122gLPsON	29499	30.1%	32120	30.0%	42868	21.6%	46366	22.9%	76312	2.4%	75436	4.2%
w01r02o122gLPsOF	31042	26.4%	33625	26.7%	45253	17.2%	48828	18.8%	73181	6.4%	72250	8.2%
w01r02o212gHPsON	28609	32.2%	31044	32.3%	42314	22.6%	45541	24.2%	75562	3.4%	74792	5.0%
w01r02o212gHPsOF	30926	26.7%	33333	27.3%	45835	16.1%	49127	18.3%	71248	8.9%	70471	10.5%
w01r02o212gLPsON	28846	31.6%	31472	31.4%	42726	21.8%	46175	23.2%	75247	3.8%	74367	5.5%
w01r02o212gLPsOF	31320	25.8%	33907	26.1%	46408	15.1%	49918	17.0%	70846	9.4%	69931	11.2%
w01r02o302gHPsON	28352	32.8%	30823	32.8%	42346	22.5%	45557	24.2%	74812	4.4%	74033	6.0%
w01r02o302gHPsOF	31068	26.3%	33475	27.0%	46422	15.1%	49661	17.4%	70256	10.2%	69552	11.7%
w01r02o302gLPsON	28615	32.2%	31282	31.8%	42819	21.7%	46249	23.1%	74418	4.9%	73523	6.6%
w01r02o302gLPsOF	31471	25.4%	34046	25.8%	47016	14.0%	50467	16.0%	69825	10.7%	68987	12.4%

w01r03o032gHPsON	24336	42.3%	27023	41.1%	36880	32.5%	40366	32.8%	77936	0.4%	77217	1.9%
w01r03o032gHPsOF	26835	36.4%	29459	35.8%	41008	25.0%	44497	26.0%	72752	7.0%	72049	8.5%
w01r03o032gLPsON	24845	41.1%	27745	39.5%	37571	31.3%	41302	31.3%	77583	0.8%	76792	2.5%
w01r03o032gLPsOF	27443	34.9%	30249	34.1%	41756	23.6%	45479	24.3%	72443	7.4%	71624	9.0%
w01r03o122gHPsON	25143	40.4%	27801	39.4%	37678	31.1%	41168	31.5%	77730	0.6%	77025	2.2%
w01r03o122gHPsOF	26640	36.8%	29310	36.1%	40309	26.3%	43867	27.0%	74054	5.3%	73326	6.9%
w01r03o122gLPsON	25603	39.3%	28480	37.9%	38278	30.0%	42031	30.1%	77450	1.0%	76671	2.6%
w01r03o122gLPsOF	27183	35.6%	30037	34.5%	40970	25.0%	44776	25.5%	73782	5.7%	72961	7.3%
w01r03o212gHPsON	24429	42.1%	27120	40.9%	37465	31.5%	40892	32.0%	76703	1.9%	75986	3.5%
w01r03o212gHPsOF	26799	36.5%	29463	35.8%	41361	24.3%	44828	25.4%	71759	8.3%	71018	9.8%
w01r03o212gLPsON	24876	41.0%	27788	39.4%	38139	30.2%	41812	30.4%	76258	2.5%	75469	4.1%
w01r03o212gLPsOF	27435	35.0%	30299	33.9%	42225	22.7%	45929	23.6%	71205	9.0%	70363	10.6%
w01r03o302gHPsON	24135	42.8%	26871	41.4%	37459	31.5%	40873	32.0%	75974	2.9%	75250	4.4%
w01r03o302gHPsOF	26888	36.3%	29562	35.6%	41983	23.2%	45396	24.5%	70495	9.9%	69819	11.3%
w01r03o302gLPsON	24612	41.7%	27568	39.9%	38209	30.1%	41859	30.4%	75436	3.6%	74632	5.2%
w01r03o302gLPsOF	27524	34.8%	30390	33.7%	42871	21.6%	46516	22.6%	69909	10.6%	69124	12.2%
w01r04o032gHPsON	24478	42.0%	27139	40.8%	37052	32.2%	40508	32.6%	77884	0.4%	77159	2.0%
w01r04o032gHPsOF	26982	36.0%	29575	35.5%	41169	24.7%	44629	25.8%	72734	7.0%	72028	8.5%
w01r04o032gLPsON	24980	40.8%	27851	39.3%	37734	31.0%	41435	31.1%	77536	0.9%	76739	2.5%
w01r04o032gLPsOF	27579	34.6%	30354	33.8%	41905	23.3%	45600	24.1%	72431	7.4%	71607	9.1%
w01r04o122gHPsON	25281	40.1%	27913	39.1%	37844	30.8%	41302	31.3%	77683	0.7%	76973	2.2%
w01r04o122gHPsOF	26779	36.5%	29419	35.9%	40464	26.0%	43993	26.8%	74027	5.4%	73297	6.9%
w01r04o122gLPsON	25733	39.0%	28582	37.7%	38435	29.7%	42155	29.9%	77406	1.0%	76623	2.7%
w01r04o122gLPsOF	27313	35.3%	30137	34.3%	41116	24.8%	44893	25.3%	73758	5.7%	72933	7.4%
w01r04o212gHPsON	24564	41.8%	27233	40.6%	37627	31.2%	41032	31.7%	76653	2.0%	75933	3.6%
w01r04o212gHPsOF	26934	36.1%	29573	35.5%	41510	24.1%	44956	25.2%	71733	8.3%	70998	9.8%
w01r04o212gLPsON	25008	40.7%	27891	39.2%	38296	29.9%	41942	30.2%	76216	2.6%	75421	4.2%
w01r04o212gLPsOF	27565	34.7%	30398	33.7%	42369	22.5%	46047	23.4%	71189	9.0%	70344	10.7%
w01r04o302gHPsON	24275	42.5%	26987	41.2%	37630	31.2%	41020	31.8%	75918	2.9%	75193	4.5%
w01r04o302gHPsOF	27030	35.9%	29679	35.3%	42140	22.9%	45529	24.3%	70480	9.9%	69808	11.3%
w01r04o302gLPsON	24745	41.3%	27675	39.7%	38368	29.8%	41995	30.1%	75386	3.6%	74583	5.3%
w01r04o302gLPsOF	27659	34.4%	30497	33.5%	43020	21.3%	46637	22.4%	69905	10.6%	69117	12.2%
w01r05o032gHPsON	26580	37.0%	29156	36.4%	39534	27.7%	42936	28.6%	77196	1.3%	76424	2.9%
w01r05o032gHPsOF	29076	31.1%	31556	31.2%	43453	20.5%	46864	22.0%	72389	7.5%	71630	9.0%
w01r05o032gLPsON	26975	36.1%	29753	35.1%	40091	26.6%	43727	27.3%	76902	1.7%	76046	3.4%

w01r05o032gLPsOF	29549	29.9%	32213	29.8%	44049	19.4%	47691	20.7%	72141	7.8%	71247	9.5%
w01r05o122gHPsON	27363	35.1%	29924	34.8%	40297	26.3%	43707	27.3%	77014	1.5%	76258	3.1%
w01r05o122gHPsOF	28860	31.6%	31398	31.6%	42773	21.7%	46256	23.1%	73583	5.9%	72811	7.5%
w01r05o122gLPsON	27710	34.3%	30471	33.6%	40770	25.4%	44424	26.1%	76789	1.8%	75948	3.5%
w01r05o122gLPsOF	29276	30.6%	31992	30.3%	43295	20.8%	47015	21.8%	73371	6.2%	72481	7.9%
w01r05o212gHPsON	26680	36.8%	29245	36.2%	40084	26.7%	43438	27.7%	76029	2.8%	75268	4.4%
w01r05o212gHPsOF	29036	31.2%	31563	31.2%	43782	19.9%	47187	21.5%	71371	8.8%	70598	10.3%
w01r05o212gLPsON	27014	36.0%	29785	35.1%	40622	25.7%	44206	26.5%	75653	3.3%	74800	5.0%
w01r05o212gLPsOF	29540	30.0%	32258	29.7%	44489	18.6%	48117	20.0%	70903	9.4%	70001	11.1%
w01r05o302gHPsON	26400	37.4%	29005	36.8%	40090	26.7%	43435	27.7%	75274	3.8%	74509	5.4%
w01r05o302gHPsOF	29149	30.9%	31676	30.9%	44387	18.8%	47739	20.6%	70217	10.2%	69497	11.7%
w01r05o302gLPsON	26761	36.6%	29572	35.5%	40694	25.5%	44262	26.4%	74810	4.4%	73951	6.1%
w01r05o302gLPsOF	29655	29.7%	32361	29.5%	45113	17.5%	48683	19.0%	69718	10.9%	68868	12.5%
w01r06o032gHPsON	24094	42.9%	26794	41.6%	36607	33.0%	40103	33.3%	77980	0.3%	77271	1.9%
w01r06o032gHPsOF	26595	37.0%	29239	36.3%	40760	25.4%	44260	26.4%	72759	7.0%	72061	8.5%
w01r06o032gLPsON	24617	41.6%	27532	40.0%	37314	31.7%	41055	31.7%	77624	0.8%	76841	2.4%
w01r06o032gLPsOF	27219	35.5%	30044	34.5%	41525	24.0%	45259	24.7%	72446	7.4%	71635	9.0%
w01r06o122gHPsON	24903	41.0%	27574	39.9%	37408	31.6%	40908	31.9%	77771	0.6%	77074	2.1%
w01r06o122gHPsOF	26402	37.4%	29089	36.6%	40056	26.7%	43627	27.4%	74070	5.3%	73347	6.8%
w01r06o122gLPsON	25377	39.8%	28267	38.4%	38023	30.4%	41786	30.5%	77488	0.9%	76717	2.6%
w01r06o122gLPsOF	26960	36.1%	29831	35.0%	40734	25.5%	44552	25.9%	73794	5.7%	72979	7.3%
w01r06o212gHPsON	24188	42.7%	26894	41.4%	37197	31.9%	40633	32.4%	76740	1.9%	76031	3.4%
w01r06o212gHPsOF	26560	37.0%	29244	36.2%	41116	24.8%	44593	25.8%	71767	8.3%	71031	9.8%
w01r06o212gLPsON	24653	41.6%	27576	39.9%	37892	30.7%	41569	30.8%	76296	2.5%	75509	4.1%
w01r06o212gLPsOF	27218	35.5%	30094	34.4%	42003	23.2%	45712	24.0%	71213	9.0%	70371	10.6%
w01r06o302gHPsON	23890	43.4%	26643	41.9%	37189	32.0%	40612	32.4%	76014	2.8%	75297	4.4%
w01r06o302gHPsOF	26646	36.8%	29341	36.0%	41740	23.6%	45164	24.9%	70494	9.9%	69823	11.3%
w01r06o302gLPsON	24383	42.2%	27355	40.4%	37956	30.6%	41617	30.8%	75472	3.5%	74674	5.2%
w01r06o302gLPsOF	27303	35.3%	30184	34.2%	42651	22.0%	46302	23.0%	69907	10.6%	69123	12.2%
w02r01o032gHPsON	28438	32.6%	30615	33.3%	41494	24.1%	44395	26.1%	76632	2.0%	76030	3.4%
w02r01o032gHPsOF	29945	29.0%	32083	30.1%	43977	19.5%	46914	22.0%	73400	6.2%	72793	7.5%
w02r01o032gLPsON	28708	31.9%	31095	32.2%	41902	23.3%	45078	25.0%	76368	2.4%	75654	3.9%
w02r01o032gLPsOF	30354	28.0%	32686	28.7%	44524	18.5%	47737	20.6%	73052	6.6%	72294	8.2%
w02r01o122gHPsON	29019	31.2%	31181	32.0%	42094	23.0%	44977	25.2%	76492	2.2%	75899	3.6%
w02r01o122gHPsOF	29918	29.1%	32088	30.0%	43662	20.1%	46619	22.4%	74177	5.2%	73564	6.6%

w02r01o122gLPsON	29250	30.7%	31627	31.1%	42433	22.4%	45602	24.1%	76288	2.5%	75581	4.0%
w02r01o122gLPsOF	30257	28.3%	32629	28.9%	44120	19.3%	47364	21.2%	73887	5.5%	73133	7.1%
w02r01o212gHPsON	28567	32.3%	30727	33.0%	41835	23.5%	44721	25.6%	75975	2.9%	75386	4.3%
w02r01o212gHPsOF	29826	29.3%	31980	30.3%	44000	19.5%	46953	21.9%	73012	6.7%	72405	8.0%
w02r01o212gLPsON	28765	31.8%	31137	32.1%	42221	22.8%	45385	24.5%	75577	3.4%	74871	4.9%
w02r01o212gLPsOF	30259	28.3%	32610	28.9%	44682	18.3%	47913	20.3%	72361	7.5%	71598	9.1%
w02r01o302gHPsON	28339	32.8%	30517	33.5%	41760	23.6%	44667	25.7%	75453	3.5%	74860	4.9%
w02r01o302gHPsOF	29901	29.1%	32055	30.1%	44359	18.8%	47310	21.3%	72221	7.7%	71629	9.0%
w02r01o302gLPsON	28563	32.3%	30953	32.5%	42217	22.8%	45398	24.5%	74954	4.2%	74240	5.7%
w02r01o302gLPsOF	30333	28.1%	32670	28.8%	45064	17.6%	48277	19.7%	71515	8.6%	70771	10.1%
w02r02o032gHPsON	27521	34.8%	29759	35.1%	40328	26.2%	43296	28.0%	77216	1.3%	76580	2.7%
w02r02o032gHPsOF	28988	31.3%	31241	31.9%	42851	21.6%	45866	23.7%	73869	5.6%	73235	7.0%
w02r02o032gLPsON	27824	34.0%	30291	34.0%	40791	25.4%	44054	26.7%	76892	1.7%	76148	3.3%
w02r02o032gLPsOF	29448	30.2%	31881	30.5%	43460	20.5%	46765	22.2%	73451	6.1%	72674	7.7%
w02r02o122gHPsON	28110	33.4%	30337	33.9%	40953	25.1%	43904	27.0%	77052	1.5%	76426	2.9%
w02r02o122gHPsOF	28986	31.3%	31263	31.8%	42562	22.1%	45594	24.2%	74646	4.6%	74005	6.0%
w02r02o122gLPsON	28376	32.7%	30835	32.8%	41348	24.4%	44602	25.8%	76793	1.8%	76059	3.4%
w02r02o122gLPsOF	29376	30.4%	31849	30.6%	43079	21.2%	46413	22.8%	74296	5.0%	73526	6.6%
w02r02o212gHPsON	27641	34.5%	29870	34.9%	40674	25.6%	43631	27.4%	76526	2.2%	75900	3.6%
w02r02o212gHPsOF	28865	31.6%	31139	32.1%	42874	21.6%	45911	23.6%	73464	6.1%	72824	7.5%
w02r02o212gLPsON	27871	33.9%	30328	33.9%	41113	24.8%	44366	26.2%	76072	2.7%	75334	4.3%
w02r02o212gLPsOF	29349	30.4%	31802	30.7%	43613	20.2%	46940	21.9%	72750	7.0%	71963	8.6%
w02r02o302gHPsON	27408	35.0%	29663	35.3%	40598	25.7%	43578	27.5%	76001	2.8%	75375	4.3%
w02r02o302gHPsOF	28944	31.4%	31211	32.0%	43248	20.9%	46279	23.0%	72644	7.1%	72022	8.5%
w02r02o302gLPsON	27665	34.4%	30146	34.3%	41106	24.8%	44378	26.2%	75436	3.6%	74696	5.1%
w02r02o302gLPsOF	29423	30.2%	31855	30.6%	44007	19.5%	47318	21.3%	71861	8.1%	71091	9.7%
w02r03o032gHPsON	22699	46.2%	25052	45.4%	34559	36.8%	37632	37.4%	79149	-1.2%	78622	0.1%
w02r03o032gHPsOF	24202	42.6%	26553	42.1%	37359	31.6%	40473	32.7%	75295	3.7%	74729	5.1%
w02r03o032gLPsON	23262	44.9%	25875	43.6%	35312	35.4%	38716	35.6%	78641	-0.5%	78029	0.9%
w02r03o032gLPsOF	24909	40.9%	27527	40.0%	38285	30.0%	41716	30.6%	74690	4.5%	74020	6.0%
w02r03o122gHPsON	23336	44.7%	25654	44.1%	35247	35.5%	38298	36.3%	78953	-0.9%	78424	0.4%
w02r03o122gHPsOF	24230	42.6%	26585	42.0%	37061	32.2%	40191	33.1%	76192	2.6%	75620	4.0%
w02r03o122gLPsON	23857	43.4%	26442	42.4%	35920	34.3%	39314	34.6%	78523	-0.4%	77908	1.0%
w02r03o122gLPsOF	24867	41.0%	27499	40.1%	37877	30.7%	41343	31.2%	75670	3.3%	75003	4.7%
w02r03o212gHPsON	22797	46.0%	25136	45.2%	34939	36.1%	37994	36.8%	78301	-0.1%	77780	1.2%

