

## PER CLASSIFICARE IL PATRIMONIO STORICO E DETERMINARE IL RISPARMIO ENERGETICO FOR THE CATEGORISATION OF HISTORIC BUILDINGS TO DETERMINE ENERGY SAVING

Tor Broström\* Anna Donarelli\*\* Fredrik Berg\*\*\*

**ABSTRACT** - Le possibilità di risparmio energetico del patrimonio edilizio storico sono influenzate dalle sue caratteristiche tecniche e dal suo valore culturale. Il problema è stato oggetto di studio per quanto riguarda gli edifici monumentali, ma per la maggior parte degli edifici storici, definiti ai fini della presente ricerca come costruzioni tradizionali erette prima del 1945, ovvero prima dell'industrializzazione del settore edile, vi è ancora la necessità di ulteriori indagini. Per studiare un patrimonio edilizio vasto è necessario operare qualche generalizzazione, ad esempio suddividerlo in un numero limitato di categorie statisticamente rappresentative. Lo scopo di questo articolo è presentare lo sviluppo di un metodo per la classificazione del patrimonio edilizio storico che consenta di identificarne le potenzialità in relazione al risparmio energetico e alla conservazione del valore culturale. Studiando le categorie costruttive e gli edifici-tipo nel dettaglio, è possibile estrapolare i risultati per rappresentare un patrimonio edilizio ampio.

Il metodo di classificazione si articola in tre fasi: inventario degli edifici, classificazione e selezione degli edifici-tipo. L'inventario prevede la raccolta e la compilazione dei dati sul patrimonio edilizio, operazioni necessarie allo scopo di fornire una solida base statistica alle fasi successive. La categorizzazione viene effettuata dividendo gli edifici in gruppi secondo le loro caratteristiche di base, ad esempio le dimensioni e il numero di pareti contigue, operando una delimitazione, qualora fosse necessario, al fine di escludere quelli atipici. A questo punto si procede alla selezione degli edifici-tipo, le cui caratteristiche vengono identificate sulla base dei valori mediani di ciascuna categoria e, in alcuni casi, ad esempio per quanto riguarda età, utilizzo, tipo di costruzione, ecc., motivandole statisticamente in relazione ai dati dell'inventario.

È stato poi analizzato come caso di studio la Città di Visby in Svezia, dichiarata patrimonio mondiale dell'umanità dall'UNESCO. Se si applica questo metodo di classificazione alle costruzioni edificate a Visby prima del 1945, i risultati mostrano che il 70% del volume complessivo degli immobili oggetto dello studio è rappresentato dall'87% degli edifici. Lo studio dimostra quindi che è possibile generalizzare alcune caratteristiche anche in un patrimonio edilizio variegato, adottando le caratteristiche di base come minimo comune denominatore di ciascuna categoria. Il risultato della classificazione infatti agevola l'identificazione di edifici-tipo rappresentativi, che possono essere utilizzati per la modellazione energetica. I sei gruppi di edifici-tipo identificati a Visby sono presentati alla fine dell'articolo. Il presente studio è stato condotto nell'ambito di due progetti multidisciplinari: Potenzialità e politiche di efficienza energetica in edifici svedesi costruiti prima del 1945, finanziato dall'Agenzia Svedese per l'Energia, ed Efficienza energetica per i Centri Storici dell'UE, fondato dalla Commissione Europea nell'ambito del suo Settimo Programma Quadro.

In vista degli obiettivi di ridurre il consumo energetico nel patrimonio costruito, stabiliti a livello europeo (-20% entro il 2020) e nazionale (in Svezia -50% entro il 2050), è necessario analizzare l'impatto di tali obiettivi sul contesto edilizio esistente. Circa un terzo degli edifici svedesi è antecedente al 1945: vi è pertanto un enorme potenziale di risparmio energetico nel patrimonio edilizio storico; allo stesso tempo, tuttavia, bisogna tenere conto del rischio che il suo valore culturale vada perso qualora i necessari interventi non vengano effettuati con la dovuta attenzione. Si sente pertanto l'esigenza di nuovi metodi interdisciplinari che consentano di bilanciare in modo sistematico i fattori economici e ambientali con le conseguenze degli interventi per il risparmio energetico sul valore culturale del patrimonio edilizio.

