



L'efficienza energetica negli edifici storici: metodi, strumenti e soluzioni

ELENA LUCCHI

EURAC - Institute for Renewable Energy

Indice

Contesto legislativo

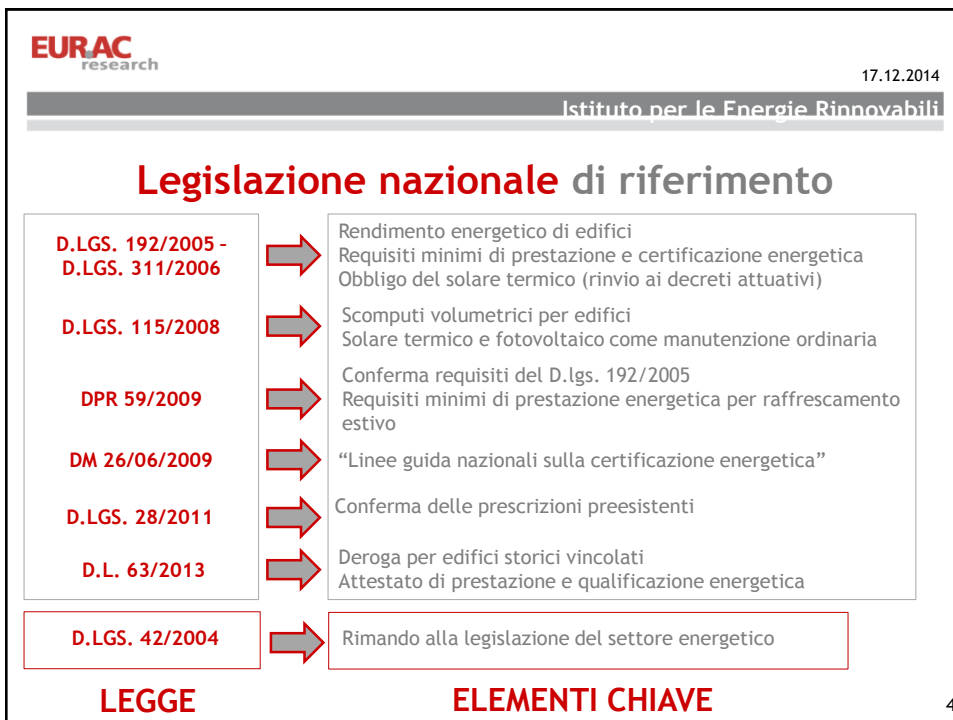
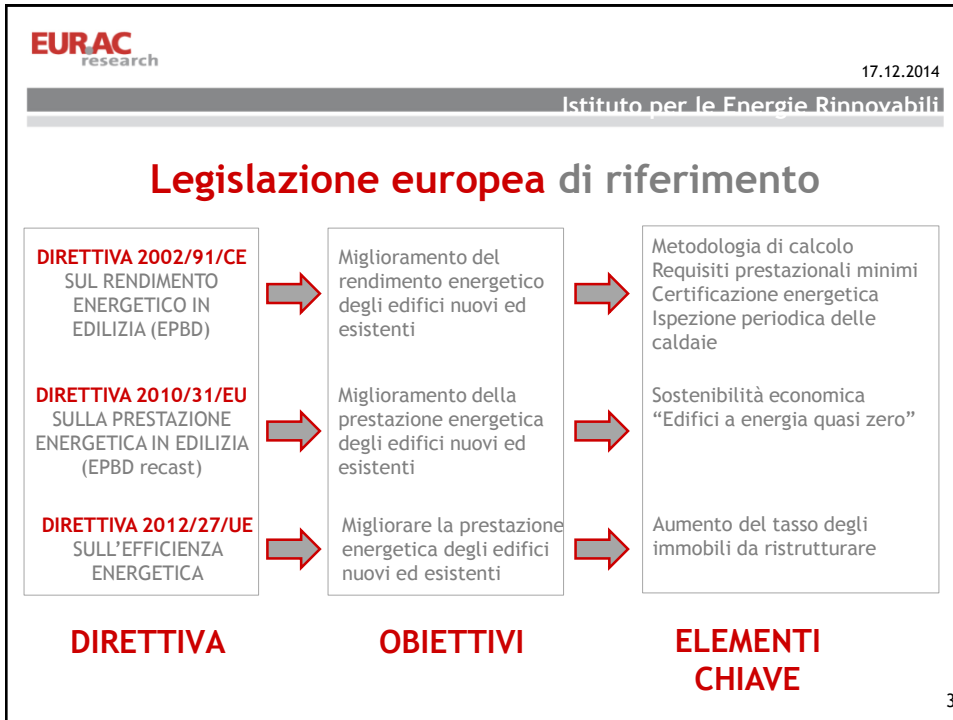
Patrimonio storico VS nuova costruzione_edificio esistente