w02r03o212gHPsOF	24066	42.9%	26433	42.4%	37381	31.6%	40513	32.6%	74848	4.3%	74258	5.7%
w02r03o212gLPsON	23281	44.8%	25894	43.6%	35674	34.7%	39063	35.0%	77649	0.7%	77041	2.1%
w02r03o212gLPsOF	24797	41.2%	27448	40.2%	38461	29.6%	41916	30.3%	73898	5.5%	73199	7.0%
w02r03o302gHPsON	22551	46.5%	24908	45.7%	34831	36.3%	37907	36.9%	77856	0.5%	77331	1.8%
w02r03o302gHPsOF	24122	42.8%	26489	42.3%	37778	30.9%	40901	32.0%	73889	5.5%	73307	6.9%
w02r03o302gLPsON	23052	45.4%	25694	44.0%	35639	34.8%	39046	35.0%	77073	1.5%	76460	2.9%
w02r03o302gLPsOF	24832	41.1%	27480	40.1%	38875	28.9%	42311	29.6%	72875	6.8%	72182	8.3%
w02r04o032gHPsON	22858	45.8%	25189	45.1%	34760	36.4%	37801	37.1%	79056	-1.1%	78527	0.3%
w02r04o032gHPsOF	24359	42.3%	26689	41.8%	37550	31.3%	40632	32.4%	75226	3.8%	74655	5.2%
w02r04o032gLPsON	23411	44.5%	26002	43.3%	35502	35.0%	38872	35.3%	78554	-0.4%	77939	1.0%
w02r04o032gLPsOF	25058	40.6%	27652	39.7%	38467	29.6%	41866	30.4%	74620	4.6%	73947	6.1%
w02r04o122gHPsON	23489	44.3%	25786	43.8%	35440	35.2%	38456	36.0%	78870	-0.8%	78341	0.5%
w02r04o122gHPsOF	24387	42.2%	26721	41.7%	37251	31.8%	40347	32.9%	76121	2.7%	75547	4.0%
w02r04o122gLPsON	24005	43.1%	26567	42.1%	36104	33.9%	39463	34.4%	78446	-0.3%	77830	1.1%
w02r04o122gLPsOF	25015	40.7%	27623	39.8%	38057	30.4%	41488	31.0%	75604	3.3%	74932	4.8%
w02r04o212gHPsON	22958	45.6%	25275	44.9%	35136	35.7%	38162	36.5%	78226	0.0%	77699	1.3%
w02r04o212gHPsOF	24227	42.6%	26570	42.1%	37571	31.3%	40669	32.3%	74792	4.4%	74198	5.8%
w02r04o212gLPsON	23433	44.4%	26023	43.3%	35860	34.4%	39218	34.8%	77582	0.8%	76967	2.2%
w02r04o212gLPsOF	24945	40.9%	27571	39.9%	38634	29.3%	42057	30.0%	73852	5.6%	73148	7.1%
w02r04o302gHPsON	22718	46.1%	25052	45.4%	35036	35.9%	38081	36.7%	77774	0.6%	77242	1.9%
w02r04o302gHPsOF	24283	42.4%	26626	42.0%	37964	30.5%	41054	31.7%	73842	5.6%	73256	7.0%
w02r04o302gLPsON	23208	45.0%	25825	43.7%	35831	34.4%	39205	34.8%	76996	1.6%	76377	3.0%
w02r04o302gLPsOF	24984	40.8%	27605	39.8%	39053	28.5%	42455	29.4%	72825	6.9%	72128	8.4%
w02r05o032gHPsON	25395	39.8%	27671	39.7%	37783	30.9%	40781	32.2%	78063	0.2%	77453	1.6%
w02r05o032gHPsOF	26871	36.3%	29174	36.4%	40427	26.0%	43453	27.7%	74472	4.8%	73857	6.2%
w02r05o032gLPsON	25808	38.8%	28344	38.2%	38371	29.8%	41693	30.6%	77651	0.7%	76947	2.3%
w02r05o032gLPsOF	27430	35.0%	29963	34.7%	41170	24.7%	44518	25.9%	73964	5.4%	73228	7.0%
w02r05o122gHPsON	26007	38.3%	28273	38.4%	38439	29.7%	41427	31.1%	77873	0.4%	77266	1.9%
w02r05o122gHPsOF	26888	36.3%	29212	36.3%	40141	26.6%	43197	28.1%	75295	3.7%	74665	5.2%
w02r05o122gLPsON	26384	37.5%	28908	37.0%	38956	28.7%	42278	29.7%	77531	0.9%	76829	2.4%
w02r05o122gLPsOF	27376	35.1%	29944	34.7%	40784	25.4%	44176	26.5%	74868	4.3%	74126	5.9%
w02r05o212gHPsON	25501	39.5%	27767	39.5%	38138	30.2%	41123	31.6%	77297	1.2%	76692	2.6%
w02r05o212gHPsOF	26737	36.6%	29063	36.6%	40445	26.0%	43499	27.6%	74038	5.3%	73402	6.8%
w02r05o212gLPsON	25836	38.8%	28367	38.2%	38708	29.2%	42017	30.1%	76746	1.9%	76045	3.4%
w02r05o212gLPsOF	27322	35.2%	29883	34.9%	41333	24.4%	44705	25.6%	73209	6.4%	72447	8.0%

w02r05o302gHPsON	25261	40.1%	27552	39.9%	38052	30.4%	41058	31.7%	76795	1.8%	76188	3.2%
w02r05o302gHPsOF	26812	36.4%	29134	36.5%	40842	25.3%	43887	27.0%	73136	6.5%	72517	7.9%
w02r05o302gLPsON	25618	39.3%	28177	38.6%	38687	29.2%	42015	30.1%	76132	2.7%	75429	4.2%
w02r05o302gLPsOF	27380	35.1%	29924	34.8%	41736	23.6%	45088	25.0%	72251	7.6%	71502	9.2%
w02r06o032gHPsON	22402	46.9%	24764	46.0%	34218	37.4%	37307	37.9%	79223	-1.3%	78705	0.0%
w02r06o032gHPsOF	23907	43.3%	26270	42.7%	37037	32.2%	40171	33.2%	75338	3.7%	74780	5.0%
w02r06o032gLPsON	22981	45.5%	25603	44.2%	34989	36.0%	38409	36.1%	78709	-0.6%	78105	0.8%
w02r06o032gLPsOF	24631	41.6%	27262	40.6%	37982	30.5%	41431	31.1%	74728	4.5%	74066	5.9%
w02r06o122gHPsON	23041	45.4%	25365	44.7%	34906	36.1%	37971	36.8%	79031	-1.0%	78511	0.3%
w02r06o122gHPsOF	23936	43.3%	26298	42.7%	36735	32.8%	39880	33.7%	76249	2.5%	75685	3.9%
w02r06o122gLPsON	23579	44.1%	26170	42.9%	35598	34.9%	39007	35.1%	78593	-0.5%	77987	0.9%
w02r06o122gLPsOF	24589	41.7%	27232	40.6%	37569	31.3%	41052	31.7%	75719	3.2%	75061	4.7%
w02r06o212gHPsON	22500	46.7%	24848	45.8%	34602	36.7%	37672	37.3%	78368	-0.2%	77857	1.1%
w02r06o212gHPsOF	23771	43.6%	26149	43.0%	37059	32.2%	40208	33.1%	74896	4.3%	74313	5.6%
w02r06o212gLPsON	23000	45.5%	25624	44.1%	35353	35.3%	38760	35.5%	77711	0.7%	77111	2.1%
w02r06o212gLPsOF	24518	41.9%	27183	40.7%	38157	30.2%	41631	30.7%	73937	5.5%	73245	7.0%
w02r06o302gHPsON	22252	47.2%	24620	46.3%	34492	36.9%	37582	37.5%	77931	0.4%	77414	1.7%
w02r06o302gHPsOF	23825	43.5%	26204	42.9%	37456	31.5%	40598	32.5%	73931	5.5%	73353	6.8%
w02r06o302gLPsON	22768	46.0%	25422	44.6%	35316	35.4%	38742	35.6%	77138	1.4%	76533	2.8%
w02r06o302gLPsOF	24551	41.8%	27216	40.7%	38574	29.4%	42028	30.1%	72905	6.8%	72218	8.3%
w03r01o032gHPsON	27851	34.0%	29691	35.3%	40522	25.9%	42944	28.6%	77195	1.3%	76663	2.6%
w03r01o032gHPsOF	28642	32.1%	30479	33.6%	41944	23.3%	44403	26.1%	75136	3.9%	74600	5.2%
w03r01o032gLPsON	28151	33.3%	30234	34.1%	40968	25.0%	43724	27.3%	76857	1.7%	76212	3.2%
w03r01o032gLPsOF	29130	30.9%	31186	32.0%	42614	22.0%	45399	24.5%	74610	4.6%	73951	6.1%
w03r01o122gHPsON	28252	33.0%	30085	34.4%	40943	25.1%	43355	27.9%	77074	1.5%	76551	2.8%
w03r01o122gHPsOF	28690	32.0%	30543	33.4%	41827	23.5%	44294	26.3%	75582	3.4%	75050	4.7%
w03r01o122gLPsON	28522	32.4%	30603	33.3%	41328	24.4%	44085	26.7%	76800	1.8%	76164	3.3%
w03r01o122gLPsOF	29095	31.0%	31183	32.0%	42386	22.5%	45194	24.8%	75150	3.9%	74497	5.4%
w03r01o212gHPsON	28036	33.5%	29867	34.9%	40779	25.4%	43192	28.1%	76928	1.7%	76403	3.0%
w03r01o212gHPsOF	28516	32.4%	30368	33.8%	41808	23.5%	44274	26.3%	75188	3.9%	74654	5.2%
w03r01o212gLPsON	28252	33.0%	30326	33.9%	41202	24.6%	43951	26.9%	76418	2.3%	75779	3.8%
w03r01o212gLPsOF	29012	31.2%	31089	32.2%	42617	22.0%	45412	24.5%	74306	5.0%	73643	6.5%
w03r01o302gHPsON	27859	34.0%	29697	35.3%	40705	25.5%	43131	28.2%	76606	2.1%	76079	3.4%
w03r01o302gHPsOF	28643	32.1%	30489	33.5%	42105	23.0%	44568	25.9%	74677	4.5%	74149	5.8%
w03r01o302gLPsON	28100	33.4%	30182	34.2%	41203	24.6%	43960	26.9%	75970	2.9%	75326	4.3%

w03r01o302gLPsOF	29131	30.9%	31195	32.0%	42938	21.4%	45720	23.9%	73718	5.8%	73064	7.2%
w03r02o032gHPsON	26826	36.4%	28707	37.4%	39210	28.3%	41677	30.7%	77899	0.4%	77329	1.8%
w03r02o032gHPsOF	27587	34.6%	29497	35.7%	40659	25.6%	43160	28.2%	75783	3.1%	75204	4.5%
w03r02o032gLPsON	27155	35.6%	29302	36.1%	39712	27.3%	42531	29.2%	77491	0.9%	76811	2.4%
w03r02o032gLPsOF	28107	33.4%	30253	34.0%	41388	24.3%	44233	26.4%	75174	3.9%	74478	5.4%
w03r02o122gHPsON	27234	35.4%	29111	36.5%	39651	27.5%	42104	30.0%	77763	0.6%	77202	1.9%
w03r02o122gHPsOF	27660	34.4%	29583	35.5%	40567	25.8%	43074	28.3%	76221	2.6%	75647	3.9%
w03r02o122gLPsON	27536	34.7%	29683	35.3%	40093	26.6%	42910	28.6%	77424	1.0%	76754	2.5%
w03r02o122gLPsOF	28102	33.4%	30278	34.0%	41187	24.6%	44053	26.7%	75718	3.2%	75029	4.7%
w03r02o212gHPsON	27011	36.0%	28885	37.0%	39484	27.8%	41941	30.2%	77601	0.8%	77039	2.2%
w03r02o212gHPsOF	27476	34.9%	29396	35.9%	40527	25.9%	43036	28.4%	75841	3.0%	75262	4.4%
w03r02o212gLPsON	27252	35.4%	29394	35.9%	39961	26.9%	42770	28.9%	77024	1.5%	76349	3.0%
w03r02o212gLPsOF	27996	33.6%	30166	34.2%	41394	24.3%	44249	26.4%	74876	4.3%	74176	5.8%
w03r02o302gHPsON	26832	36.4%	28718	37.4%	39412	27.9%	41880	30.3%	77282	1.2%	76716	2.6%
w03r02o302gHPsOF	27600	34.6%	29519	35.6%	40837	25.3%	43343	27.9%	75304	3.7%	74731	5.1%
w03r02o302gLPsON	27094	35.8%	29249	36.2%	39958	26.9%	42777	28.8%	76567	2.1%	75888	3.6%
w03r02o302gLPsOF	28112	33.4%	30264	34.0%	41728	23.7%	44570	25.9%	74244	5.1%	73549	6.6%
w03r03o032gHPsON	21301	49.5%	23149	49.5%	32423	40.7%	34904	41.9%	80597	-3.0%	80221	-1.9%
w03r03o032gHPsOF	22038	47.8%	23920	47.9%	33972	37.8%	36508	39.3%	78306	-0.1%	77918	1.0%
w03r03o032gLPsON	21918	48.0%	24083	47.5%	33290	39.1%	36179	39.8%	79911	-2.2%	79429	-0.9%
w03r03o032gLPsOF	22861	45.8%	25068	45.4%	35109	35.8%	38046	36.7%	77373	1.1%	76871	2.4%
w03r03o122gHPsON	21725	48.5%	23547	48.7%	32881	39.8%	35347	41.2%	80458	-2.9%	80081	-1.7%
w03r03o122gHPsOF	22134	47.5%	24002	47.7%	33888	38.0%	36429	39.4%	78793	-0.7%	78401	0.4%
w03r03o122gLPsON	22324	47.1%	24468	46.7%	33694	38.4%	36575	39.2%	79854	-2.1%	79371	-0.8%
w03r03o122gLPsOF	22884	45.8%	25069	45.3%	34905	36.1%	37839	37.1%	77987	0.3%	77475	1.6%
w03r03o212gHPsON	21490	49.1%	23324	49.2%	32744	40.1%	35216	41.4%	80163	-2.5%	79794	-1.3%
w03r03o212gHPsOF	21944	48.0%	23831	48.0%	33862	38.0%	36411	39.4%	78361	-0.2%	77971	1.0%
w03r03o212gLPsON	22004	47.8%	24161	47.3%	33586	38.6%	36463	39.3%	79278	-1.3%	78790	-0.1%
w03r03o212gLPsOF	22764	46.0%	24987	45.5%	35160	35.7%	38108	36.6%	76992	1.6%	76472	2.9%
w03r03o302gHPsON	21301	49.5%	23148	49.5%	32632	40.3%	35122	41.6%	79961	-2.2%	79583	-1.1%
w03r03o302gHPsOF	22056	47.7%	23942	47.8%	34192	37.4%	36737	38.9%	77734	0.6%	77342	1.8%
w03r03o302gLPsON	21832	48.2%	24019	47.6%	33555	38.6%	36456	39.4%	78910	-0.9%	78424	0.4%
w03r03o302gLPsOF	22847	45.8%	25069	45.3%	35493	35.1%	38432	36.1%	76279	2.5%	75763	3.8%
w03r04o032gHPsON	21443	49.2%	23292	49.2%	32632	40.3%	35101	41.6%	80439	-2.8%	80071	-1.7%
w03r04o032gHPsOF	22190	47.4%	24060	47.5%	34187	37.5%	36699	38.9%	78151	0.1%	77760	1.2%

w03r04o032gLPsON	22064	47.7%	24224	47.2%	33499	38.7%	36367	39.5%	79766	-2.0%	79291	-0.7%
w03r04o032gLPsOF	23016	45.4%	25206	45.1%	35319	35.4%	38227	36.4%	77233	1.3%	76728	2.5%
w03r04o122gHPsON	21869	48.2%	23693	48.3%	33084	39.5%	35535	40.9%	80325	-2.7%	79955	-1.6%
w03r04o122gHPsOF	22290	47.2%	24148	47.4%	34102	37.6%	36617	39.1%	78651	-0.5%	78258	0.6%
w03r04o122gLPsON	22472	46.7%	24610	46.3%	33898	38.0%	36757	38.9%	79726	-1.9%	79250	-0.7%
w03r04o122gLPsOF	23040	45.4%	25219	45.0%	35112	35.8%	38025	36.7%	77858	0.5%	77353	1.8%
w03r04o212gHPsON	21637	48.7%	23471	48.8%	32955	39.7%	35415	41.1%	80017	-2.3%	79652	-1.2%
w03r04o212gHPsOF	22095	47.6%	23971	47.7%	34072	37.7%	36597	39.1%	78219	0.0%	77824	1.2%
w03r04o212gLPsON	22152	47.5%	24304	47.0%	33792	38.2%	36650	39.0%	79146	-1.2%	78664	0.1%
w03r04o212gLPsOF	22915	45.7%	25129	45.2%	35357	35.3%	38287	36.3%	76873	1.7%	76357	3.0%
w03r04o302gHPsON	21455	49.1%	23300	49.2%	32852	39.9%	35326	41.2%	79807	-2.0%	79436	-0.9%
w03r04o302gHPsOF	22209	47.4%	24089	47.5%	34401	37.1%	36929	38.6%	77601	0.8%	77213	1.9%
w03r04o302gLPsON	21985	47.9%	24162	47.3%	33765	38.2%	36644	39.0%	78771	-0.7%	78291	0.6%
w03r04o302gLPsOF	23003	45.5%	25222	45.0%	35699	34.7%	38624	35.7%	76154	2.6%	75650	3.9%
w03r05o032gHPsON	24388	42.2%	26265	42.7%	36259	33.7%	38705	35.6%	79028	-1.0%	78542	0.2%
w03r05o032gHPsOF	25156	40.4%	27062	41.0%	37751	30.9%	40238	33.1%	76832	1.8%	76321	3.1%
w03r05o032gLPsON	24849	41.1%	27029	41.1%	36918	32.5%	39746	33.9%	78494	-0.3%	77906	1.0%
w03r05o032gLPsOF	25810	38.8%	28004	39.0%	38666	29.3%	41519	30.9%	76078	2.7%	75455	4.2%
w03r05o122gHPsON	24815	41.2%	26681	41.8%	36724	32.8%	39157	34.9%	78879	-0.8%	78392	0.4%
w03r05o122gHPsOF	25243	40.2%	27155	40.8%	37681	31.1%	40174	33.2%	77278	1.2%	76766	2.5%
w03r05o122gLPsON	25250	40.1%	27420	40.2%	37324	31.7%	40149	33.2%	78418	-0.2%	77831	1.1%
w03r05o122gLPsOF	25823	38.8%	28028	38.9%	38473	29.6%	41348	31.2%	76644	2.0%	76025	3.4%
w03r05o212gHPsON	24575	41.7%	26443	42.4%	36556	33.1%	38991	35.1%	78667	-0.6%	78186	0.7%
w03r05o212gHPsOF	25051	40.6%	26968	41.2%	37631	31.2%	40130	33.2%	76886	1.7%	76370	3.0%
w03r05o212gLPsON	24941	40.9%	27119	40.9%	37193	32.0%	40012	33.4%	77943	0.4%	77359	1.7%
w03r05o212gLPsOF	25716	39.0%	27933	39.1%	38701	29.2%	41571	30.8%	75730	3.2%	75098	4.6%
w03r05o302gHPsON	24394	42.2%	26270	42.7%	36473	33.3%	38922	35.3%	78386	-0.2%	77898	1.1%
w03r05o302gHPsOF	25183	40.3%	27095	40.9%	37968	30.5%	40461	32.7%	76289	2.5%	75776	3.8%
w03r05o302gLPsON	24776	41.3%	26970	41.2%	37176	32.0%	40008	33.4%	77523	0.9%	76932	2.3%
w03r05o302gLPsOF	25814	38.8%	28021	38.9%	39037	28.6%	41893	30.3%	75058	4.0%	74428	5.5%
w03r06o032gHPsON	20967	50.3%	22807	50.3%	32020	41.4%	34510	42.6%	80734	-3.2%	80366	-2.1%
w03r06o032gHPsOF	21696	48.6%	23574	48.6%	33575	38.6%	36122	39.9%	78431	-0.3%	78052	0.9%
w03r06o032gLPsON	21595	48.8%	23757	48.2%	32901	39.8%	35804	40.4%	80034	-2.3%	79556	-1.0%
w03r06o032gLPsOF	22530	46.6%	24737	46.1%	34729	36.5%	37678	37.3%	77479	1.0%	76984	2.2%
w03r06o122gHPsON	21387	49.3%	23198	49.4%	32471	40.6%	34946	41.9%	80602	-3.0%	80232	-1.9%