Il presente studio è stato svolto nell'ambito del progetto di ricerca svedese *Potenzialità e politiche di efficienza energetica in edifici svedesi costruiti prima del 1945*, finanziato dall'Agenzia Svedese per l'Energia e condotto da un gruppo di lavoro multi-disciplinare con rappresentanti delle Università di Uppsala e Linköping. Tale progetto ha lo scopo di definire il potenziale di efficienza energetica e sviluppare metodi per elaborare strategie di risparmio energetico, ad esempio tramite l'analisi *Life Cycle Cost (LCC)* del patrimonio edilizio storico svedese. Lo studio è collegato in parte anche al progetto comunitario *Efficienza energetica per i Centri Storici dell'UE (EFFESUS)*, che rientra nel Settimo Programma Quadro della Commissione Europea (2012-2016).

**Obiettivi** - È possibile studiare un patrimonio edilizio vasto suddividendolo in un numero limitato di categorie statisticamente rappresentative, esemplificabili ai fini di un'accurata analisi energetica attraverso alcuni edifici, scelti come campioni o archetipi. Infine, i risultati ottenuti possono essere estrapolati per rappresentare il patrimonio edilizio del quartiere o della nazione e quindi utilizzati per sviluppare piani e linee guida intesi a migliorare l'efficienza energetica e le pratiche di conservazione del patrimonio. L'obiettivo del presente articolo è presentare un metodo per la classificazione del patrimonio edilizio storico e dimostrare come tale metodo possa essere applicato a un caso specifico per selezionare edifici rappresentativi ai fini dell'analisi energetica.

*Stato dell'arte* - Ballarini et al. 2011 hanno presentato vari metodi per la selezione degli edifici di riferimento, giungendo alla conclusione che non esiste un metodo standardizzato a riguardo. Affinché i campioni o gli archetipi siano rappresentativi del patrimonio edilizio, tipico e medio in termini di condizioni climatiche e funzionalità, i dati raccolti per la scelta degli edifici di riferimento possono essere suddivisi in quattro gruppi: forma, involucro, sistema e funzionamento. Un simile approccio alla raccolta dei dati è stato adottato da altri studi condotti a livello nazionale; a seconda degli obiettivi della ricerca e delle dimensioni del patrimonio edilizio, i dati raccolti devono essere più o meno dettagliati. Nel 2012, il progetto UE Tabula ha elaborato per i Paesi partecipanti tipologie di edifici residenziali basate sulle dimensioni (abitazione unifamiliare, villetta a schiera, abitazione plurifamiliare e condominio) e sull'età; ulteriori parametri sono stati utilizzati a livello nazionale. Per rappresentare i diversi tipi di edificio sono stati scelti dei campioni, sui quali poi si sono eseguiti i calcoli, volti a identificarne il potenziale di risparmio energetico. Per rendere possibile il confronto tra i vari Paesi, il metodo impiegato si basa su di un sistema di parametri sia nazionali, in risposta alle esigenze di applicazioni nazionali, sia comuni.

Il modello denominato *ECCABS (Energy, Carbon and Cost Assessment for Building Stocks)* è un modello bottom-up per valutare gli interventi di risparmio energetico e le strategie di mitigazione delle emissioni di CO<sub>2</sub> in relazione al patrimonio edilizio (Mata et al. 2013). I parametri di input sono relativi alla geometria degli edifici e alle proprietà termiche dei materiali da costruzione, nonché alle caratteristiche degli impianti e alla temperatura interna richiesta. A ciascun edificio è assegnato un coefficiente di ponderazione, che rappresenta la porzione degli immobili oggetto di studio appartenenti a quella data categoria; ciò consente di estrapolare i risultati relativi agli edifici rappresentativi per l'intero patrimonio. È possibile usare sia edifici campione sia edifici archetipici. Gli studi *ECCABS* sono stati svolti in diversi Paesi per dimostrare l'applicabilità del modello, evidenziando tuttavia anche il problema della ricerca di dati affidabili.