Metodi e strumenti:

- Analisi storica
- Diagnosi dell'edificio
- Prove di laboratorio
- Ottimizzazione del comportamento energetico

Soluzioni:

- Interventi di riqualificazione energetica
- Energy commissioning




Legislazione nazionale di riferimento

- **Requisiti minimi di rendimento energetico** che riguardano l'involucro o gli impianti e sono diversi per nuova costruzione e patrimonio esistente in base a uso, clima ed età dell'immobile
- **Edifici monumentali, luoghi di culto, monumenti protetti** come patrimonio designato o in virtù dello speciale valore architettonico o storico non sono sottoposti alle prescrizioni legislative nei casi in cui implicherebbero "(...) *un'alterazione inaccettabile del loro carattere e aspetto*" 
- **Edifici esistenti ma non monumentali** sono **interamente sottoposti** alle prescrizioni legislative. Quando superano determinate dimensioni, la ristrutturazione deve essere considerata un'opportunità per aumentare il rendimento energetico mediante l'adozione di misure efficaci sotto il profilo dei costi 

5

Legislazione nazionale di riferimento

1. DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE IN MANUTENZIONE STRAORDINARIA DELL'EDIFICIO
 2. RISTRUTTURAZIONE INTEGRALE DELL'INVOLUCRO EDILIZIO (sup. utile > 1.000 m²)
 3. AMPLIAMENTO VOLUMETRICO (>20% volume)
- 
- VERIFICHE**
- Indice di prestazione energetica climatizzazione invernale ($E_{p_i} < E_{p_i,lim}$)
Indice di prestazione energetica climatizzazione estiva dell'involucro edilizio ($E_{p_e,inv} \leq E_{p_e,inv,lim}$)
Valori minimi di trasmittanza termica per i muri divisorii
Assenza di condensa nelle pareti
Controllo della climatizzazione estiva con misure bioclimatiche
Regolazione termica interna
Opere per favorire il teleriscaldamento (solo 1 e 2)
Inerzia termica dell'involucro opaco, solo per le residenze

4. RISTRUTTURAZIONE TOTALE O PARZIALE
 5. DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE IN MANUTENZIONE STRAORDINARIA DELL'INVOLUCRO (sup. utile \leq 1.000 m²)
 6. AMPLIAMENTO VOLUMETRICO (\leq 20% volume)
- 
- VERIFICHE**
- Controllo della climatizzazione estiva con misure bioclimatiche
Valori minimi di trasmittanza termica per elementi di involucro esterno e muri divisorii
Inerzia termica dell'involucro opaco, solo per le residenze
Assenza di condensa nelle pareti