w03r06o122gHPsOF	21792	48.3%	23654	48.4%	33487	38.7%	36038	40.0%	78926	-0.9%	78543	0.2%
w03r06o122gLPsON	22000	47.8%	24140	47.4%	33299	39.1%	36197	39.8%	79981	-2.2%	79503	-1.0%
w03r06o122gLPsOF	22556	46.5%	24748	46.0%	34520	36.8%	37479	37.7%	78099	0.2%	77604	1.4%
w03r06o212gHPsON	21157	49.8%	22982	49.9%	32343	40.8%	34825	42.1%	80292	-2.6%	79931	-1.5%
w03r06o212gHPsOF	21602	48.8%	23485	48.8%	33465	38.8%	36024	40.1%	78488	-0.3%	78107	0.8%
w03r06o212gLPsON	21681	48.6%	23833	48.0%	33200	39.3%	36091	40.0%	79391	-1.5%	78908	-0.2%
w03r06o212gLPsOF	22433	46.8%	24654	46.3%	34779	36.4%	37739	37.2%	77097	1.4%	76583	2.7%
w03r06o302gHPsON	20966	50.3%	22805	50.3%	32228	41.0%	34727	42.2%	80100	-2.4%	79729	-1.3%
w03r06o302gHPsOF	21711	48.5%	23594	48.6%	33793	38.2%	36349	39.5%	77859	0.5%	77476	1.6%
w03r06o302gLPsON	21509	49.0%	23693	48.3%	33168	39.3%	36082	40.0%	79029	-1.0%	78547	0.2%
w03r06o302gLPsOF	22514	46.6%	24736	46.1%	35114	35.8%	38064	36.7%	76378	2.4%	75868	3.6%
w04r01o032gHPsON	27866	33.9%	29712	35.2%	40544	25.8%	42979	28.5%	77202	1.3%	76657	2.6%
w04r01o032gHPsOF	28677	32.0%	30520	33.5%	41995	23.2%	44468	26.0%	75122	4.0%	74574	5.3%
w04r01o032gLPsON	28161	33.2%	30251	34.1%	40987	25.0%	43757	27.2%	76866	1.7%	76208	3.2%
w04r01o032gLPsOF	29159	30.9%	31221	31.9%	42662	21.9%	45461	24.4%	74602	4.6%	73927	6.1%
w04r01o122gHPsON	28273	33.0%	30110	34.4%	40972	25.0%	43395	27.8%	77075	1.5%	76540	2.8%
w04r01o122gHPsOF	28725	31.9%	30583	33.3%	41877	23.4%	44356	26.2%	75563	3.4%	75019	4.7%
w04r01o122gLPsON	28538	32.3%	30624	33.2%	41355	24.3%	44123	26.6%	76805	1.8%	76156	3.3%
w04r01o122gLPsOF	29128	30.9%	31219	31.9%	42434	22.4%	45253	24.7%	75137	3.9%	74470	5.4%
w04r01o212gHPsON	28055	33.5%	29889	34.8%	40812	25.3%	43236	28.1%	76920	1.7%	76383	3.0%
w04r01o212gHPsOF	28564	32.3%	30418	33.7%	41875	23.4%	44351	26.2%	75151	3.9%	74605	5.2%
w04r01o212gLPsON	28267	33.0%	30346	33.8%	41236	24.6%	43994	26.8%	76415	2.3%	75763	3.8%
w04r01o212gLPsOF	29060	31.1%	31138	32.1%	42685	21.9%	45488	24.3%	74278	5.0%	73603	6.5%
w04r01o302gHPsON	27879	33.9%	29719	35.2%	40742	25.5%	43177	28.2%	76596	2.1%	76057	3.4%
w04r01o302gHPsOF	28693	32.0%	30538	33.4%	42176	22.8%	44647	25.7%	74644	4.6%	74106	5.9%
w04r01o302gLPsON	28115	33.3%	30202	34.2%	41238	24.6%	44003	26.8%	75966	2.9%	75309	4.3%
w04r01o302gLPsOF	29176	30.8%	31240	31.9%	43007	21.3%	45797	23.8%	73697	5.8%	73030	7.2%
w04r02o032gHPsON	26859	36.3%	28742	37.3%	39246	28.2%	41719	30.6%	77906	0.4%	77323	1.8%
w04r02o032gHPsOF	27638	34.5%	29550	35.6%	40722	25.5%	43231	28.1%	75764	3.1%	75172	4.5%
w04r02o032gLPsON	27187	35.5%	29336	36.0%	39748	27.3%	42574	29.2%	77500	0.9%	76809	2.4%
w04r02o032gLPsOF	28156	33.3%	30303	33.9%	41449	24.2%	44304	26.3%	75161	3.9%	74452	5.4%
w04r02o122gHPsON	27272	35.3%	29149	36.5%	39693	27.4%	42151	29.9%	77764	0.6%	77193	2.0%
w04r02o122gHPsOF	27711	34.3%	29635	35.4%	40628	25.7%	43142	28.2%	76201	2.6%	75615	4.0%
w04r02o122gLPsON	27573	34.6%	29721	35.2%	40136	26.6%	42958	28.5%	77428	1.0%	76748	2.5%
w04r02o122gLPsOF	28153	33.3%	30328	33.9%	41247	24.5%	44120	26.6%	75703	3.2%	75004	4.7%

w04r02o212gHPsON	27048	35.9%	28922	36.9%	39528	27.7%	41990	30.1%	77596	0.8%	77022	2.2%
w04r02o212gHPsOF	27534	34.7%	29453	35.8%	40602	25.7%	43115	28.3%	75805	3.1%	75213	4.5%
w04r02o212gLPsON	27290	35.3%	29431	35.8%	40007	26.8%	42822	28.8%	77023	1.5%	76337	3.0%
w04r02o212gLPsOF	28060	33.5%	30225	34.1%	41470	24.1%	44331	26.3%	74847	4.3%	74135	5.8%
w04r02o302gHPsON	26868	36.3%	28753	37.3%	39457	27.8%	41929	30.2%	77275	1.2%	76696	2.6%
w04r02o302gHPsOF	27659	34.4%	29574	35.5%	40913	25.1%	43423	27.8%	75266	3.8%	74681	5.1%
w04r02o302gLPsON	27131	35.7%	29284	36.2%	40004	26.8%	42828	28.8%	76564	2.1%	75874	3.6%
w04r02o302gLPsOF	28173	33.2%	30320	33.9%	41803	23.5%	44651	25.7%	74217	5.1%	73509	6.6%
w04r03o032gHPsON	21336	49.4%	23189	49.4%	32468	40.6%	34963	41.8%	80567	-3.0%	80177	-1.8%
w04r03o032gHPsOF	22088	47.6%	23973	47.7%	34053	37.7%	36603	39.1%	78231	0.0%	77821	1.2%
w04r03o032gLPsON	21959	47.9%	24124	47.4%	33341	39.0%	36234	39.7%	79891	-2.1%	79396	-0.8%
w04r03o032gLPsOF	22916	45.7%	25123	45.2%	35189	35.6%	38133	36.6%	77314	1.2%	76791	2.5%
w04r03o122gHPsON	21768	48.4%	23595	48.6%	32928	39.8%	35406	41.1%	80448	-2.8%	80057	-1.7%
w04r03o122gHPsOF	22195	47.4%	24067	47.5%	33966	37.9%	36517	39.3%	78743	-0.7%	78336	0.5%
w04r03o122gLPsON	22373	47.0%	24517	46.6%	33748	38.3%	36632	39.1%	79845	-2.1%	79349	-0.8%
w04r03o122gLPsOF	22948	45.6%	25142	45.2%	34983	36.0%	37931	36.9%	77946	0.4%	77428	1.7%
w04r03o212gHPsON	21529	49.0%	23369	49.1%	32800	40.0%	35286	41.3%	80124	-2.4%	79738	-1.3%
w04r03o212gHPsOF	22006	47.8%	23896	47.9%	33952	37.9%	36509	39.3%	78282	-0.1%	77875	1.1%
w04r03o212gLPsON	22049	47.7%	24216	47.2%	33646	38.4%	36536	39.2%	79253	-1.3%	78760	0.0%
w04r03o212gLPsOF	22834	45.9%	25062	45.4%	35246	35.5%	38205	36.4%	76940	1.6%	76412	2.9%
w04r03o302gHPsON	21347	49.4%	23197	49.4%	32692	40.2%	35192	41.5%	79925	-2.2%	79531	-1.0%
w04r03o302gHPsOF	22110	47.6%	23994	47.7%	34273	37.3%	36827	38.7%	77667	0.7%	77254	1.9%
w04r03o302gLPsON	21879	48.1%	24063	47.5%	33613	38.5%	36518	39.3%	78883	-0.8%	78383	0.4%
w04r03o302gLPsOF	22909	45.7%	25136	45.2%	35582	34.9%	38530	35.9%	76217	2.6%	75687	3.9%
w04r04o032gHPsON	21494	49.0%	23339	49.1%	32687	40.2%	35160	41.5%	80426	-2.8%	80034	-1.7%
w04r04o032gHPsOF	22253	47.2%	24128	47.4%	34272	37.3%	36798	38.8%	78098	0.2%	77683	1.3%
w04r04o032gLPsON	22115	47.6%	24269	47.1%	33554	38.6%	36421	39.4%	79758	-2.0%	79262	-0.7%
w04r04o032gLPsOF	23081	45.3%	25270	44.9%	35403	35.2%	38317	36.3%	77190	1.3%	76662	2.6%
w04r04o122gHPsON	21925	48.0%	23747	48.2%	33145	39.4%	35598	40.8%	80309	-2.7%	79921	-1.5%
w04r04o122gHPsOF	22359	47.0%	24224	47.2%	34186	37.5%	36712	38.9%	78607	-0.5%	78198	0.7%
w04r04o122gLPsON	22530	46.6%	24663	46.2%	33960	37.9%	36816	38.8%	79717	-1.9%	79221	-0.6%
w04r04o122gLPsOF	23111	45.2%	25291	44.9%	35196	35.6%	38114	36.6%	77823	0.5%	77302	1.8%
w04r04o212gHPsON	21690	48.6%	23521	48.7%	33018	39.6%	35482	41.0%	79996	-2.3%	79606	-1.1%
w04r04o212gHPsOF	22170	47.4%	24050	47.6%	34168	37.5%	36701	38.9%	78159	0.1%	77745	1.3%
w04r04o212gLPsON	22208	47.4%	24362	46.9%	33857	38.1%	36720	38.9%	79135	-1.2%	78637	0.1%

w04r04o212gLPsOF	22997	45.5%	25208	45.0%	35455	35.1%	38383	36.1%	76828	1.8%	76295	3.1%
w04r04o302gHPsON	21511	49.0%	23352	49.1%	32917	39.8%	35393	41.1%	79783	-2.0%	79387	-0.8%
w04r04o302gHPsOF	22277	47.2%	24149	47.4%	34493	36.9%	37020	38.4%	77541	0.9%	77123	2.0%
w04r04o302gLPsON	22041	47.7%	24210	47.2%	33829	38.1%	36705	38.9%	78754	-0.7%	78251	0.6%
w04r04o302gLPsOF	23074	45.3%	25281	44.9%	35793	34.5%	38710	35.6%	76104	2.7%	75567	4.0%
w04r05o032gHPsON	24422	42.1%	26298	42.7%	36295	33.6%	38746	35.5%	79027	-1.0%	78521	0.3%
w04r05o032gHPsOF	25206	40.2%	27111	40.9%	37822	30.8%	40316	32.9%	76789	1.8%	76250	3.2%
w04r05o032gLPsON	24884	41.0%	27060	41.0%	36955	32.4%	39785	33.8%	78494	-0.3%	77889	1.1%
w04r05o032gLPsOF	25858	38.7%	28049	38.9%	38732	29.1%	41590	30.8%	76043	2.8%	75393	4.2%
w04r05o122gHPsON	24858	41.1%	26724	41.7%	36767	32.7%	39203	34.8%	78887	-0.8%	78382	0.4%
w04r05o122gHPsOF	25302	40.0%	27211	40.7%	37750	30.9%	40246	33.0%	77255	1.2%	76720	2.6%
w04r05o122gLPsON	25292	40.0%	27459	40.1%	37366	31.6%	40190	33.1%	78428	-0.3%	77824	1.2%
w04r05o122gLPsOF	25877	38.7%	28078	38.8%	38536	29.5%	41412	31.1%	76628	2.0%	75986	3.5%
w04r05o212gHPsON	24612	41.7%	26479	42.3%	36601	33.0%	39040	35.1%	78654	-0.6%	78152	0.7%
w04r05o212gHPsOF	25106	40.5%	27020	41.1%	37706	31.0%	40206	33.1%	76838	1.8%	76299	3.1%
w04r05o212gLPsON	24978	40.8%	27152	40.8%	37237	31.9%	40056	33.4%	77937	0.4%	77333	1.8%
w04r05o212gLPsOF	25769	38.9%	27980	39.0%	38769	29.1%	41639	30.7%	75698	3.2%	75042	4.7%
w04r05o302gHPsON	24434	42.1%	26308	42.6%	36519	33.2%	38970	35.2%	78375	-0.2%	77864	1.1%
w04r05o302gHPsOF	25234	40.2%	27140	40.8%	38040	30.4%	40535	32.6%	76243	2.5%	75701	3.9%
w04r05o302gLPsON	24814	41.2%	27000	41.1%	37218	31.9%	40050	33.4%	77513	0.9%	76902	2.3%
w04r05o302gLPsOF	25863	38.7%	28062	38.8%	39107	28.5%	41963	30.2%	75015	4.1%	74356	5.6%
w04r06o032gHPsON	21005	50.2%	22852	50.2%	32066	41.3%	34571	42.5%	80707	-3.2%	80326	-2.0%
w04r06o032gHPsOF	21749	48.4%	23631	48.5%	33657	38.4%	36219	39.7%	78359	-0.2%	77959	1.0%
w04r06o032gLPsON	21638	48.7%	23802	48.1%	32953	39.7%	35862	40.3%	80015	-2.3%	79526	-1.0%
w04r06o032gLPsOF	22588	46.5%	24796	45.9%	34810	36.3%	37769	37.2%	77422	1.0%	76907	2.3%
w04r06o122gHPsON	21434	49.2%	23253	49.3%	32521	40.5%	35010	41.8%	80590	-3.0%	80207	-1.9%
w04r06o122gHPsOF	21856	48.2%	23722	48.3%	33567	38.6%	36131	39.9%	78875	-0.8%	78477	0.3%
w04r06o122gLPsON	22051	47.7%	24194	47.3%	33357	39.0%	36259	39.7%	79970	-2.2%	79480	-0.9%
w04r06o122gLPsOF	22622	46.4%	24816	45.9%	34601	36.7%	37566	37.5%	78058	0.2%	77548	1.5%
w04r06o212gHPsON	21200	49.7%	23033	49.8%	32401	40.7%	34898	41.9%	80257	-2.6%	79880	-1.5%
w04r06o212gHPsOF	21670	48.6%	23556	48.6%	33558	38.6%	36128	39.9%	78412	-0.2%	78015	0.9%
w04r06o212gLPsON	21729	48.5%	23894	47.9%	33263	39.1%	36167	39.8%	79368	-1.5%	78881	-0.2%
w04r06o212gLPsOF	22508	46.6%	24736	46.1%	34871	36.2%	37842	37.0%	77044	1.5%	76524	2.8%
w04r06o302gHPsON	21016	50.2%	22860	50.2%	32289	40.9%	34801	42.1%	80066	-2.4%	79681	-1.2%
w04r06o302gHPsOF	21770	48.4%	23654	48.4%	33878	38.0%	36445	39.4%	77792	0.6%	77389	1.7%