Nel 2006 l'Ente Nazionale Svedese per la Pianificazione e la Costruzione Edilizia, Boverket, ha svolto un ampio studio sul patrimonio edilizio,

**KEYWORDS** - Classificazione degli edifici, valore culturale, risparmio energetico.

**ABSTRACT** - Technical characteristics and cultural values affect the possibility of saving energy in the historic building stock. The issue has been addressed and studied in monumental buildings. For the majority of historic buildings, defined in this research as traditional constructions built before 1945 when the building sector became more industrialised, there is still a need for further studies. In order to study a large building stock it is necessary to make generalisations. To break down the stock into a few statistically representative categories is one way of doing that. The aim of this article is to present the development of a method to categorise a historic building stock with the ability to identify the potential for energy saving and preservation of cultural values. By studying building categories and typical buildings in detail the results can be extrapolated to represent a large building stock.

The method for categorisation is done in three steps: *building inventory*, *categorisation* and *selection of typical buildings*. The inventory is when data on the building stock is gathered and compiled. This is necessary in order to have a sound statistical basis for the following steps of the method. The categorisation is done by dividing the buildings in groups based on their basic characteristics; for example size and number of adjoining walls. A delimitation is done, if necessary, in order to exclude atypical buildings. Typical buildings from each category are then selected by letting the medium values within the categories decide the characteristics of the typical buildings. Other characteristics such as age, use, construction type etc. can be determined for the typical buildings and motivated statistically based on the data in the inventory.

A case study has been carried out on the historic building stock in the town Visby in Sweden, a UNESCO World Heritage Site. When applying the method for categorisation on the buildings built before 1945 in Visby the results show that 70 % of the buildings' volume is represented by 87 % of the buildings. The study shows that it is possible to generalise some aspects even in a relatively richly nuanced building stock by letting the basic characteristics constitute the first common denominators in a categorisation. The result of the categorisation facilitates the identification of representative typical buildings that can be used for energy modelling. The six groups of typical buildings identified in Visby are presented at the end of the article. This study has been conducted within the multi-disciplinary projects *Potential and policies for energy efficiency in Swedish buildings built before 1945*, financed by the Swedish Energy Agency and Energy Efficiency for EU Historic Districts, funded by the European Commission under its Seventh Framework Programme.

**KEYWORDS** - Building categorisation, cultural values, energy saving.

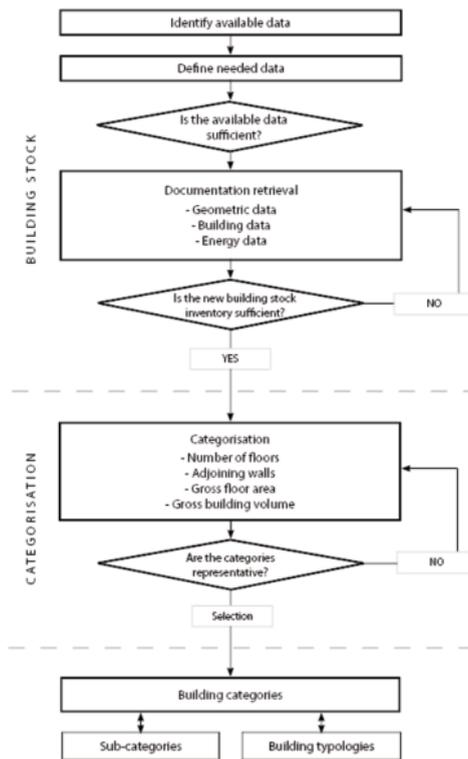


Fig.1 - The cross-disciplinary method for categorisation.

denominato *BETSI*. L'obiettivo era realizzare, con ispezioni, misurazioni, questionari, interviste, ecc., una descrizione delle caratteristiche tecniche degli edifici in relazione al consumo energetico, alle condizioni climatiche interne, alle caratteristiche dei materiali, degli elementi costruttivi e degli impianti. I questionari sono stati inviati ai residenti e ai proprietari degli immobili oggetto dello studio. I primi risultati sono stati presentati nel 2009, mentre una versione più completa è apparsa nel 2010. L'Istituto di Statistica Svedese ha scelto quasi 1800 edifici per rappresentare l'intero patrimonio edilizio. Per via delle ampie finalità dello studio *BETSI*, è stato utilizzato un metodo di selezione avanzato, composto da più fasi; la prima prevedeva la scelta di 30 Comuni, la seconda delle unità fiscali, la terza degli edifici e la quarta di singole unità abitative.