INTERVENTO SULL'INTERO EDIFICIO

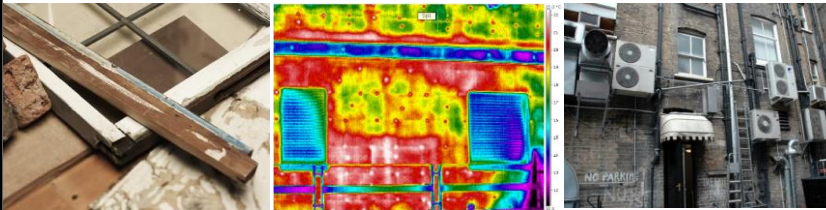


**INTERVENTO PARZIALE
SULL'INVOLUCRO EDILIZIO**

6

Applicazione acritica della legislazione

- L'applicazione acritica di questa legislazione su un edificio storico comporta:
 - miglioramento della prestazione energetica; ➡ **EFFICIENZA ENERGETICA**
 - **perdita** del patrimonio storico; ➡ **CONSERVAZIONE**
 - **rischio di degrado** per incompatibilità chimico-fisica dell'intervento; ➡ **COMFORT**
 - problemi di **comfort microclimatico**.



7

Patrimonio culturale **/VS/** Edilizia contemporanea

QUALI DIFFERENZE?

SCALA URBANA

Genius loci **VS**
Globalizzazione
Consoscenza ambientale
VS Tecnologica
Consoscenza **VS**
Prevaricazione sul clima
Risorse naturali **VS**
Combustibili fossili

SCALA EDILIZIA

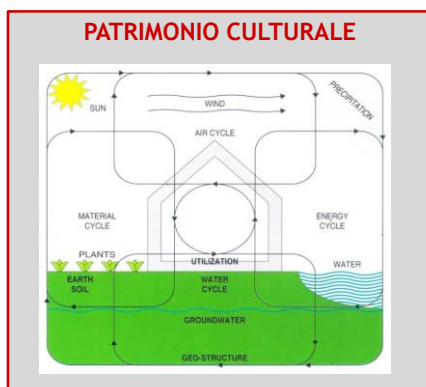
Risorse naturali **VS**
Risorse artificiali
Involucro edilizio **VS**
Impianti
Traspirabilità **VS**
Impermeabilità
Luce e ventilazione **VS**
Impiantistica sofisticata
Materiali locali **VS**
Materiali innovativi
Tradizione **VS**
Innovazione



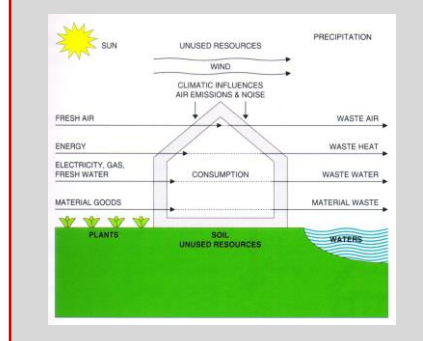
8

Patrimonio culturale **/VS/** Edilizia contemporanea

ANDAMENTO CIRCOLARE



EDILIZIA CONTEMPORANEA

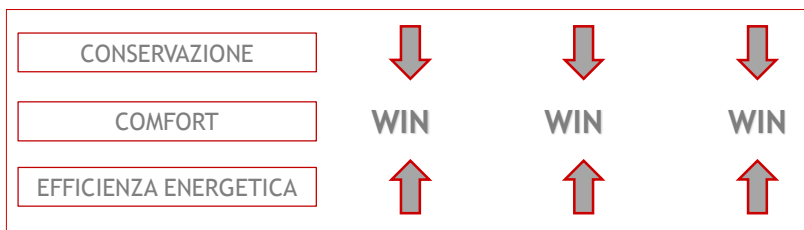


ANDAMENTO LINEARE

9

Elementi fondamentali per l'intervento

- Coinvolgimento di tutti gli stakeholders
- Multi/Trans-disciplinarietà
- Approccio olistico dell'intero processo progettuale
- Valutazione dell'impatto conservativo delle misure di efficienza energetica
- Valutazione integrata di benefici di efficienza energetica, comfort ambientale e costi degli interventi
- Analisi del ciclo di vita dell'edificio