w04r06o302gLPsON	21558	48.9%	23742	48.2%	33229	39.2%	36147	39.9%	79004	-1.0%	78509	0.3%
w04r06o302gLPsOF	22580	46.5%	24808	45.9%	35206	35.6%	38167	36.5%	76317	2.4%	75795	3.7%
w05r01o032gHPsON	28952	31.4%	31416	31.5%	42449	22.3%	45715	24.0%	75942	2.9%	75279	4.4%
w05r01o032gHPsOF	31221	26.0%	33610	26.7%	45949	15.9%	49274	18.0%	71671	8.4%	71014	9.8%
w05r01o032gLPsON	29208	30.8%	31857	30.6%	42821	21.7%	46327	22.9%	75746	3.2%	74974	4.8%
w05r01o032gLPsOF	31559	25.2%	34128	25.6%	46384	15.1%	49942	16.9%	71467	8.6%	70649	10.3%
w05r01o122gHPsON	29698	29.6%	32145	29.9%	43195	21.0%	46448	22.7%	75806	3.1%	75149	4.6%
w05r01o122gHPsOF	31070	26.3%	33501	27.0%	45394	16.9%	48741	18.9%	72789	6.9%	72113	8.4%
w05r01o122gLPsON	29907	29.1%	32542	29.1%	43490	20.4%	46993	21.8%	75664	3.3%	74895	4.9%
w05r01o122gLPsOF	31352	25.7%	33960	26.0%	45758	16.3%	49352	17.9%	72619	7.2%	71789	8.8%
w05r01o212gHPsON	29015	31.2%	31462	31.4%	42855	21.6%	46115	23.3%	74903	4.2%	74259	5.7%
w05r01o212gHPsOF	31126	26.2%	33533	26.9%	46165	15.5%	49523	17.6%	70819	9.5%	70176	10.9%
w05r01o212gLPsON	29208	30.8%	31844	30.6%	43208	20.9%	46710	22.3%	74608	4.6%	73846	6.2%
w05r01o212gLPsOF	31488	25.4%	34075	25.7%	46710	14.5%	50301	16.3%	70369	10.0%	69557	11.7%
w05r01o302gHPsON	28744	31.9%	31216	31.9%	42795	21.7%	46086	23.3%	74180	5.2%	73528	6.6%
w05r01o302gHPsOF	31192	26.1%	33581	26.8%	46613	14.7%	49964	16.9%	69755	10.8%	69144	12.2%
w05r01o302gLPsON	28963	31.3%	31626	31.1%	43213	20.9%	46738	22.2%	73805	5.6%	73032	7.2%
w05r01o302gLPsOF	31553	25.2%	34123	25.6%	47176	13.7%	50749	15.6%	69266	11.5%	68489	13.0%
w05r02o032gHPsON	28132	33.3%	30681	33.1%	41424	24.2%	44782	25.5%	76436	2.3%	75741	3.8%
w05r02o032gHPsOF	30389	28.0%	32876	28.3%	44986	17.7%	48413	19.5%	72023	7.9%	71341	9.4%
w05r02o032gLPsON	28422	32.6%	31171	32.0%	41851	23.4%	45460	24.4%	76187	2.6%	75386	4.3%
w05r02o032gLPsOF	30769	27.1%	33424	27.1%	45469	16.8%	49140	18.3%	71765	8.3%	70924	9.9%
w05r02o122gHPsON	28889	31.5%	31426	31.5%	42203	22.8%	45546	24.2%	76271	2.5%	75584	4.0%
w05r02o122gHPsOF	30255	28.3%	32790	28.5%	44451	18.7%	47899	20.3%	73149	6.5%	72449	8.0%
w05r02o122gLPsON	29135	30.9%	31869	30.5%	42550	22.2%	46153	23.2%	76082	2.7%	75288	4.4%
w05r02o122gLPsOF	30582	27.5%	33284	27.4%	44864	17.9%	48565	19.2%	72931	6.8%	72086	8.4%
w05r02o212gHPsON	28186	33.2%	30727	33.0%	41836	23.5%	45191	24.8%	75360	3.7%	74683	5.1%
w05r02o212gHPsOF	30295	28.2%	32794	28.5%	45206	17.3%	48670	19.0%	71140	9.1%	70463	10.5%
w05r02o212gLPsON	28415	32.6%	31152	32.1%	42239	22.7%	45845	23.7%	75018	4.1%	74226	5.7%
w05r02o212gLPsOF	30699	27.2%	33363	27.3%	45794	16.2%	49502	17.7%	70646	9.7%	69803	11.3%
w05r02o302gHPsON	27906	33.8%	30477	33.6%	41769	23.6%	45156	24.9%	74634	4.6%	73953	6.1%
w05r02o302gHPsOF	30362	28.0%	32835	28.4%	45662	16.5%	49122	18.3%	70047	10.5%	69402	11.9%
w05r02o302gLPsON	28164	33.2%	30927	32.6%	42239	22.7%	45871	23.7%	74204	5.1%	73408	6.8%
w05r02o302gLPsOF	30765	27.1%	33406	27.2%	46274	15.3%	49965	16.9%	69501	11.1%	68690	12.8%
w05r03o032gHPsON	23978	43.2%	26675	41.8%	36498	33.2%	40044	33.4%	77819	0.5%	77174	2.0%

w05r03o032gHPsOF	26281	37.7%	28982	36.8%	40461	26.0%	44032	26.8%	72683	7.1%	72051	8.5%
w05r03o032gLPsON	24476	42.0%	27414	40.2%	37166	32.0%	40991	31.8%	77446	1.0%	76725	2.5%
w05r03o032gLPsOF	26872	36.3%	29783	35.1%	41195	24.6%	45042	25.1%	72329	7.5%	71580	9.1%
w05r03o122gHPsON	24801	41.2%	27471	40.1%	37363	31.6%	40904	32.0%	77587	0.8%	76939	2.3%
w05r03o122gHPsOF	26185	37.9%	28910	37.0%	39894	27.0%	43514	27.6%	73966	5.4%	73311	6.9%
w05r03o122gLPsON	25245	40.2%	28160	38.6%	37939	30.6%	41773	30.5%	77288	1.2%	76563	2.8%
w05r03o122gLPsOF	26709	36.7%	29660	35.3%	40543	25.8%	44453	26.1%	73657	5.8%	72895	7.4%
w05r03o212gHPsON	23999	43.1%	26684	41.8%	36948	32.4%	40468	32.7%	76559	2.1%	75926	3.6%
w05r03o212gHPsOF	26149	38.0%	28885	37.0%	40692	25.6%	44293	26.3%	71693	8.3%	71053	9.8%
w05r03o212gLPsON	24427	42.1%	27371	40.3%	37599	31.2%	41402	31.1%	76088	2.7%	75374	4.3%
w05r03o212gLPsOF	26776	36.5%	29726	35.2%	41565	24.0%	45436	24.4%	71071	9.1%	70296	10.7%
w05r03o302gHPsON	23693	43.8%	26406	42.4%	36855	32.6%	40391	32.8%	75876	3.0%	75240	4.4%
w05r03o302gHPsOF	26186	37.9%	28926	36.9%	41199	24.6%	44780	25.5%	70432	10.0%	69822	11.3%
w05r03o302gLPsON	24147	42.8%	27128	40.9%	37582	31.2%	41395	31.1%	75307	3.7%	74589	5.3%
w05r03o302gLPsOF	26805	36.5%	29747	35.2%	42087	23.0%	45917	23.6%	69775	10.8%	69024	12.3%
w05r04o032gHPsON	24112	42.8%	26780	41.6%	36662	32.9%	40173	33.2%	77752	0.6%	77105	2.1%
w05r04o032gHPsOF	26410	37.4%	29088	36.6%	40611	25.7%	44154	26.5%	72644	7.1%	72009	8.5%
w05r04o032gLPsON	24600	41.7%	27512	40.0%	37321	31.7%	41115	31.6%	77381	1.1%	76657	2.6%
w05r04o032gLPsOF	26997	36.0%	29881	34.9%	41340	24.4%	45159	24.9%	72287	7.6%	71536	9.1%
w05r04o122gHPsON	24930	40.9%	27571	39.9%	37517	31.4%	41021	31.8%	77537	0.9%	76889	2.3%
w05r04o122gHPsOF	26315	37.6%	29015	36.7%	40045	26.7%	43630	27.4%	73928	5.5%	73271	6.9%
w05r04o122gLPsON	25366	39.9%	28255	38.4%	38085	30.3%	41886	30.3%	77238	1.3%	76510	2.8%
w05r04o122gLPsOF	26832	36.4%	29756	35.1%	40685	25.6%	44562	25.9%	73620	5.9%	72856	7.5%
w05r04o212gHPsON	24134	42.8%	26792	41.6%	37109	32.1%	40598	32.5%	76510	2.2%	75871	3.6%
w05r04o212gHPsOF	26279	37.7%	28995	36.8%	40839	25.3%	44415	26.1%	71671	8.4%	71030	9.8%
w05r04o212gLPsON	24553	41.8%	27470	40.1%	37750	30.9%	41523	30.9%	76041	2.8%	75322	4.3%
w05r04o212gLPsOF	26897	36.2%	29821	35.0%	41697	23.7%	45543	24.2%	71056	9.2%	70278	10.7%
w05r04o302gHPsON	23835	43.5%	26521	42.2%	37023	32.3%	40528	32.6%	75819	3.1%	75180	4.5%
w05r04o302gHPsOF	26318	37.6%	29036	36.7%	41345	24.4%	44900	25.3%	70420	10.0%	69808	11.3%
w05r04o302gLPsON	24277	42.4%	27230	40.6%	37739	31.0%	41520	30.9%	75251	3.8%	74530	5.3%
w05r04o302gLPsOF	26933	36.2%	29847	34.9%	42228	22.7%	46032	23.4%	69756	10.8%	69004	12.4%
w05r05o032gHPsON	26284	37.7%	28891	37.0%	39203	28.3%	42667	29.0%	77066	1.5%	76379	3.0%
w05r05o032gHPsOF	28528	32.4%	31148	32.1%	42939	21.4%	46455	22.7%	72305	7.6%	71646	9.0%
w05r05o032gLPsON	26660	36.8%	29501	35.7%	39744	27.3%	43478	27.7%	76753	1.9%	75968	3.5%
w05r05o032gLPsOF	29005	31.2%	31797	30.7%	43531	20.4%	47304	21.3%	71996	8.0%	71191	9.6%

w05r05o122gHPsON	27072	35.8%	29668	35.3%	40024	26.8%	43484	27.7%	76860	1.7%	76177	3.2%
w05r05o122gHPsOF	28420	32.6%	31067	32.3%	42397	22.4%	45941	23.6%	73496	6.0%	72807	7.5%
w05r05o122gLPsON	27403	35.0%	30227	34.1%	40483	25.9%	44222	26.4%	76613	2.1%	75832	3.7%
w05r05o122gLPsOF	28838	31.6%	31672	31.0%	42915	21.5%	46736	22.3%	73233	6.4%	72415	8.0%
w05r05o212gHPsON	26315	37.6%	28920	37.0%	39627	27.5%	43082	28.3%	75900	3.0%	75225	4.5%
w05r05o212gHPsOF	28416	32.6%	31069	32.3%	43169	21.0%	46723	22.3%	71360	8.8%	70696	10.2%
w05r05o212gLPsON	26628	36.9%	29465	35.8%	40144	26.6%	43870	27.0%	75490	3.5%	74714	5.1%
w05r05o212gLPsOF	28931	31.4%	31749	30.8%	43883	19.7%	47692	20.7%	70799	9.5%	69981	11.1%
w05r05o302gHPsON	26020	38.3%	28660	37.5%	39552	27.6%	43028	28.4%	75183	3.9%	74507	5.4%
w05r05o302gHPsOF	28481	32.5%	31111	32.2%	43664	20.1%	47196	21.5%	70177	10.3%	69537	11.7%
w05r05o302gLPsON	26357	37.5%	29233	36.3%	40134	26.6%	43875	27.0%	74687	4.5%	73910	6.1%
w05r05o302gLPsOF	28984	31.3%	31782	30.7%	44391	18.8%	48164	19.9%	69579	11.1%	68788	12.6%
w05r06o032gHPsON	23725	43.8%	26436	42.4%	36218	33.7%	39776	33.8%	77857	0.5%	77219	1.9%
w05r06o032gHPsOF	26039	38.3%	28750	37.3%	40210	26.4%	43793	27.1%	72681	7.1%	72052	8.5%
w05r06o032gLPsON	24237	42.5%	27187	40.7%	36899	32.5%	40737	32.2%	77482	0.9%	76768	2.5%
w05r06o032gLPsOF	26643	36.8%	29568	35.5%	40958	25.1%	44818	25.4%	72326	7.5%	71582	9.1%
w05r06o122gHPsON	24552	41.8%	27232	40.6%	37086	32.1%	40638	32.4%	77626	0.8%	76985	2.2%
w05r06o122gHPsOF	25943	38.5%	28675	37.5%	39637	27.5%	43269	28.0%	73977	5.4%	73327	6.9%
w05r06o122gLPsON	25009	40.7%	27936	39.1%	37675	31.1%	41521	30.9%	77325	1.1%	76606	2.7%
w05r06o122gLPsOF	26478	37.2%	29442	35.8%	40299	26.3%	44222	26.4%	73667	5.8%	72910	7.4%
w05r06o212gHPsON	23745	43.7%	26444	42.4%	36672	32.9%	40203	33.1%	76588	2.1%	75962	3.5%
w05r06o212gHPsOF	25905	38.6%	28651	37.5%	40440	26.0%	44051	26.7%	71690	8.4%	71053	9.8%
w05r06o212gLPsON	24188	42.7%	27146	40.8%	37336	31.7%	41151	31.5%	76116	2.7%	75409	4.2%
w05r06o212gLPsOF	26543	37.1%	29509	35.7%	41328	24.4%	45210	24.8%	71067	9.1%	70296	10.7%
w05r06o302gHPsON	23437	44.4%	26163	43.0%	36576	33.1%	40123	33.3%	75909	3.0%	75280	4.4%
w05r06o302gHPsOF	25939	38.5%	28694	37.4%	40947	25.1%	44541	25.9%	70420	10.0%	69813	11.3%
w05r06o302gLPsON	23905	43.3%	26901	41.4%	37318	31.7%	41142	31.6%	75338	3.7%	74625	5.2%
w05r06o302gLPsOF	26570	37.0%	29531	35.6%	41853	23.4%	45694	24.0%	69761	10.8%	69012	12.3%
w06r01o032gHPsON	27699	34.3%	29522	35.6%	40345	26.2%	42740	28.9%	77213	1.3%	76696	2.6%
w06r01o032gHPsOF	28407	32.7%	30236	34.1%	41646	23.8%	44077	26.7%	75298	3.7%	74778	5.0%
w06r01o032gLPsON	27990	33.6%	30066	34.5%	40786	25.4%	43525	27.6%	76862	1.7%	76234	3.2%
w06r01o032gLPsOF	28891	31.5%	30947	32.5%	42320	22.6%	45087	25.0%	74744	4.4%	74104	5.9%
w06r01o122gHPsON	28081	33.4%	29901	34.8%	40748	25.4%	43134	28.2%	77098	1.4%	76588	2.7%
w06r01o122gHPsOF	28464	32.5%	30309	33.9%	41551	24.0%	43990	26.8%	75711	3.2%	75194	4.5%
w06r01o122gLPsON	28346	32.8%	30422	33.7%	41132	24.7%	43872	27.0%	76812	1.8%	76191	3.2%