Questo *excursus*, sui precedenti tentativi di rappresentare statisticamente e classificare il patrimonio edilizio, mostra come questi, nonostante la varietà di tipi e schemi di classificazione utilizzati, si basino tutti su di un approccio omogeneo in termini di metodo e dati di input. Inoltre, l'accessibilità e la qualità dei dati relativi agli edifici nazionali variano considerevolmente, costituendo sempre un fattore limitante. Le tipologie e gli schemi di classificazione esistenti sono dunque utili nel contesto del presente studio, ma è necessario apportarvi delle modifiche che tengano in considerazione il valore del patrimonio culturale e la sua vulnerabilità al cambiamento. In base alle ricerche precedenti, inoltre, è possibile identificare un requisito minimo in termini di dati necessari a classificare gli edifici. Nel contesto del progetto EFFESUS, Berg (2015) ha sviluppato un metodo di classificazione specifico per l'analisi energetica dei Centri Storici. Il presente contributo espone un ulteriore sviluppo di tale metodo e la sua applicazione a un caso di studio.

*Il Metodo di Classificazione* - Il metodo proposto per la classificazione del patrimonio edilizio si articola in tre fasi: inventario degli edifici, classificazione e selezione degli edifici-tipo. Si tratta di un processo iterativo, come descritto nella Figura 1.

*Inventario degli edifici* - La prima fase del processo di classificazione del patrimonio edilizio consiste nell'identificare e raccogliere i dati disponibili sul comparto edilizio analizzato. I dati statistici e i database esistenti dovrebbero costituire le fonti principali dell'inventario degli edifici; ulteriori dati, eventualmente necessari, andrebbero raccolti in loco. L'accesso ai dati sugli edifici potrebbe rappresentare un ostacolo; pertanto occorre un approccio flessibile che si adatti ai dati disponibili.

L'esame dei dati disponibili sul patrimonio edilizio storico coinvolge la valutazione dell'affidabilità e della qualità generale delle rilevazioni e dei progetti in corso e completati. Ciò avviene preferibilmente attraverso uno sforzo congiunto con le autorità nazionali o locali, responsabili del patrimonio culturale, e con i tecnici competenti in materia di sistemi per l'approvvigionamento energetico e di servizi per la mappatura digitale. Le informazioni sugli edifici possono essere ricavate dai registri ufficiali, dai documenti di pianificazione urbanistica e dai rilievi del patrimonio esistente.

Fonti e metodi devono essere valutati in termini di costo, operabilità e qualità presunta dell'output prima di cominciare la raccolta di informazioni aggiuntive, soprattutto per quanto riguarda i dati con un alto tasso di variabilità, ad esempio i sistemi di approvvigionamento energetico, i consumi di energia, i registri degli Attestati di Prestazione Energetica (APE) e la destinazione d'uso degli edifici. Per la classificazione fisica del patrimonio edilizio sono necessari i seguenti parametri minimi: identificativo dell'edificio; numero di piani; superficie coperta; numero di pareti contigue (perimetri). I requisiti secondari, che consentiranno l'analisi approfondita dei tipi e delle sottocategorie, comprendono: periodo di costruzione; tipo costruttivo dell'involucro dell'edificio; funzionamento/uso; fonte principale di energia e sistema di distribuzione del calore; vincolo di tutela.

*Organizzazione dei dati* - Il processo di organizzazione dei dati deve essere preceduto dalla costruzione di una matrice binaria di inventario, in cui conservare e verificare in modo continuo le informazioni acquisite; a tal fine sono disponibili varie piattaforme software. Per l'involucro edilizio e il relativo tipo di costruzione, le modalità di raccolta delle informazioni devono essere adattate per soddisfare i requisiti stabiliti; dovrebbero inoltre essere inclusi, se possibile, materiale, tipo di rivestimento e carattere architettonico. Tuttavia, saranno le dimensioni del patrimonio edilizio a determinare il grado di dettaglio raggiungibile e la possibilità di raccogliere dati in loco. Conclusa la raccolta dei dati, è necessario valutare se essi siano sufficienti; in caso negativo, si dovrebbe procedere alla raccolta di dati aggiuntivi, che risultassero necessari. Questa iterazione viene ripetuta dopo aver definito le categorie di edifici, qualora queste si rivelassero essere poco accurate o eccessivamente numerose.