10

Coinvolgimento degli stakeholders



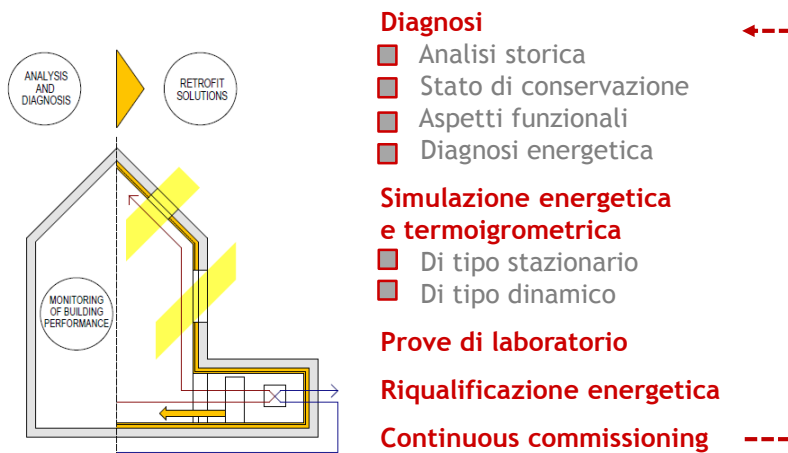
11

Multi/Trans-disciplinarietà



12

Approccio olistico



13

DIAGNOSI DELL'EDIFICIO

14

Analisi storica



- Epoche storiche
- Fasi costruttive
- Tecniche costruttive
- Materiali

15

Analisi dello stato di conservazione



- Stato di conservazione
- Problemi di degrado
- Epoche storiche
- Stato di manutenzione

16

Diagnosi energetica

Definizione: procedura sistematica volta a fornire un'adeguata conoscenza del **profilo di consumo energetico** di un edificio o gruppo di edifici, ad individuare e quantificare le opportunità di risparmio energetico sotto il profilo costi-benefici e riferire in merito ai risultati (Direttiva 2012/27/CE)

Tecniche di diagnosi energetica e ambientale *in situ*

- Esame visivo
- Termografia a raggi infrarossi
- Analisi sonora
- Blower Door Test e fumi traccianti
- Analisi termoflussimetrica
- Analisi stratigrafica
- Monitoraggio ambientale



Diagnosi non distruttiva

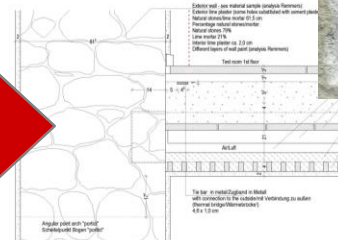
Diagnosi debolmente distruttiva

Monitoraggio ambientale

17

Rilievo geometrico ed esame visivo

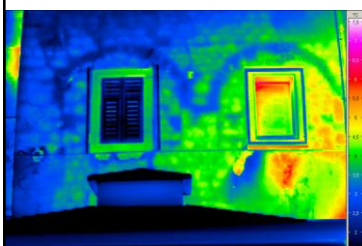
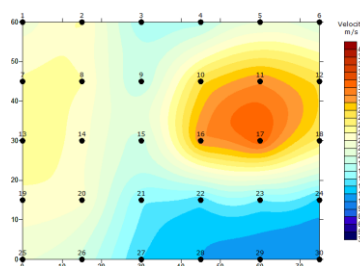
- Dimensioni di ambienti
- Spessori murari
- Materiali utilizzati
- Epoche storiche
- Problemi di degrado evidenti
- Malfunzionamento impiantistico
- Gestione dell'edificio



18

Termografia a raggi infrarossi e analisi sonica

- Stratigrafie e materiali costruttivi
- Modifiche strutturali e costruttive
- Stato di conservazione
- Anomalie termiche
- Infiltrazioni d'aria
- Infiltrazioni d'acqua
- Malfunzionamento impiantistico