w06r01o122gLPsOF	28869	31.6%	30956	32.5%	42115	22.9%	44903	25.3%	75256	3.8%	74621	5.2%
w06r01o212gHPsON	27888	33.9%	29704	35.2%	40595	25.7%	42982	28.5%	76986	1.6%	76475	2.9%
w06r01o212gHPsOF	28285	32.9%	30130	34.3%	41498	24.1%	43935	26.9%	75398	3.6%	74878	4.9%
w06r01o212gLPsON	28095	33.4%	30163	34.2%	41014	25.0%	43745	27.2%	76459	2.3%	75835	3.7%
w06r01o212gLPsOF	28777	31.8%	30857	32.7%	42312	22.6%	45089	25.0%	74483	4.8%	73838	6.2%
w06r01o302gHPsON	27714	34.3%	29536	35.6%	40522	25.9%	42919	28.6%	76684	2.0%	76170	3.3%
w06r01o302gHPsOF	28420	32.6%	30258	34.0%	41794	23.5%	44228	26.4%	74913	4.2%	74398	5.5%
w06r01o302gLPsON	27945	33.8%	30019	34.6%	41011	25.0%	43750	27.2%	76026	2.8%	75399	4.2%
w06r01o302gLPsOF	28899	31.5%	30961	32.5%	42626	22.0%	45392	24.5%	73916	5.5%	73279	6.9%
w06r02o032gHPsON	26685	36.7%	28543	37.8%	39037	28.6%	41475	31.0%	77938	0.4%	77385	1.7%
w06r02o032gHPsOF	27373	35.1%	29258	36.2%	40361	26.2%	42833	28.7%	75977	2.9%	75413	4.2%
w06r02o032gLPsON	27012	36.0%	29140	36.5%	39537	27.7%	42332	29.6%	77517	0.9%	76856	2.4%
w06r02o032gLPsOF	27887	33.9%	30022	34.6%	41099	24.8%	43918	26.9%	75342	3.7%	74662	5.2%
w06r02o122gHPsON	27075	35.8%	28930	36.9%	39458	27.8%	41884	30.3%	77809	0.5%	77264	1.9%
w06r02o122gHPsOF	27452	34.9%	29350	36.0%	40290	26.3%	42767	28.9%	76381	2.4%	75822	3.7%
w06r02o122gLPsON	27377	35.1%	29506	35.7%	39901	27.0%	42693	29.0%	77458	1.0%	76804	2.4%
w06r02o122gLPsOF	27892	33.9%	30054	34.5%	40918	25.1%	43756	27.2%	75855	3.0%	75184	4.5%
w06r02o212gHPsON	26878	36.3%	28728	37.4%	39306	28.1%	41733	30.6%	77681	0.7%	77135	2.0%
w06r02o212gHPsOF	27266	35.4%	29159	36.4%	40217	26.4%	42697	29.0%	76083	2.7%	75519	4.1%
w06r02o212gLPsON	27114	35.7%	29237	36.3%	39779	27.2%	42564	29.2%	77087	1.5%	76430	2.9%
w06r02o212gLPsOF	27782	34.1%	29938	34.7%	41093	24.8%	43923	26.9%	75085	4.0%	74402	5.5%
w06r02o302gHPsON	26703	36.7%	28562	37.7%	39233	28.2%	41670	30.7%	77383	1.1%	76833	2.4%
w06r02o302gHPsOF	27397	35.1%	29289	36.1%	40525	25.9%	43000	28.5%	75573	3.4%	75015	4.7%
w06r02o302gLPsON	26958	36.1%	29092	36.6%	39774	27.2%	42568	29.2%	76648	2.0%	75985	3.5%
w06r02o302gLPsOF	27898	33.9%	30039	34.5%	41420	24.2%	44237	26.4%	74477	4.8%	73799	6.3%
w06r03o032gHPsON	21073	50.0%	22848	50.2%	32133	41.2%	34548	42.5%	80736	-3.2%	80382	-2.1%
w06r03o032gHPsOF	21733	48.5%	23544	48.7%	33533	38.6%	36006	40.1%	78645	-0.5%	78280	0.6%
w06r03o032gLPsON	21678	48.6%	23789	48.1%	32992	39.6%	35836	40.4%	80026	-2.3%	79563	-1.1%
w06r03o032gLPsOF	22543	46.6%	24690	46.2%	34673	36.6%	37561	37.5%	77664	0.7%	77185	2.0%
w06r03o122gHPsON	21472	49.1%	23222	49.4%	32559	40.4%	34959	41.8%	80614	-3.1%	80257	-1.9%
w06r03o122gHPsOF	21833	48.2%	23629	48.5%	33469	38.8%	35943	40.2%	79094	-1.1%	78724	0.0%
w06r03o122gLPsON	22063	47.7%	24155	47.3%	33368	39.0%	36206	39.8%	79984	-2.3%	79519	-1.0%
w06r03o122gLPsOF	22576	46.5%	24713	46.1%	34490	36.9%	37387	37.8%	78244	0.0%	77763	1.2%
w06r03o212gHPsON	21272	49.6%	23032	49.8%	32447	40.6%	34854	42.0%	80346	-2.7%	79997	-1.6%
w06r03o212gHPsOF	21646	48.7%	23461	48.9%	33413	38.9%	35897	40.3%	78754	-0.7%	78388	0.4%

w06r03o212gLPsON	21769	48.4%	23880	47.9%	33281	39.1%	36121	39.9%	79429	-1.5%	78969	-0.3%
w06r03o212gLPsOF	22450	46.8%	24620	46.3%	34712	36.5%	37619	37.4%	77326	1.1%	76839	2.4%
w06r03o302gHPsON	21088	50.0%	22862	50.2%	32334	40.8%	34757	42.2%	80169	-2.5%	79811	-1.4%
w06r03o302gHPsOF	21763	48.4%	23579	48.6%	33735	38.3%	36218	39.7%	78162	0.1%	77793	1.2%
w06r03o302gLPsON	21602	48.8%	23733	48.3%	33247	39.2%	36103	39.9%	79082	-1.1%	78614	0.2%
w06r03o302gLPsOF	22536	46.6%	24705	46.1%	35039	35.9%	37936	36.9%	76642	2.0%	76159	3.3%
w06r04o032gHPsON	21228	49.7%	23000	49.9%	32355	40.8%	34752	42.2%	80583	-3.0%	80229	-1.9%
w06r04o032gHPsOF	21897	48.1%	23700	48.3%	33760	38.2%	36212	39.8%	78492	-0.3%	78125	0.8%
w06r04o032gLPsON	21836	48.2%	23938	47.8%	33215	39.2%	36033	40.1%	79884	-2.1%	79423	-0.9%
w06r04o032gLPsOF	22710	46.2%	24846	45.8%	34897	36.2%	37760	37.2%	77526	0.9%	77047	2.1%
w06r04o122gHPsON	21630	48.7%	23379	49.0%	32778	40.0%	35158	41.5%	80482	-2.9%	80126	-1.8%
w06r04o122gHPsOF	22002	47.8%	23792	48.1%	33696	38.4%	36148	39.9%	78952	-0.9%	78583	0.2%
w06r04o122gLPsON	22224	47.3%	24306	47.0%	33589	38.5%	36399	39.4%	79857	-2.1%	79394	-0.8%
w06r04o122gLPsOF	22744	46.1%	24869	45.8%	34713	36.5%	37582	37.5%	78116	0.1%	77636	1.4%
w06r04o212gHPsON	21431	49.2%	23188	49.4%	32671	40.2%	35060	41.7%	80203	-2.5%	79851	-1.4%
w06r04o212gHPsOF	21808	48.3%	23617	48.5%	33634	38.5%	36099	39.9%	78612	-0.5%	78243	0.6%
w06r04o212gLPsON	21929	48.0%	24030	47.6%	33501	38.7%	36316	39.6%	79299	-1.4%	78839	-0.1%
w06r04o212gLPsOF	22615	46.4%	24772	46.0%	34925	36.1%	37808	37.1%	77207	1.3%	76718	2.6%
w06r04o302gHPsON	21255	49.6%	23022	49.8%	32566	40.4%	34969	41.8%	80018	-2.3%	79661	-1.2%
w06r04o302gHPsOF	21929	48.0%	23735	48.3%	33957	37.9%	36418	39.4%	78028	0.2%	77658	1.4%
w06r04o302gLPsON	21766	48.4%	23885	47.9%	33471	38.8%	36301	39.6%	78945	-0.9%	78479	0.3%
w06r04o302gLPsOF	22704	46.2%	24859	45.8%	35258	35.5%	38131	36.6%	76519	2.2%	76033	3.4%
w06r05o032gHPsON	24226	42.6%	26056	43.2%	36052	34.0%	38451	36.0%	79111	-1.1%	78649	0.1%
w06r05o032gHPsOF	24919	40.9%	26775	41.6%	37408	31.6%	39850	33.7%	77089	1.4%	76605	2.7%
w06r05o032gLPsON	24681	41.5%	26820	41.5%	36708	32.8%	39500	34.3%	78559	-0.4%	77995	0.9%
w06r05o032gLPsOF	25571	39.4%	27726	39.6%	38331	29.9%	41151	31.5%	76301	2.5%	75705	3.8%
w06r05o122gHPsON	24632	41.6%	26453	42.3%	36492	33.2%	38880	35.3%	78972	-1.0%	78509	0.3%
w06r05o122gHPsOF	25013	40.7%	26873	41.4%	37359	31.6%	39804	33.8%	77499	0.9%	77014	2.2%
w06r05o122gLPsON	25064	40.6%	27193	40.7%	37095	32.1%	39882	33.7%	78495	-0.3%	77930	1.0%
w06r05o122gLPsOF	25590	39.3%	27756	39.5%	38159	30.2%	40998	31.8%	76835	1.8%	76242	3.2%
w06r05o212gHPsON	24422	42.1%	26241	42.8%	36343	33.5%	38730	35.6%	78793	-0.7%	78336	0.5%
w06r05o212gHPsOF	24820	41.2%	26685	41.8%	37277	31.8%	39729	33.9%	77196	1.3%	76708	2.6%
w06r05o212gLPsON	24778	41.3%	26915	41.3%	36975	32.4%	39759	33.9%	78046	0.2%	77485	1.6%
w06r05o212gLPsOF	25480	39.6%	27656	39.7%	38353	29.8%	41191	31.5%	75996	2.8%	75392	4.2%
w06r05o302gHPsON	24246	42.5%	26071	43.2%	36259	33.7%	38659	35.7%	78534	-0.4%	78069	0.8%

w06r05o302gHPsOF	24959	40.8%	26817	41.5%	37610	31.2%	40054	33.4%	76629	2.0%	76143	3.3%
w06r05o302gLPsON	24616	41.6%	26767	41.6%	36955	32.4%	39752	33.9%	77645	0.7%	77077	2.1%
w06r05o302gLPsOF	25582	39.4%	27749	39.5%	38683	29.2%	41506	31.0%	75351	3.7%	74748	5.1%
w06r06o032gHPsON	20734	50.8%	22498	51.0%	31726	42.0%	34146	43.2%	80883	-3.4%	80535	-2.3%
w06r06o032gHPsOF	21385	49.3%	23188	49.4%	33132	39.4%	35608	40.8%	78783	-0.7%	78425	0.4%
w06r06o032gLPsON	21347	49.4%	23452	48.9%	32593	40.4%	35448	41.0%	80156	-2.5%	79696	-1.2%
w06r06o032gLPsOF	22206	47.4%	24348	46.9%	34283	37.3%	37179	38.2%	77780	0.6%	77306	1.8%
w06r06o122gHPsON	21127	49.9%	22865	50.2%	32144	41.2%	34551	42.5%	80767	-3.3%	80416	-2.1%
w06r06o122gHPsOF	21485	49.1%	23268	49.3%	33063	39.5%	35540	40.9%	79238	-1.3%	78876	-0.2%
w06r06o122gLPsON	21731	48.5%	23815	48.1%	32965	39.7%	35815	40.4%	80118	-2.4%	79657	-1.2%
w06r06o122gLPsOF	22241	47.3%	24372	46.9%	34096	37.6%	37005	38.4%	78366	-0.2%	77890	1.1%
w06r06o212gHPsON	20932	50.4%	22681	50.6%	32043	41.4%	34455	42.7%	80485	-2.9%	80142	-1.8%
w06r06o212gHPsOF	21299	49.5%	23105	49.6%	33012	39.6%	35498	40.9%	78893	-0.9%	78534	0.3%
w06r06o212gLPsON	21437	49.2%	23542	48.7%	32885	39.8%	35736	40.6%	79549	-1.7%	79093	-0.5%
w06r06o212gLPsOF	22113	47.6%	24277	47.1%	34323	37.2%	37237	38.1%	77440	1.0%	76958	2.3%
w06r06o302gHPsON	20749	50.8%	22511	50.9%	31927	41.6%	34355	42.8%	80317	-2.7%	79965	-1.6%
w06r06o302gHPsOF	21414	49.2%	23220	49.4%	33332	39.0%	35818	40.4%	78300	-0.1%	77938	1.0%
w06r06o302gLPsON	21270	49.6%	23396	49.0%	32850	39.9%	35717	40.6%	79208	-1.3%	78744	0.0%
w06r06o302gLPsOF	22197	47.4%	24362	46.9%	34650	36.6%	37555	37.5%	76750	1.9%	76272	3.1%

Allegato D_ Pubblicazione

Retrofit interventions in non-conditioned rooms: calibration of an assessment method on a farm winery

Alberto Barbaresi* , Francesca Dallacasa, Daniele Torreggiani and Patrizia Tassinari

Department of Agricultural Sciences, University of Bologna, Bologna, Italy

(Received 15 October 2015; accepted 11 January 2016)

In the Mediterranean area, most wine farms make use of unconditioned above-ground buildings for wine conservation and ageing. Those buildings are usually constructed without a specific temperature control design, therefore indoor temperature distributions and trends can be suboptimal for wine storage. At the same time, various elements (commonly available in farms such as straw bales and climbing plants) could be used to create cheap constructive solutions capable of improving building's thermal behaviour. This study aims to test the effectiveness of different retrofit interventions for thermal behaviour improvement in unconditioned above-ground farm buildings, referring to wine-ageing requirements. The alternative design solutions are evaluated through energy simulations, calibrated and validated on an Italian case study. The results show the importance of roof insulation, and the improved performance of the combination of more retrofit strategies. The proposed approach can be extended to other passive strategies and proves useful to provide information to optimize, or even avoid, conditioning systems.

Keywords: energy simulation; building thermal performance; rural building retrofit; winery design; calibrated modelling

1. Introduction

In recent years, growing attention has been paid to the contribution of the construction industry to the depletion of non-renewable resources and energy over-exploitation. However, the approval of Kyoto's protocol has paved the way for new environmental policies, aiming at combining high-quality built environments with an optimized use of natural resources. This renewed attention addresses both new constructions and existing ones. According to the latest European directives, by the end of 2020 all new constructions will have to be nearly Zero-Energy Buildings. At the same time, a remarkable part of the overall efforts put in the improvement of the energy efficiency of the building sector will be addressed to renovate the existing building stock in the next years, with the aim to reduce the energy demand of indoor temperature control systems.

Due to both high incidence in production costs and increased awareness of environmental sustainability issues, in the last few years the reduction in energy consumption has been gaining increasing attention in farm building design and construction as well, particularly in food- and wine-processing buildings (Benni et al. 2008; Tassinari et al. 2013; Torreggiani et al. 2014) where environmental conditions, in particular temperature control, play an important role in the product quality (Mazarrón, Cid-Falceto, and Cañas Guerrero 2012;

De Rosis et al. 2014). With particular reference to the wine sector, in order to achieve high-quality standards, wine-making and storage/ageing rooms should keep wine temperature and indoor humidity in specific intervals for long periods, as suggested by many authors (Marescalchi 1965; Vogt 1971). Unlike temperature, humidity does not affect wine quality directly, and plays a crucial role only when wine is stored in wooden tanks or barrels. Wood porosity can facilitate the formation of mould when relative humidity reaches high values (over 90–95 %), and cause excessive wine losses due to evaporation when relative humidity is low (Ruiz De Adana, Lopez, and Sala 2005). Since the wine-making process requires strict temperature control due to the heat released by alcoholic fermentation, this is usually achieved by means of conditioned and insulated tanks.

A design aimed to improve building energy efficiency can stabilize the indoor temperature trends, thus reducing the energy demand both in wine-making and wine-storage rooms (Benni et al. 2013). However, in the Mediterranean area, most wine farms do not have rooms built specifically for wine preservation and ageing (Benni et al. 2008), and the scientific literature lacks specific energy-efficiency design criteria for small and medium-sized wine-growing and producing farms. In many cases, wine farms make use of existing and even historic buildings. If, whenever

*Corresponding author. Email: alberto.barbaresi@unibo.it

possible, for wine-ageing phases they make use of already available underground rooms, wine production and storage are usually hosted in above-ground buildings. In most cases, those buildings have been constructed recently (since traditional buildings are not suitable for modern equipment and production processes); nevertheless, they are usually conceived and constructed without a specific attention to climatic control and energy efficiency. Therefore, indoor temperature distributions and trends are often not optimised for wine ageing and conservation, due to unsuitable extreme values and lack of spatial homogeneity (Porrás-Amores, Mazarrón, and Cañas Guerrero 2014). For this reason, in recent years, heating, ventilation and air conditioning (HVAC) systems are frequently used to control indoor temperature and humidity in wine ageing and storage buildings, with high electricity demands representing a remarkable amount of the total energy consumption of wine production. From this point of view, improving energy efficiency through building design can help to reduce farm energy consumption, in some cases even avoiding the necessity of HVAC systems.

This work is part of a wider research aimed at defining specific building design criteria for small and medium-sized wine-growing and producing farms. This sector calls for specific energy-efficiency-oriented building design criteria, due to its importance in terms of overall production and market size, as well as impact on local economies and valorization of cultural identities even on a global scale. The specific goal of this work is to assess the effectiveness of various retrofit interventions in the improvement of the thermal behaviour of non-conditioned rooms, with specific reference to wine conservation requirements. The work focuses on a set of retrofit interventions that can be realized using materials that are easily available and cheaply manageable by farm wineries themselves. The retrofit interventions are analysed on a case-study building which hosts both the wine-making process and bottle storage. The entire building is modelled, the model is then calibrated and validated by means of on-site temperature monitoring, and finally the performances of the retrofit strategies are assessed based on the thermal behaviour of the bottle storage area.

2. Materials and methods

This section is divided into four subsections, one for each phase of the research: description of the case study and of the temperature monitoring system (Section 2.1), identification of the selected retrofit solutions to be assessed in this study (Section 2.4), description of the simulation phase and of the modelling and calibration procedures (Section 2.3), definition of the method conceived to assess the performance and suitability of wine-making and wine-storage rooms based on the introduction of the ‘Wine Comfort Zone’ (WCZ) concept (Section 2.5).

2.1. Case study

The research has been carried out by focusing on a wine farm located in the Bologna countryside (Emilia-Romagna Region, Italy), subject of a previous work by the research team. The study focuses on the main building of the farmstead, hosting the wine-making and the bottle-storage areas.

2.1.1. Building description.

The main building, whose main axis is north-eastern oriented, is a stand-alone rectangular structure, 27.75 m long, 18.50 m wide. It is an above-ground one-room construction, whose eave height is 4.50 m, and internal height varies from 5.15 to 6.90 m. Five windows are located on the north-eastern wall, doors are on both shorter sides, and a canopy on the north-western side protects the grape delivery area (see Figure 1).