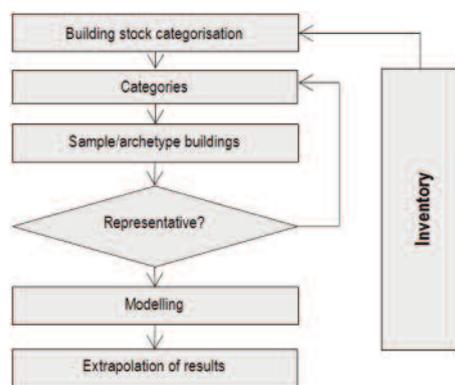


Fig. 2 - Illustration of the process for identifying and modelling archetype buildings, based on an existing statistical inventory.

**Classificazione** - Strutturate e archiviate, le informazioni sugli immobili forniscono l'input per un modello ad albero; da questo si ottiene come output un numero limitato di categorie per gli edifici del comparto analizzato. Questo metodo di classificazione si fonda sull'idea di identificare delle caratteristiche che consentano di elaborare un modello rappresentativo (benché relativamente inesatto) del patrimonio edilizio. Di conseguenza, le categorie possono essere analizzate da diverse prospettive, ad esempio il fabbisogno energetico, le problematiche costruttive, i rischi legati alla conservazione del patrimonio culturale, ecc.

#### Definire la Struttura Fisica

**Fase 1, relativa ai Piani** - In questa prima fase, gli edifici sono raggruppati secondo il numero di piani. Un quartiere storico, con un modello di insediamento a densità particolarmente bassa, potrebbe essere suddiviso in edifici a un piano; edifici a due piani; edifici a tre o più piani (>3). Questa suddivisione potrebbe ovviamente essere diversa nel caso di un patrimonio edilizio più eterogeneo, ma per ridurre il numero di categorie nelle fasi seguenti è consigliabile mantenere al minimo i vari parametri.

**Fase 2, relativa ai Confini** - La fase successiva prevede la suddivisione degli edifici in base al numero di pareti contigue alle altre costruzioni: indipendente (0 pareti contigue); semi-indipendente (1 parete contigua); a schiera ( $\geq 2$  pareti contigue).

**Fase 3, relativa alla Superficie coperta** - La terza fase prevede il calcolo della superficie di pavimento in base alle dimensioni esterne; questo passaggio non influenza il numero di categorie, ma è necessario per caratterizzarne le peculiarità fisiche.

**Fase 4, relativa al Volume** - In questa fase si determina il volume di ciascun edificio (m<sup>3</sup>) in base alle dimensioni esterne; è possibile acquisire i valori corretti dei volumi dai dati dettagliati sugli edifici (se disponibili) o ricorrere a calcoli generalizzati, basati sul numero di piani.

**Delimitare e ponderare le categorie** - Le categorie fisiche, una volta definite, devono essere delimitate e ponderate. Il peso assegnato a ciascuna categoria si basa sul numero di edifici in essa contenuti e su un dato chiave, che rappresenta il volume medio di ciascun elemento della categoria. Una categoria costituita da pochi edifici con volumetria consistente avrà pertanto un peso maggiore rispetto a una categoria composta sempre da pochi edifici ma con volumetria ridotta. Se poi le categorie

includono edifici evidentemente atipici, è possibile escluderli nei passaggi successivi. Edifici con caratteristiche fisiche simili possono essere molto diversi in termini di dimensioni; essendo questo un fattore di distorsione, è opportuno che gli intervalli di volume escludano gli edifici atipici. Dopo aver delimitato le categorie fisiche degli edifici, è possibile articularle in sottocategorie, basate su percentuali, senza dover sviluppare nuovi modelli di edifici fisici, ma tenendo conto di un livello di dettaglio sempre maggiore. Ciò consentirà un'analisi più approfondita delle caratteristiche tecniche o storiche del patrimonio analizzato, ad esempio concentrandosi su parametri costruttivi, termici e di funzionamento, senza perdere di vista le caratteristiche di base.