19

Blower Door Test e fumi traccianti

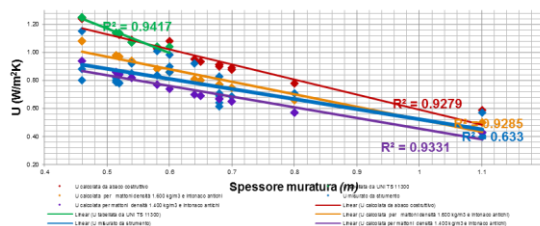
- Infiltrazioni d'aria
- Ricambi d'aria
- Fessurazioni e cricche nelle pareti
- Giunzioni



20

Analisi termoflussimetrica

- Trasmittanza termica
- Conduttanza termica



21

Analisi stratigrafica

- Stratigrafie murarie
- Epoche storiche
- Tracce di materiali
- Caratteristiche fisiche chimiche e meccaniche dei materiali



22

Monitoraggio ambientale

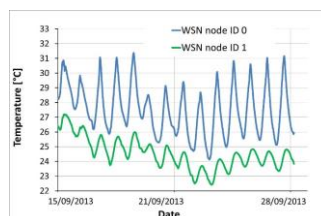
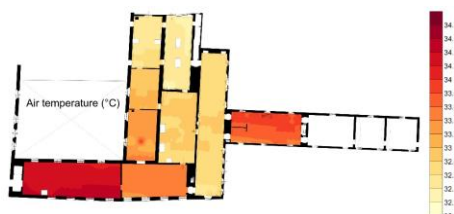
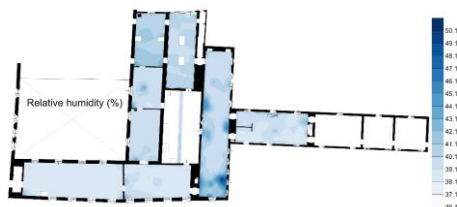
- Centraline di monitoraggio
- Sensori commerciali
- Sensori sviluppati appositamente



23

Monitoraggio ambientale

- Termoigrometrico
- Luminoso
- Aerobiologico



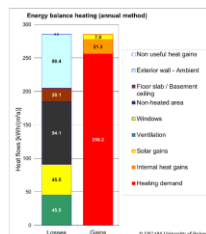
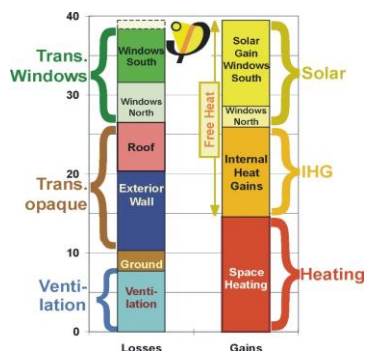
24

SIMULAZIONE DEL COMPORTAMENTO ENERGETICO E TERMOIGROMETRICO

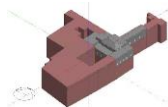
25

Simulazione energetica di tipo statico

- Nell'ambito di EnerPHit, una procedura di certificazione volontaria degli edifici esistenti, è stata sviluppata anche una specifica versione del software PHPP



Space heating	Treated floor area	1,111.0 m ²
	Heating demand	273 kWh/m ² a
Space cooling	Overall specifi. space cooling demand	2 kWh/m ² a
	Cooling load	19 W/m ²
	Frequency of overheating (> 25 °C)	1.7 %
Primary energy	Heating, cooling, auxiliary energy, DHW, space heating and auxiliary electricity	543 kWh/m ² a
	Specific primary energy reduction through solar electricity	439 kWh/m ² a
Airtightness	Pressurization test result n ₅₀	5.9 1/h