The building walls are made with 32-cm thick plastered concrete panels. The floor is a 30-cm thick concrete slab. The roof is made with a double vault hollow slab. Six equidistant pillars are located along the main axis and virtually divide the internal space in two zones: the north-eastern zone hosts the wine-making area (where the wine tanks are aligned in four rows), while the south-western zone hosts the wine bottles storage and a small office. The bottles are stocked in metal cages along the west wall. The internal space (see Figure 2) is naturally ventilated and has neither air-conditioning nor ventilation systems.

2.1.2. Temperature monitoring.

A network of thermometers (stand-alone data loggers) has been installed both to perform a preliminary test aimed at identifying the indoor thermal zones and to set a permanent temperature monitoring system to be used for the model calibration and validation phases, according to the procedure described by Barbaresi et al. (2015). In this research, consistently with the building modelling approach, a thermal zone is defined as a portion of the building volume where the temperature can be considered uniform throughout the space. The test has allowed us to define the minimum number of thermal zones (as explained in Section 2.2). As mentioned above, besides providing us with useful information for the building thermal modelling, the test has allowed us to define the most suitable position of the nodes of a monitoring network, which after the test has been used for the calibration procedure.

We have thus set up a grid of 19 sensors, with a 30-minute recording frequency (see Figure 5). For each time step, the temperature of each zone has been defined as the average of the temperatures recorded by all its sensors. The model validation has been performed based on the data recorded from 1 January 2013 to 31 December 2013. Two hourly mean temperature arrays have been calculated, for temperatures recorded in the wine-making area (T_{rw}) and



Figure 1. The main building.



Figure 2. The internal space: the wine-making area (on the left) and the storage (on the right).

in the wine-storage area (T_{rs}) (Figure 4). For the calibration procedure (see Section 2.3.3), temperatures recorded at the height of 4.00 m have not been considered, since no wine is stored in that part of the building. Moreover, neither wooden barrels nor tanks are hosted in the building, and wine is stored in stainless-steel wine tanks and glass bottles, therefore, humidity trends can be considered negligible for the goals of this work.

2.2. Main Building thermal zoning

The test has been based on the analysis of temperatures collected by 19 sensors (stand-alone data loggers, PCE HT 71N, $\pm 0.5^\circ\text{C}$ accuracy, 0.1°C resolution) located inside the building (as displayed in Figure 5), over two different periods (from 5 July 2012 to 23 July 2012; from 26 November 2012 to 14 December 2012) in order to analyse both summer and winter building thermal behaviour. The recording

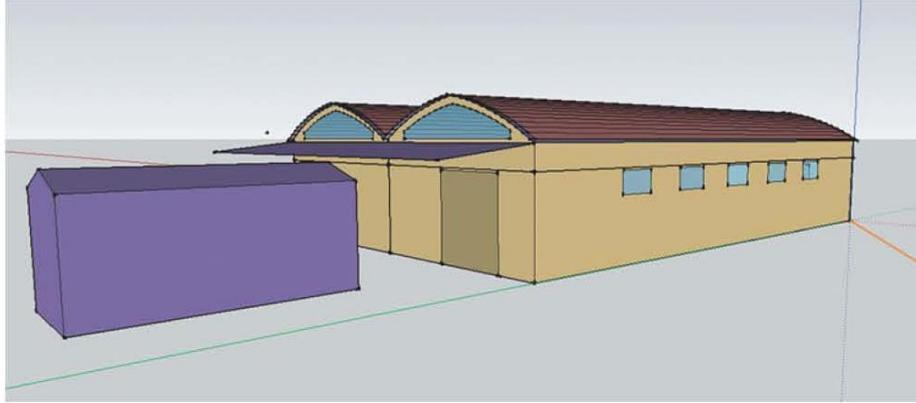


Figure 3. Case-study modelled with OpenStudio SketchUp Plug-in. The nearest building (coloured in purple) is modelled as shading surface.

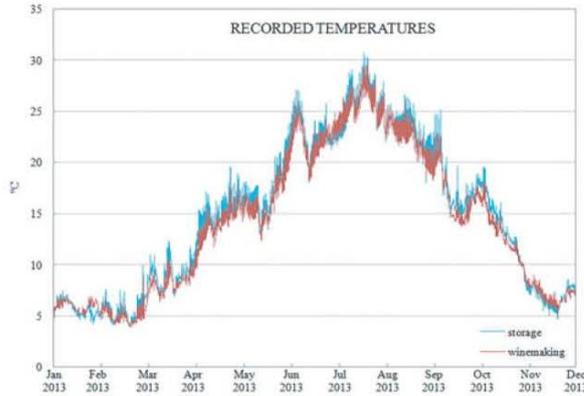


Figure 4. Recorded temperatures in the main building: red line for T_{rw} and blue line for T_{rs} .

frequency was set in 30 minutes, and each sensor collected 1722 temperature values.

2.2.1. Definition of the target precision.

The accuracy reference value (ARV) (Barbaresi et al. 2015) has to be set according to the specific goals of the study, and, with particular reference to the wine sector, to product quality and production process characteristics. In Barbaresi et al. (2015), ARV was set in 1°C , since the monitoring was focused on high-quality wine, aged in French *barriques*. This work focuses on standard-quality bottled wine preserved in a storage area, therefore ARV has been set in 2°C . These values can be considered acceptable also for the analysis of the wine-making area, where wine is stored in high-capacity insulated tanks.

2.2.2. Definition and identification of the thermal zones and their temperature.

Temperature data collected by each sensor have been compared with those collected by all other sensors, calculating two parameters for each couple of sensors: the average

(M_{ij}) and RMSE (S_{ij}) over the entire period of the differences between temperatures recorded at each time step by sensors i and j . Based on those values, matrix \mathbf{Z} has been calculated as follows:

$$\mathbf{Z} = \begin{pmatrix} Z_{11} & \dots & Z_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{n1} & \dots & Z_{nn} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

where

$$Z_{i,j} = |M_{ij}| + S_{ij} \quad (2)$$

Each Z_{ij} is compared with ARV: areas where Z_{ij} values are smaller than ARV for all sensor couples define a zone where temperature can be considered uniform, that is a 'thermal zone'. Matrix \mathbf{Z} shows values higher than 2°C (2.4°C), this meaning that the building as a whole cannot be considered as a single thermal zone. The same test has been repeated under the hypothesis of three thermal zones, defined as follows:

- north-eastern zone below 4 m height – wine-storage area;
- south-western zone below 4 m height – wine-making area;
- zone above 4 m height.

The matrices calculated on those three areas show that the highest value is 1.83°C in WSA, 1.30°C in WMA, and 0.55°C in the upper area. All those values are lower than ARV, thus confirming that they can be assumed as thermal zones for the building under study.

Even though in the light of the thermal zones subdivision described above, it would have been possible to reduce the number of sensors, all the 19 sensors have been left in their initial positioning, for the benefit of an improved precision of the monitoring and of the possibility to verify the validity of the test throughout the time.

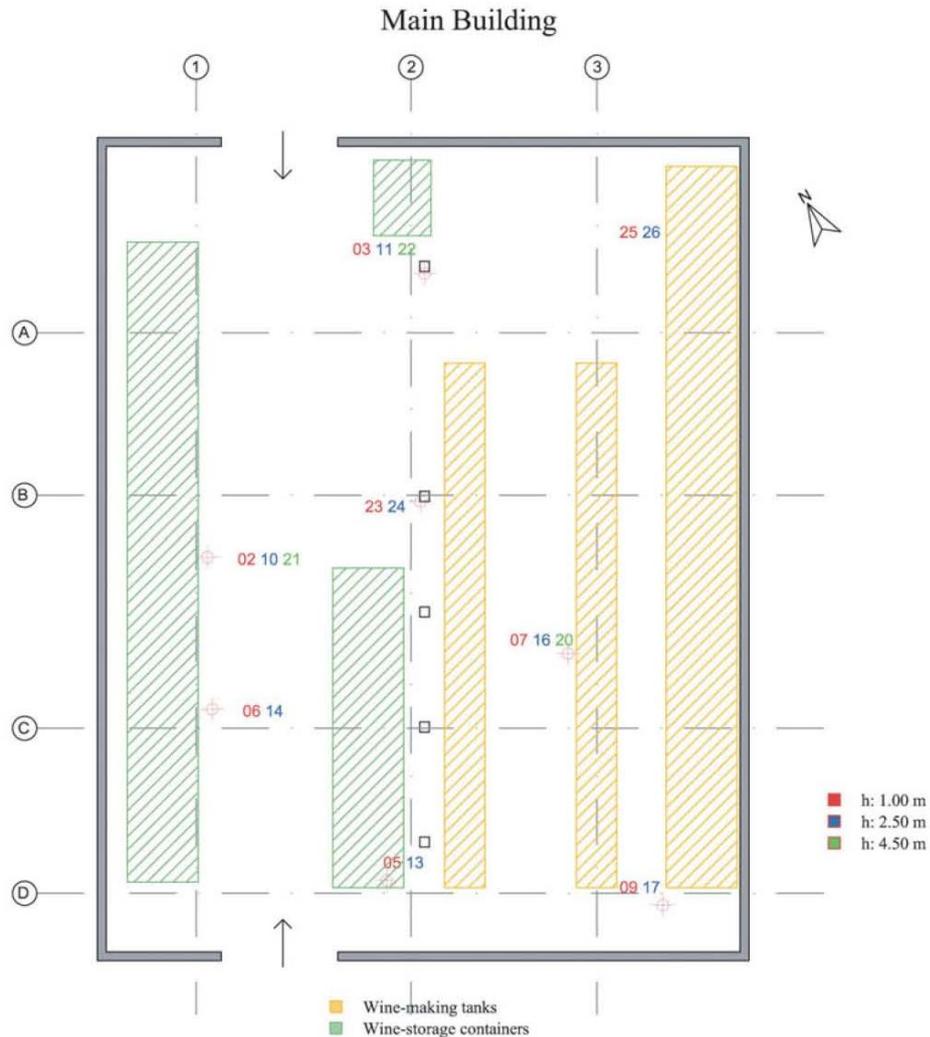


Figure 5. Sensor positioning.

2.3. Modelling and simulation

2.3.1. Energy simulation software.

EnergyPlus 8.1 (U.S. Department of Energy 2013) has been used in this work to simulate the thermal behaviour of the building under study. EnergyPlus is an open source software widely used in the technical and scientific literature (Raftery, Keane, and O'Donnell 2011; Mazarrón, Cid-Falceto, and Cañas Guerrero 2012; Benni et al. 2013; Barbaresi et al. 2014), also due to its reliability, periodically tested and validated using industry methods based on ASHRAE standards. EnergyPlus operates with 'garbage in, garbage out' standard, therefore precision is strictly required during the modelling phase, the input phase, and weather data collection, in order to get reliable results. An experimental temperature monitoring campaign (see Section 2.1.2) has allowed us to improve precision and accuracy of both modelling and input phases, lending

support to the subdivision of the building volume into different thermal zones and providing reference data for model calibration. Moreover, local meteorological data have been collected to feed the energy simulation input weather file (see Section 2.3.4).

2.3.2. Base model.

All the models calculated in this work (see Section 2.4 for the description of the different retrofit scenarios) have been developed by means of the Open Studio SketchUp plugin (NREL 2015). They have been realized by modifying a base model (hereinafter Scenario 0) corresponding to the existing building. The characteristics of the base model are as follows:

- Air infiltration has been calculated through the EnergyPlus `ZoneInfiltration:DesignFlowRate` object.

Such an object uses the following formula:

$$I = (I_{\text{design}})(F_{\text{schedule}})[A + B|(T_{\text{zone}} - T_{\text{odb}})| + C(\text{Windspeed}) + D(\text{Windspeed}^2)], \quad (3)$$

where I is the air infiltration, I_{design} is the design air infiltration, F_{schedule} is the schedule, T_{zone} is the indoor zone temperature, T_{odb} is the outdoor dry bulb temperature, and A , B , C , and D are coefficients. Specifically, for base model air infiltration, two objects have been created, one for fixed windows and one for the doors. They differ for the I_{design} and F_{schedule} definition. For fixed windows, I_{design} is considered 0.5 air volume changes per hour according to UNI-TS 13300, and schedule is 1 throughout the whole year. For the doors, I_{design} is considered 10 air volume changes per hour according to UNI-TS 13300, and schedule varies from 0.05 to 1 according to door opening record book (a video camera installed in front of the door allowed to feed the model with the actual opening schedule). Different models were created and tested changing A , B , C , and D for both objects, at first using the EnergyPlus default values (1, 0, 0, 0), then BLAST values (0.606, 0.03636, 0.1177, 0), and finally DOE-2 values (0, 0, 0.224, 0). All the models passed the validation procedure and showed no significant differences in the results. The low values of recorded wind speed (1–1.2 m/s) and the small differences between outdoor and indoor temperatures (being the building unconditioned) have caused the coefficients to have a low effect on the I value. As showed by the accurate match between the model and the case-study, the ZoneInfiltration:DesignFlowRate has proved to be a reliable object for modelling air infiltration according to the accuracy required in this work. Finally, the EnergyPlus standard coefficients have been used.

- Overhanging roof and northern side canopy have been designed as solar shadings.
- A fictitious thermal zone (10 meters high/deep) has been created, according to Mazarrón, Cid-Falceto, and Cañas Guerrero (2012), in order to calculate the heat exchange between the ground and the floor.

An average of 250,000 litres of wine are hosted over the year in the case-study winery. The scientific literature shows that the wine stored in the wine-keeping room can remarkably affect its thermal inertia (Benni et al. 2013); therefore, a special attention has been paid to accurately model the wine container. In the building under study, the wine is stored in three different kinds of containers:

- (1) unconditioned wine tanks
- (2) conditioned wine tanks (with insulated walls)
- (3) bottles (stored in metal cages).

Wine tanks and metal cages (often enveloped in plastic films) are modelled as solids (interior partition objects), whose size corresponds to their real wine volume and container area, with the thermal characteristics of wine ($U = 0.536 \text{ W/mK}$, $\delta = 990 \text{ kg/m}^3$, $C = 4500 \text{ J/kgK}$ by Boulton et al. (1998)). During the wine-making process (alcoholic fermentation lasts 10–20 days in October or November), juice should be kept between 15°C and 22°C (depending on the kind of wine), close to the indoor temperature of the building. The wine tanks are equipped with an internal cooling coil in order to absorb the alcoholic fermentation heat. The insulated walls of the tanks minimize the effects of the heat exchange on the external environment (wine making room). Moreover, the cooler machine, which supplies all the tank coils, is located outside the building. For all those reasons, the fermentation thermal gains can be considered negligible.

2.3.3. Calibration and simulation.

EnergyPlus simulations return predictive results on several physical quantities. Among them, this work assesses the thermal performance focusing on indoor air temperature. Even though the reliability of the programme is tested and validated, it is well known that uncertainties and imprecisions in modelling and input phases may affect the simulation (Heo et al. 2014), with impact on the accuracy of the results. For this reason, before running the model simulations for all the retrofit scenarios, the base model (Scenario 0) has been calibrated by comparing the simulated temperatures with experimental data from the temperature monitoring campaign described in Section 2.1.2. The calibration has followed the method described in Barbaresi et al. (2014).

Specifically, the reliability of the model and the acceptability of the results have been analysed. In order to verify the reliability of the model, a regression analysis has been performed based on the hourly comparison between simulated and recorded temperatures.

The acceptability of the results has been assessed analysing the hourly differences between simulated and recorded temperatures. Four different indicators (measured in degree-hours [dh]) have been created:

- error by excess: summation of positive differences only;
- error by defect: summation of negative differences only;
- total error: algebraic summation of all differences;
- absolute error: summation of the absolute values of all differences.

The indicators listed above have been compared with the following intervals, respectively:

- excess interval: from 0 to I ;

- defect interval: from $-l$ to 0;
- total interval: from $-l$ to $-l$;
- absolute interval: from 0 to l .

where $l = n \cdot r$, with n equal to the number of hours considered for the analysis, and r equal to a temperature reference value (measured in degree Celsius [$^{\circ}\text{C}$]). If all the errors lie within the above-defined intervals, the results of the model have been considered acceptable. Even though the absolute error would have been sufficient to assess the acceptability of the model, the analysis of the other errors have proved helpful to better describe the reliability of the whole model. 1°C has been taken as the most suitable reliability reference value for this work, according to the methodology described in Barbaresi et al. (2014).

2.3.4. Weather file.

EnergyPlus simulations require local weather data in order to model the weather conditions with a proper accuracy. Several weather files are available on the EnergyPlus website U.S. Department of Energy (2013), providing weather data recorded by World Meteorological Organization stations located in more than 2100 sites worldwide. The file named ‘ITA-Bologna Borgo.Panigale.161400IGDG.epw’ contains data recorded by the BorgoPanigale airport weather station, located 32 km north-east of the case study. The calibration procedure needs site-specific weather data, surveyed over the same period of the monitoring campaign providing reference indoor temperature data. Therefore, a weather station located 100 m far from the modelled building has been set up to record every 30 minutes outdoor temperature, humidity, pressure, wind speed and other weather data, simultaneously with the indoor monitoring campaign. Those data have been used to create an ad hoc input weather file for model calibration.

2.4. The retrofit solutions

2.4.1. Description.

The retrofit solutions to be studied have been selected mainly based on cost-effectiveness and simplicity criteria. In particular, we have focused on base vegetal materials that could be easily assembled and managed by the farm itself to create cheap retrofit systems, in particular vine plants and straw. Straw bales are usually available in most farms, or can be easily obtained from neighbouring farms. The amount of straw bales required to cover the two most sun exposed building walls has been estimated in 210 m^3 every 2 years (average service life of the intervention). This amount is easily available by the farm under study, since its production of straw bales is approximately 200,000 kg per year, that is 1000 m^3 considering 3.5 tonnes of dried matter per hectare (Toscana 2010).