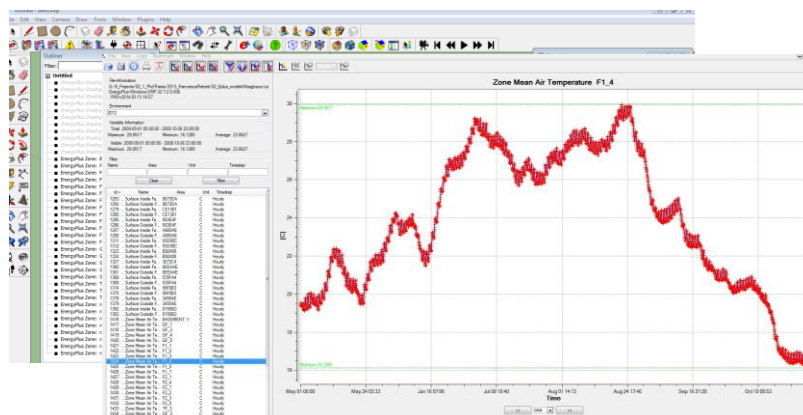
Simulación con el software
PHPP



26

Simulazione energetica di tipo dinamico

Calibrazione del modello



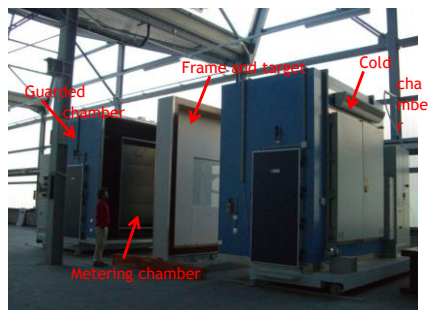
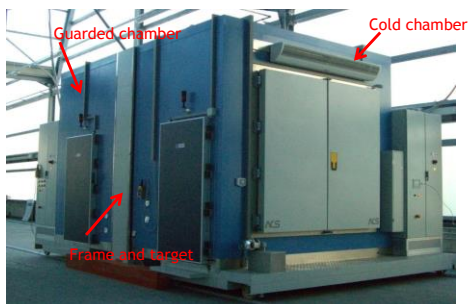
27

PROVE DI LABORATORIO

28

Prove di laboratorio

■ Camera climatica

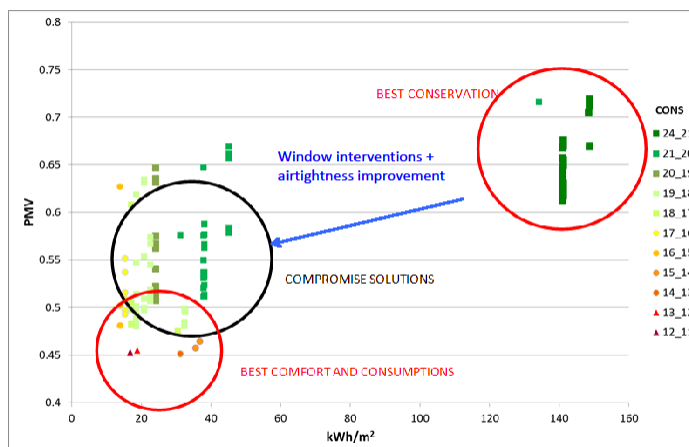


29

INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA

30

Ottimizzazione degli interventi



31

Interventi di riqualificazione energetica

- Isolamento termico
 - Isolamento interno
 - Isolamento della copertura
 - Isolamento del solaio (portici)
 - Isolamento del basamento
- Riqualificazione / sostituzione delle finestre
- Illuminazione artificiale
- Ventilazione meccanica controllata (ibrida)

32

Isolamento interno

- ❑ Consocenza dell'edificio e delle caratteristiche della parete
- ❑ Raccomandazioni dei conservatori - paradigmi del restauro
- ❑ Opere preliminari - Consolidamento ad opera del restauratore
- ❑ Sviluppo di un prototipo di isolamento capillare attivo (IQ-Therm)



33

Isolamento interno

- ❑ Installazione del prototipo in una stanza test



34

Isolamento interno

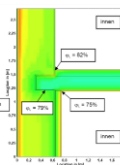
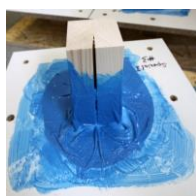
- Monitoraggio della stratigrafia di parete



35

Isolamento della testa delle travi

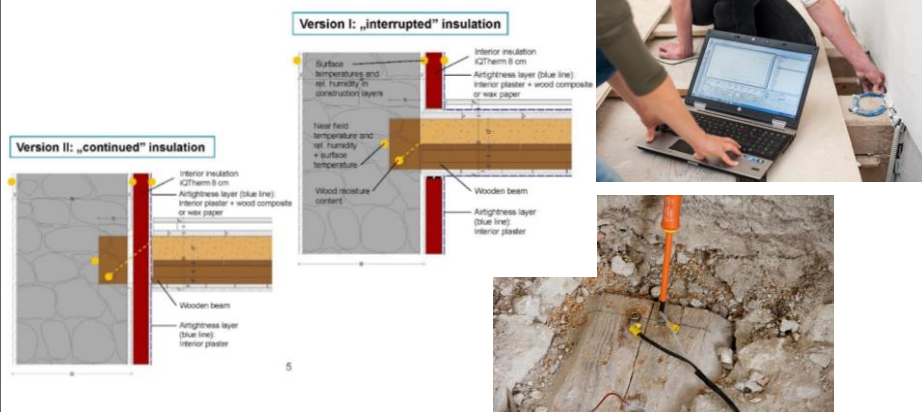
- Verifica delle alternative progettuali
- Simulazione termoigrometrica



36

Isolamento della testa delle travi

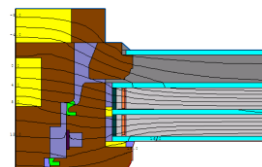
- Installazione del prototipo in una stanza test
- Monitoraggio della testa delle travi



37

Riqualificazione/sostituzione delle finestre

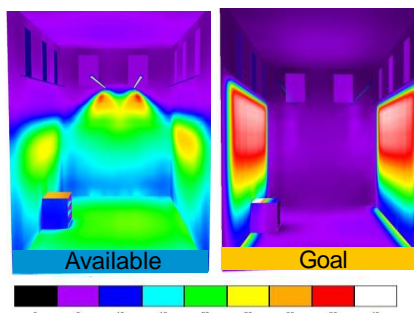
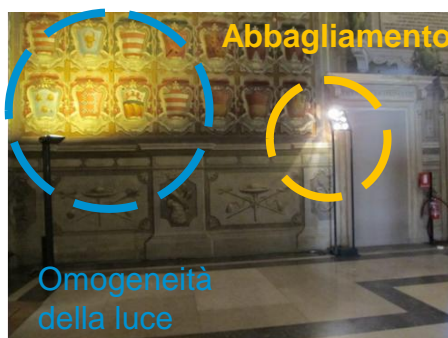
- Valore delle finestre
- Raccomandazioni dei conservatori
- Caratteristiche costruttive tipiche
- Sviluppo del prototipo della finestra



38

Illuminazione artificiale

- Caratteristiche del patrimonio da illuminare
- Individuazione dei problemi illuminotecnici

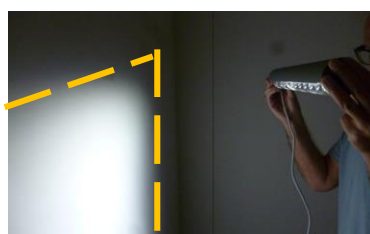
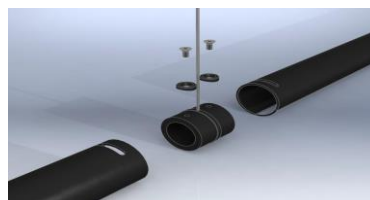
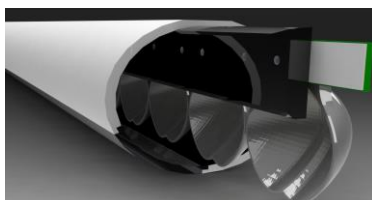