Three different retrofitting actions have been identified, as follows:

- Wall Insulation (WI): external wall insulation through a 50-cm straw-bale layer (being the standard size of common straw bales $100 \times 50 \times 25 \text{ cm}$).
- Roof Insulation (RI): roof insulation through 12-cm wood-fibre panels inserted in the existing roof structure.
- Solar Shading (SS): external solar shading surfaces made up of climbing plants, such as vine plants, whose effects are deeply reported in the scientific literature (Eumorfopoulou and Kontoleon 2009; Kontoleon and Eumorfopoulou 2010; Yao et al. 2015). The green shadings are located 3 m far from the building walls, along the south-western and north-western sides.

The parameters of the straw-bale layer have been defined based on the results of a thermal test aimed to assess the thermal conductivity of straw bales according to Italian regulations. The test showed that, after a very short transient period (few seconds), the variations in thermal conductivity are negligible, in particular when at least one side of the straw-bale layer is adjacent to a wall or plastered.

Besides analysing each design solution individually, we have also studied three combinations of different retrofit interventions. The complete list of the six scenarios analysed and simulated in this paper is shown in Figure 6.

2.4.2. Modelling.

The following additional EnergyPlus objects have been used to create the models of the various retrofit scenarios:

- The straw-bale layer used to insulate the external walls in Scenario 1 has a thickness of 50 cm and a conductivity of $0.11 \text{ W}/(\text{mK})$, leading to a transmittance of the insulated walls equal to $0.2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.
- The wood-fibre panel used as roof insulation in Scenario 2 has a conductivity of $0.039 \text{ W}/(\text{mK})$ and a thickness of 12 cm, chosen to get a roof global transmittance of $0.27 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (in accordance with minimum energy saving targets provided by Italian regulations).
- The green shadings for Scenario 3 have been designed as solar shading walls, whose solar transmittance is variable during the year, in order to consider the changes in the leaf coverage ratio over time (Bellomo 2009; Susorova et al. 2013).

Based on the minimum number of thermal zones identified by the preliminary test (see Section 2.2), the building model has been divided into 4 thermal zones (the upper

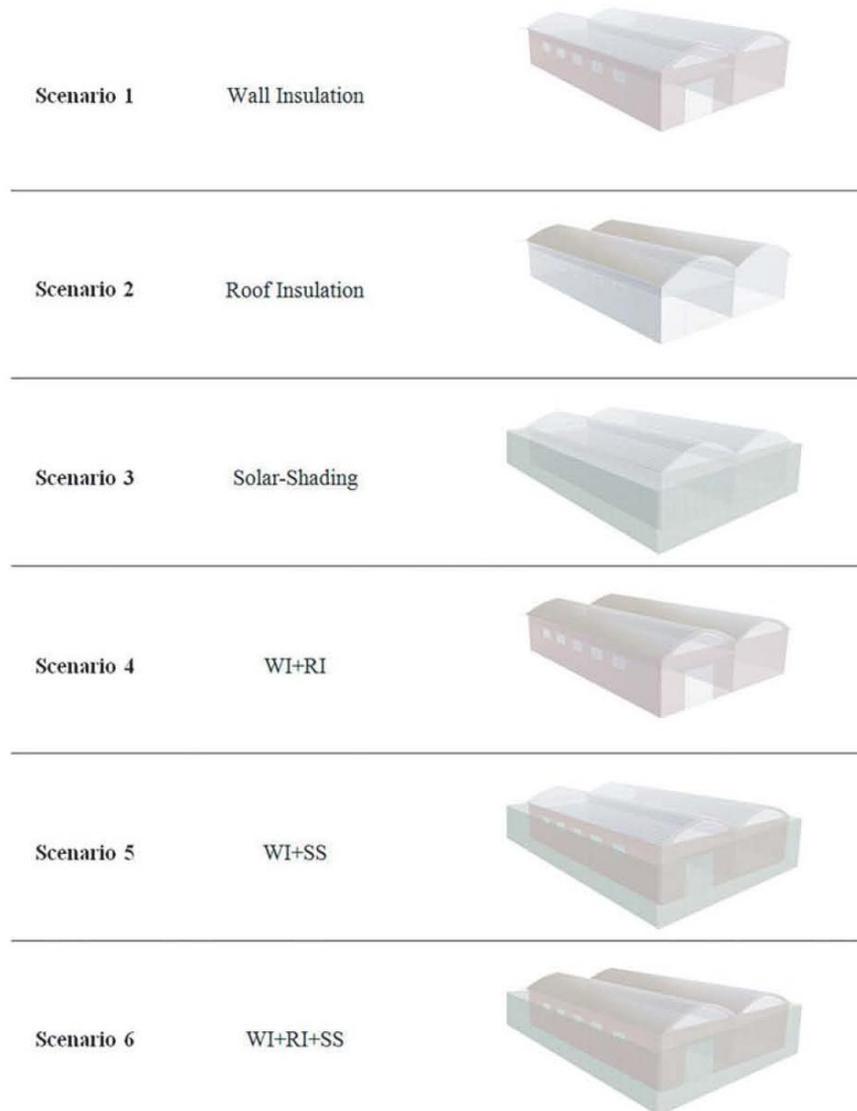


Figure 6. Retrofit scenarios.

zone has been divided into 2 zones), as follows (see Figure 7):

- (1) lower part of the wine-making area (between 0 and 4 m), labelled as ‘WMA’;
- (2) upper part of the wine-making area (between 4 m and the roof);
- (3) lower part of the wine-storage area (between 0 and 4 m), labelled as ‘WSA’;
- (4) upper part of the wine-storage area (between 4 m and the roof).

Moreover, various building models consisting of more than four thermal zones have been tested, and their results have been compared to those of the four-thermal-zone model. Since each zone should contain at least two sensors,

8 has proved to be the highest number of thermal zones allowed by the monitoring sensors network (as shown in Figure 8).

2.5. Wine storage suitability assessment

2.5.1. Thermal assessment of non-conditioned rooms.

Since this work focuses on the thermal performance of unconditioned buildings, any criteria related to energy consumption saving would not have been useful to compare alternative design solutions. Therefore, we have defined specific criteria to assess the performance of retrofit solutions, based on their effectiveness in keeping the indoor environment of unconditioned rooms suitable for wine making or wine storage, and in particular in maintaining

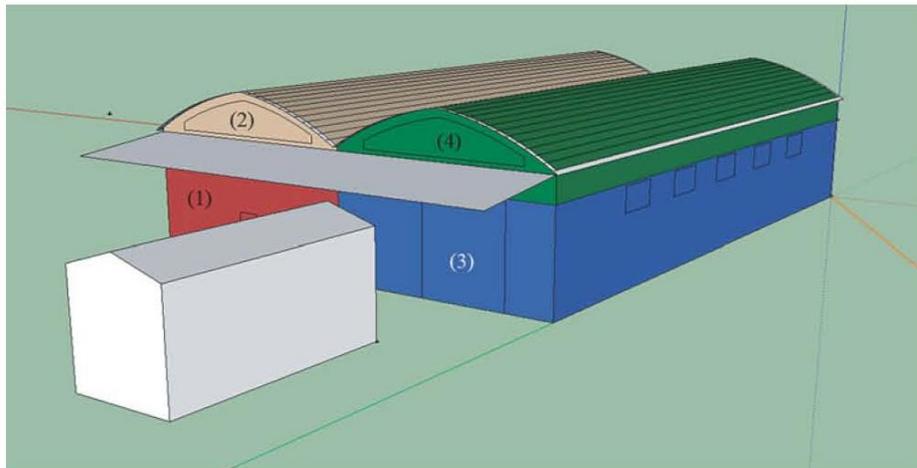


Figure 7. Thermal zones subdivision in EnergyPlus: four-thermal-zone model.

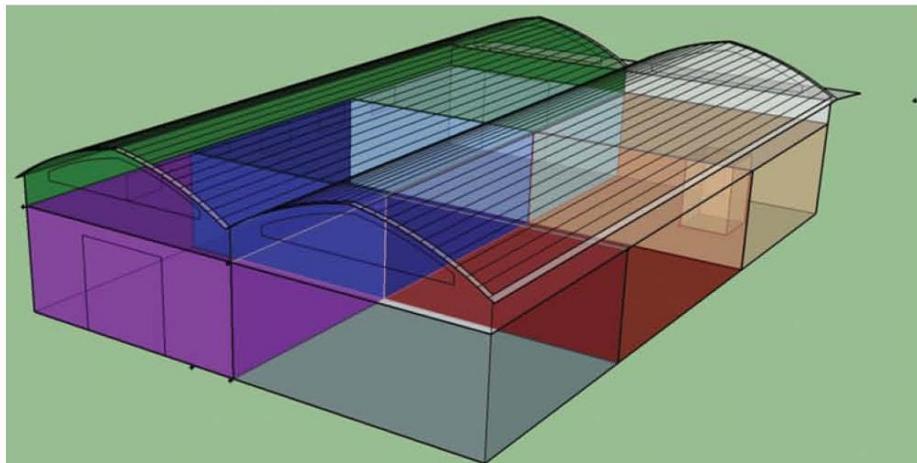


Figure 8. Thermal zones subdivision in EnergyPlus: 8-thermal-zones model.

indoor temperature within specific intervals. Preservation of wine in tanks or bottles and lack of underground parts of the building cause both wine evaporation and mould formation issues to be negligible, therefore humidity has not been taken into account in this work.

2.5.2. Wine Comfort Zone.

The temperature interval to be considered suitable for wine storage and ageing, WCZ, has been defined specifically for the goal of this research as a temperature range (swing) around the optimal wine conservation temperature. Both the optimal temperature and the temperature swing have been defined based on an in-depth study of the state of the art. The literature review has shown that different values are considered for wine storage and ageing, depending on many factors such as local climate, grapevine quality, production technologies and even customer preferences. Despite the fact that there is no unanimity in

this field, basically an agreement can be found on the general criterion that wine temperature (and room temperature as well, assuming thermal equilibrium) should not be over 20°C (Marescalchi 1965) and should be as constant as possible with a $\pm 3^\circ\text{C}$ of maximum swing (Vogt 1971).

More specifically for this work, the ideal temperature domain for wine storage and ageing has been defined based on a methodology whose inputs are the local climatic conditions and traditional wine storage and wine-ageing techniques of the region. Traditionally, wine has been kept in unconditioned underground rooms where the ground thermal properties keep the indoor air temperature more constant than outdoor. Studies on this subject (Kusuda and Achenbach 1965) and an experimental monitoring (Tinti et al. 2014) demonstrated that the average ground temperature in one year is equal to the average outdoor temperature. Therefore, the yearly average outdoor temperature has been taken as reference temperature for

wine storage. The data collected by the closest weather stations have provided an average temperature of 14.5°C. Therefore, 15°C (by rounding up 14.5°C) has been considered as the ideal temperature. Finally, the WCZ has been defined as the temperature interval between $T_{\min} = 12^\circ\text{C}$ and $T_{\max} = 18^\circ\text{C}$ ($15 \pm 3^\circ\text{C}$).

2.5.3. Assessment criterion.

For each scenario and each thermal zone, the energy simulations return the indoor air temperature trends, on an hourly basis throughout the year under-study. These values have been compared with the WCZ. In particular, the assessment of the performance of the retrofit solutions has been based on the analysis of the overall amount of room temperatures lying outside the WCZ, by means of two indicators defined by the authors, as follows:

- *Discomfort time – DT [h]* number of hours in which indoor air temperature lies outside the WCZ. In particular, the number of hours in which temperature exceeds 18°C (T_{\max}) is called DT_+ , and the number of hours in which temperature is lower than 12°C (T_{\min}) is called DT_-
- *Discomfort level – DL [dh]* amount of indoor air temperatures which are outside the WCZ. This indicator is expressed in degree-hours and calculated as follows:

$$\begin{aligned} \text{DL}_+ &= \sum_{i=1}^n T_{e,i} \quad \text{where } T_{e,i} \\ &= \begin{cases} 0, & T_i < T_{\max}, \\ T_i - T_{\max}, & T_i \geq T_{\max}, \end{cases} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{DL}_- &= \sum_{i=1}^n T_{d,i} \quad \text{where } T_{d,i} \\ &= \begin{cases} 0, & T_i \geq T_{\min}, \\ T_{\min} - T_i, & T_i < T_{\min}, \end{cases} \end{aligned} \quad (5)$$

where T_{\max} and T_{\min} are WCZ extremes, T_i the indoor air temperature at the time step i and n the hours. DL_+ and DL_- indicate the degree-hours above and below the WCZ, respectively. Based on those indicators, Scenarios from 1 to 6 have been compared with Scenario 0, with improvements in thermal performance when DT and DL decrease.

Another important parameter, the rate of temperature change, has also been analysed. Calculated as the average of $|T_i - T_{i-1}|$, it has provided useful information about the indoor thermal stability of the building under study. The temperature Rate of Change parameter (RoC) has been calculated for each scenario over two time spans: the whole year and the summer period (from June to September included).

3. Results and discussion

3.1. Model validation

First of all, model reliability and results accuracy have been verified, by comparing simulation results and recorded data (see Figures 9 and 10) over the entire year in both lower thermal zones, defined in accordance with the procedure described in Section 2.3.3.

The results are summarized in Table 1 (see Section 2.3.3). Model's reliability has been assessed through the analysis of linear correlation coefficient (r) and linear regression model parameters ($y = ax + b$), by comparing simulated and recorded values. Both in WMA and in WSA, r is very close to 1 (0.985 and 0.982, respectively). These values show a strict correlation between observed and simulated data. The analysis of the slope (a) and intercept (b) of the best fit line of the linear regression model shows that in both thermal zones a is close to 1 (0.987 in WMA, 0.998 in WSA), and b is low or even close to 0 (0.446 in WMA, 0.116 in WSA).

These results show that there are no relevant differences between observed and simulated data. Therefore, we can conclude that the model fits the real thermal behaviour,

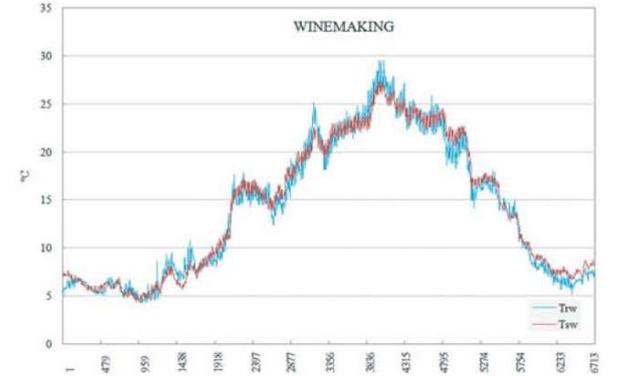


Figure 9. Recorded and simulated values in WMA.

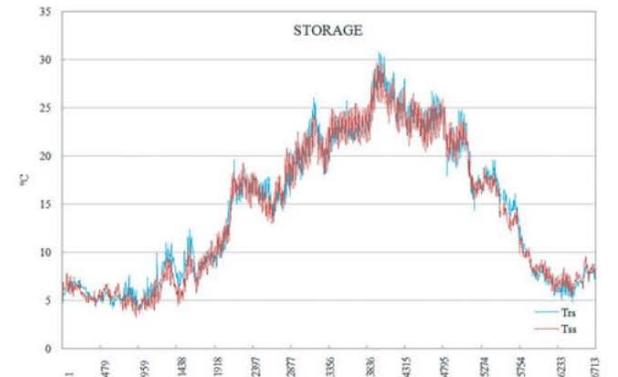


Figure 10. Recorded and simulated values in WSA.

Table 1. Summary table.

Ref.	Thermal behaviour analysis			Temperature differences analysis					
	<i>r</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	Mean ±1.0	RMSE ±1.0	Excess 0 6713	Defect -6713 0	Total ±6713	Abs. 0 6713
Wine making	0.985	0.987	0.446	-0.267	0.856	1553	-3351	-1798	4904
Storage	0.982	0.998	-0.116	0.132	0.958	3033	-2145	888	5178

since it exhibits similar initial temperature, similar variation, and similar final temperature for each time step over the running period.

Moreover, the analysis of mean, RMSE and absolute error summation carried out both for WMA and WSA has shown that all values lie within the reference intervals, thus proving that the model complies with results accuracy requirements as well. The analysis of the mean error shows that the WSA is modelled more precisely than WMA, since its value is closer to 0. Specifically, the mean errors are 0.132°C in WSA and -0.267°C in WMA. Moreover, WMA shows a lower RMSE (0.856°C) than WSA (0.958°C).

With reference to the error summations calculated in the virtual model, the total error is 26.7 % for WMA and 13.2 % for WSA, while the absolute error is 73.05% for WMA and 77.13% for WSA. The analysis of the error summations in WMA shows that DL_- (3351 dh) is greater than DL_+ (1553 dh), with a negative overall DL (-1798 dh). On the contrary, WSA has a positive DL (2145 dh), with DL_+ (3033 dh) greater than DL_- (888 dh). The comparison between the results returned by EnergyPlus simulations and experimental data can be considered acceptable, according to the above-mentioned reference values (see Section 2.3.3). Since the compliance of the model with results accuracy requirements has been proved, the model has been used to carry out the following comparisons between alternative retrofit solutions.

The results provided by the models consisting of more than four thermal zones (not reported here for the sake of brevity) have fitted the recorded data as well, with a little increase in numerical costs (7 seconds for the simulation of the eight-thermal-zone building model). However, the four-thermal-zone building model has proved to be capable of fitting the measured data even better. This confirms that computer modelling can benefit from an accurate ad hoc definition of the thermal zones of the building, based on a specific procedure related to the target precision.