Bartenbach
research & development

39

Illuminazione artificiale

- Sviluppo del prototipo del sistema di illuminazione

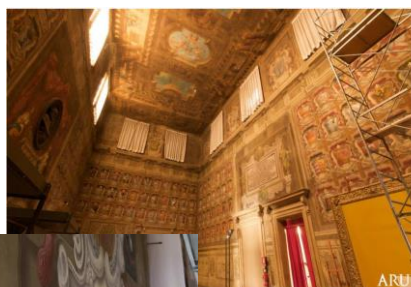


Bartenbach
research & development

40

Illuminazione artificiale

- Simulazione illuminotecnica del prodotto in opera
- Posa in opera del prototipo del sistema di illuminazione

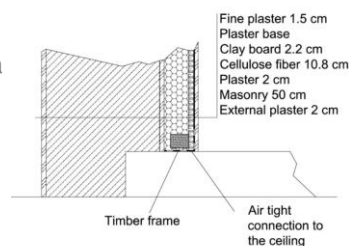


ARUP
Bartenbach

41

Ventilazione meccanica controllata

- Conoscenza dell'edificio
- Raccomandazioni dei conservatori
- Sviluppo del prototipo del sistema



ALFA



42

Ventilazione meccanica controllata

- Installazione del prototipo in un'aula tipo



Altea



43

hBIS^{ec} - "historic Building Information System"

Raccolta di informazioni per la diagnosi in modo strutturato:

- Analisi storica
- Analisi dello stato di conservazione
- Diagnosi energetica
- Simulazioni energetiche delle diverse alternative progettuali
- Interventi di riqualificazione energetica
- Monitoraggi e *continuous commissioning*



44

COMUNICAZIONE SCIENTIFICA

45

Comunicazione scientifica

- Handbook
Virtual Library
Frequent ask questions
Position papers



**DOCUMENTAZIONE
TECNICA**

- Educational Tool for University Courses
Educational Tool for Tecnicians



EDUCAZIONE

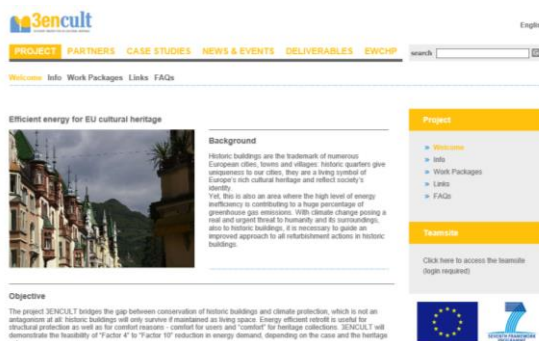
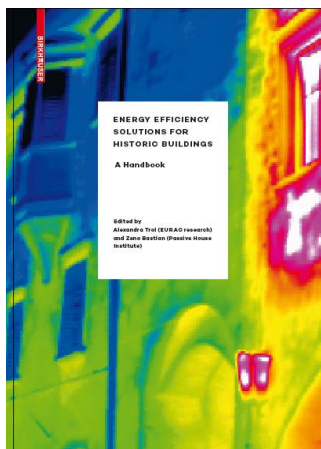
- Partecipazione/organizzazione
di conferenze
Partecipazione a fiere
Study tours



DIVULGAZIONE

46

Divulgazione scientifica



www.3encult.eu

www.effesus.eu

47

Grazie per l'attenzione!

Elena Lucchi

EURAC - Istituto per le Energie Rinnovabili

Drususallee 1 / Luis Zuegg Str. 11 - 39100 Bolzano/ Bozen

Email: elena.lucchi@eurac.edu

48