3.2. Scenario comparison

Focusing on WSA, as above-mentioned, temperature control is crucial for bottle storage, the main results derived from the modelling of each scenario are shown graphically in Figure 11 in terms of temperature trends and numerically

in Table 2. In particular, Table 2 shows the values of DT and DL for each scenario, and the scenario comparison indicators, calculated as follows:

$$\Delta DL_{i-} = \frac{DL_{i-} - DL_{0-}}{DL_{0-}}, \quad (6)$$

$$\Delta DL_{i+} = \frac{DL_{i+} - DL_{0+}}{DL_{0+}}, \quad (7)$$

$$\Delta DL_i = \frac{DL_i - DL_0}{DL_0}, \quad (8)$$

where the subscripts indicate the Scenario number.

From the analysis of results for Scenario 0, it emerges that DT_- (3724) is greater than DT_+ (2975). Figure 12 shows the trend of DL_- and DL_+ , corresponding to each retrofitting solution, and compared with the base Scenario 0.

Scenario 1 leads to a relevant reduction in DL_- (-10.97%) and to a smaller decrease in DL_+ (-1.5%), compared to Scenario 0. In Scenario 2, DL is equal to 27,587 dh, which means an overall 13.8% reduction in discomfort as compared with Scenario 0. As expected, Scenario 3 is the worst performer in winter, since DL_- (18,071 dh) is higher than in Scenario 0 (17,522 dh); on the contrary, it remarkably improves the building thermal performance in summer, when overheating decreases by 14.7%. Through the analysis of the results concerning each retrofit strategy individually, it is possible to assess that roof insulation (Scenario 2) offers the best performance, both in summer and in winter, allowing a reduction in the discomfort zone by 13.8% against Scenario 0.

Focusing on the combination of different retrofit interventions, the results of Scenario 4 show that internal temperatures lie outside the WCZ for 6655 hours. Nevertheless, DL_- is strongly reduced: DL_- is equal to 15340 dh, while DL_+ is significantly reduced to 9521 dh. As expected, Scenario 5 leads DL_- to increase to 17,696 dh, as a consequence of the reduction of the winter solar gain caused by the sun-shading elements; on the contrary, this solution allows a 19.6% reduction in overheating, in comparison with Scenario 0. Finally, Scenario 6 provides the greatest improvement in building thermal performance in summer: the discomfort condition is reduced by 43.6% in summer and by 25.2% throughout the year.

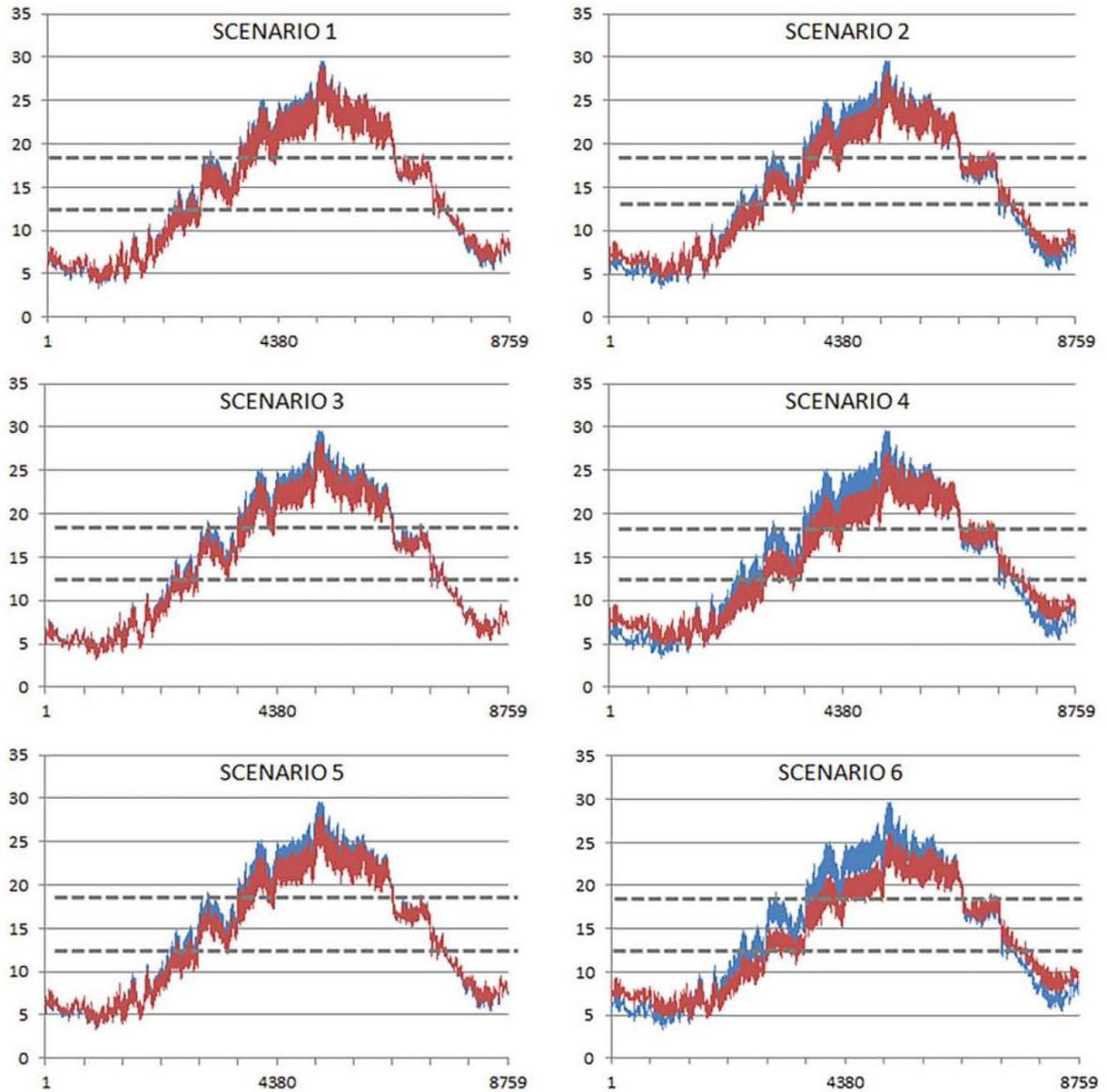


Figure 11. Recorded (blue) and simulated (red) values in the WSA.

The results for **RoC** show that all the interventions slightly improve the thermal stability of the building if compared to Scenario 0 (0.286°C in summer, 0.186°C during the year), except when wall insulation is involved (see Table 3). Solar shading has proved capable of providing the best performance (0.252°C , 0.168°C), followed by the roof insulation. These results show how the significant impact of solar radiation on the rate of temperature change can be mitigated by means of solar shadings or by roof insulation, considering the sun elevation in summer. When the roof is not insulated, the solar radiation provides a significant thermal load, which cannot be dissipated rapidly in the case of insulated walls; this explains the bad performance of Scenario 1 (0.310°C , 0.202°C).

The analysis of the results allows us to highlight some major consideration, as follows:

- in general, roof insulation can be considered a more suitable strategy than wall insulation and solar shading;
- the combination of different retrofit strategies can lead to improved results, even if it entails increased costs as well;
- sun shading can offer a valid response to reduce overheating in summer, but has to be studied and designed in detail to allow an adequate sunlight permeability in winter.

Table 2. Scenario comparison.

Scenario	Discomfort						
	DT ₋	DT ₊	DL ₋	DL ₊	ΔDL ₊	ΔDL ₋	ΔDL
n.	(h)	(h)	(dh)	(dh)	(%)	(%)	(%)
0 – Existing building	3724	2975	17,522	14,491	0	0	0
1 – WI	3870	2897	17,262	12,907	-1.5	-10.9	-5.8
2 – RI	3781	2912	15,725	11,862	-10.3	-18.1	-13.8
3 – SS	3831	2862	18,071	12,356	+3.1	-14.7	-5.0
4 – WI + RI	3855	2800	15,340	9521	-12.5	-34.3	-22.3
5 – WI + SS	3927	2827	17,696	11,647	+1.0	-19.6	-9.4
6 – WI + RI + SS	3936	2667	15,779	8169	-10.0	-43.6	-25.2

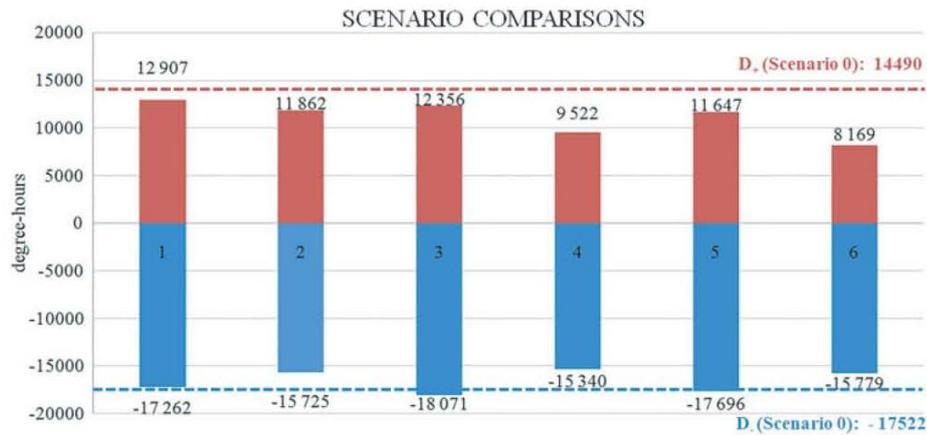
Figure 12. DT₊ (in red) and DT₋ (in blue) for each scenario.

Table 3. Rate of temperature change in wine storage (°C).

Scenario	RoC			
	Summer		Year	
	Average	dev.st.	Average	dev.st.
n.				
0 – Existing building	0.286	0.167	0.186	0.155
1 – WI	0.310	0.180	0.202	0.168
2 – RI	0.278	0.201	0.188	0.174
3 – SS	0.252	0.160	0.168	0.141
4 – WI + RI	0.308	0.227	0.212	0.196
5 – WI + SS	0.266	0.172	0.179	0.151
6 – WI + RI + SS	0.258	0.211	0.185	0.177

4. Conclusions

The research has defined a methodological approach aimed at evaluating the thermal performances of unconditioned buildings, and has tested it on a wine-storage-room case study, to assess the effectiveness of different retrofit strategies in the improvement of indoor temperature stability, crucial for wine quality.

The proposed method is based on the identification of a WCZ, defined as the temperature range suitable for

wine storage and ageing. Building modelling and thermal simulation have allowed us to assess the building thermal performance of each scenario (consisting in the adoption of single or combined retrofit strategies), and to compare it with a base scenario, by means of two indicators quantifying the wine thermal discomfort in terms of hours and degree-hours in which temperature lies outside the WCZ. Since both simulation and measurements taken over an entire year show that in the base scenario indoor temperature lies outside the WCZ for more than 70% of the time, retrofit actions are strongly required in order to keep the indoor air temperature within specific temperature intervals.

The retrofit design solutions evaluated in this study aim at improving the thermal performance of the building envelope, through the use of materials that are easily available and cheaply manageable by farm wineries themselves.

An added value of the application of locally produced solutions is to promote a greener public image of farm wineries, with potential benefits in the light of the increasing awareness of environmental issues. The results underline how proper design solutions can improve indoor environmental conditions, avoiding the necessity to install air conditioning systems.

The methodology proposed and tested in this research has proved to be a useful tool for the evaluation of retrofit strategies, and, in particular, has allowed the comparison of some specific solutions with more conventional ones widespread on the market. Thanks to the reliability of the model, it can be used to study the effect of other passive measures, individually or in combination, and to study more parameters for each retrofit intervention. In particular, future developments of this research will consider more retrofit scenarios and additional parameters, such as transmittance, thermal mass, solar absorption in walls and roof, orientation, glazing performance, sun shading, as well as weather data of different years. The study will also include the analysis of relevant economic aspects, in order to help decision makers in pursuing the most suitable choice through a cost/benefit assessment. Finally, specific adjustments of the thermal comfort zone can make this methodology useful also for the study of different categories of buildings and production processes.

Acknowledgments

The authors would like to thank the owners of the farm winery 'Branchini 1858', Toscanella di Dozza (BO), Italy, for their kind availability to host the experimental monitoring activities.

Disclosure statement

No potential conflict of interest was reported by the authors.

ORCID

A. Barbaresi  <http://orcid.org/0000-0003-1341-984X>

References

- Barbaresi, A., D. Torreggiani, S. Benni, and P. Tassinari. 2014. "Underground Cellar Thermal Simulation: Definition of a Method for Modelling Performance Assessment Based on Experimental Calibration." *Energy and Buildings* 76: 363–372.
- Barbaresi, A., D. Torreggiani, S. Benni, and P. Tassinari. 2015. "Indoor air Temperature Monitoring: A Method Lending Support to Management and Design Tested on a Wine-Aging Room." *Building and Environment* 86: 203–210.
- Bellomo, A. 2009. *Pareti Verdi* (Sistemi Ed ed.). Pozzuoli, NA: Gruppo Editoriale Simone S.p.A.
- Benni, S., D. Torreggiani, A. Barbaresi, and P. Tassinari. 2013. "Thermal Performance Assessment for Energy-Efficient Design of Farm Wineries." *Transactions of the ASABE* 56 (1965): 1483–1491.
- Benni, S., D. Torreggiani, V. Corzani, F. Cuttin, P. Tassinari, and S. Galassi. 2008. "Wine-Growing and Producing Farm Buildings: Meta-Design Analysis for the Definition of Spatial Layouts". 38th International symposium on agricultural engineering, Vol. 2, Opatija, HR, pp. 201–210.
- Boulton, R. B., V. L. Singleton, L. F. Bisson, and R. E. Kunkee. 1998. *Principles and Practices of Winemaking*. New York: Springer.
- De Rosis, A., A. Barbaresi, D. Torreggiani, S. Benni, and P. Tassinari. 2014. "Numerical Simulations of the Airflows in a Wine-Aging Room: A Lattice Boltzmann-Immersed Boundary Study." *Computers and Electronics in Agriculture* 109: 261–270.
- Eumorfopoulou, E. a., and K. J. Kontoleon. 2009. "Experimental Approach to the Contribution of Plant-Covered Walls to the Thermal Behaviour of Building Envelopes." *Building and Environment* 44 (5): 1024–1038.
- Heo, Y., D. J. Graziano, L. Guzowski, and R. T. Muehleisen. 2014. "Evaluation of Calibration Efficacy Under Different Levels of Uncertainty." *Journal of Building Performance Simulation* 8 (3): 135–144.
- Kontoleon, K. J., and E. a. Eumorfopoulou. 2010. "The Effect of the Orientation and Proportion of a Plant-Covered Wall Layer on the Thermal Performance of a Building Zone." *Building and Environment* 45 (5): 1287–1303.
- Kusuda, T., and P. R. Achenbach. 1965. "Earth Temperature and Thermal Diffusivity at Selected Stations in the United States." *ASHRAE Transactions* 71: 61–75.
- Marescalchi, C. 1965. *Manuale dell'enologo (Winemaking Manual)*. Casale Monferrato: Fratelli Marescalchi.
- Mazarrón, F. R., J. Cid-Falceto, and I. Cañas Guerrero. 2012. "Ground Thermal Inertia for Energy Efficient Building Design: A Case Study on Food Industry." *Energies* 5 (12): 227–242.
- NREL. 2015. Open Studio 1.4. <https://www.openstudio.net/>.
- Porras-Amores, C., F. Mazarrón, and I. Cañas Guerrero. 2014. "Study of the Vertical Distribution of Air Temperature in Warehouses." *Energies* 7 (3): 1193–1206.
- Raftery, P., M. Keane, and J. O'Donnell. 2011. "Calibrating Whole Building Energy Models: An Evidence-Based Methodology." *Energy and Buildings* 43 (9): 2356–2364.
- Regione Toscana. 2010. Progetto VA.CE.V.OR. Technical Report, Pisa.
- Ruiz De Adana, M., L. M. Lopez, and J. M. Sala. 2005. "A Fickian Model for Calculating Wine Losses From Oak Casks Depending on Conditions in Ageing Facilities." *Applied Thermal Engineering* 25 (5–6): 709–718.
- Susorova, I., M. Angulo, P. Bahrami, and Brent. Stephens. 2013. "A Model of Vegetated Exterior Facades for Evaluation of Wall Thermal Performance." *Building and Environment* 67: 1–13.
- Tassinari, P., D. Torreggiani, S. Benni, and E. Dall'Ara. 2013. "Landscape Quality in Farmyard Design: An Approach for Italian Wine Farms." *Landscape Research* 38 (6): 729–749.
- Tinti, F., A. Barbaresi, S. Benni, D. Torreggiani, R. Bruno, and P. Tassinari. 2014. "Experimental Analysis of Shallow Underground Temperature for the Assessment of Energy Efficiency Potential of Underground Wine Cellars." *Energy and Buildings* 80: 451–460.
- Torreggiani, D., S. Benni, A. I. Garcia, F. Ayuga, and P. Tassinari. 2014. "Farm Winery Layout Design: Size Analysis of Base Spatial Units in an Italian Study Area." *Transactions of the ASABE* 57 (2): 625–633.
- U.S. Department of Energy. 2013. Energy Plus 8.0.
- Vogt, E. 1971. *Fabricacion de vinos (Winemaking)*. Zaragoza: Editorial Acribia.
- Yao, J., D. H. C. Chow, R.-Y. Zheng, and C.-W. Yan. 2015. "Occupants' Impact on Indoor Thermal Comfort: A Co-Simulation Study on Stochastic Control of Solar Shades." *Journal of Building Performance Simulation*. 1–16. doi:10.1080/19401493.2015.1046492.