**Identificare gli edifici-tipo** - Vi sono due modi diversi di identificare e utilizzare gli edifici di riferimento o gli edifici-tipo: selezionare edifici reali, denominati edifici campione, o definire edifici generici basati su statistiche, denominati edifici archetipici. È obiettivo del presente studio stabilire quale sia il metodo più idoneo. Il processo è illustrato nella Figura 2. In entrambi i casi, sono i valori mediani all'interno delle categorie a determinare le caratteristiche degli edifici-tipo secondo la seguente procedura: viene definito il valore mediano del volume nella categoria X; viene definito il valore mediano delle misure esterne dell'edificio; per gli edifici archetipici è possibile determinare altre caratteristiche come età, utilizzo, tipo di costruzione, ecc., motivando statisticamente; per calcolare i valori di trasmittanza termica (U), è possibile studiare le tradizioni edilizie regionali e nazionali, elaborando stime di carattere generale in base all'anno di costruzione dell'edificio archetipico. Altre informazioni necessarie per la modellazione possono essere raccolte attraverso studi sul campo o calcolate secondo la prassi attuale.

#### CASO STUDIO VISBY

Come caso di studio è stata scelta l'architettura storica di Visby, piccola città svedese nell'isola baltica di Gotland, dichiarata patrimonio mondiale dell'umanità dall'UNESCO e quindi sottoposta a una legislazione severa in materia di conservazione degli edifici. Il suo patrimonio edilizio è costituito da caratteristiche materiali, costruttive e dimensionali variegata. Tra giugno e settembre 2013 è stato svolto un inventario degli edifici di Visby, raccogliendo dati relativi a circa 1.200 immobili, di cui 1.048 antecedenti al 1945.

**Inventario degli edifici** - Da un rilievo iniziale è emerso che è disponibile una serie di dati sugli edifici del centro della città di Visby sotto forma di database web, letteratura e mappe di pianificazione comunale compatibili con GIS. Si è deciso di provare a eseguire un controllo incrociato di tutti i dati. Le dimensioni del patrimonio edilizio hanno comportato anche alcuni limiti pratici per il lavoro di inventario, non sono infatti stati studiati gli interni e le planimetrie degli edifici. Fabbricati annessi e strutture di stoccaggio sono stati registrati come edifici secondari nei casi laddove è stato possibile escludere la presenza di riscaldamento. Per ciascun edificio sono state registrate le seguenti informazioni, qualora disponibili: tipo e materiali di costruzione; utilizzo; status di conservazione del patrimonio; volume e superficie; numero di piani; età; prestazione energetica (superficie riscaldata annua in kWh/m<sup>2</sup>); sistema di riscaldamento. La quantità di dati disponibili differiva da un edificio all'altro; erano disponibili attestati di prestazione energetica (APE) solo per il 10% degli immobili oggetto dello studio, mentre l'età e la cronologia dei restauri erano ben documentati. Gli edifici erano identificati nei documenti attraverso il nome della struttura e il numero civico, come registrati presso l'Istituto Nazionale Svedese del Catasto. Le informazioni geografiche, come le coordinate, non sono state utilizzate in questo caso.

**Classificazione** - Visby è caratterizzata principalmente da edifici bassi, per la maggior parte indipendenti e realizzati in pietra e legno, tuttavia ci sono anche alcuni immobili di dimensioni maggiori che rappresentano un'ampia parte del volume riscaldato totale del patrimonio edilizio. La Figura 3 mostra la quantità di edifici realizzati in legno e pietra nei diversi periodi di costruzione.

**Fase 1** - Gli edifici vengono raggruppati a seconda del numero di piani (Tabella 1). Questo consente di operare una prima, grossolana suddivisione in base alle dimensioni. Gli attici ammobiliati non vengono inclusi nel conteggio dei piani.

**Fase 2** - Nella fase successiva ciascun gruppo viene ulteriormente suddiviso in edifici indipendenti, semi-indipendenti e a schiera (Tabella 2). La maggior parte degli edifici si è rivelata essere indipendente o semi-indipendente.

**Fase 3** - È stata svolta un'analisi del volume delle categorie ai fini della delimitazione (Tabella 3).  
**Delimitazione e ponderazione** - Per eliminare gli edifici divergenti, di dimensioni troppo

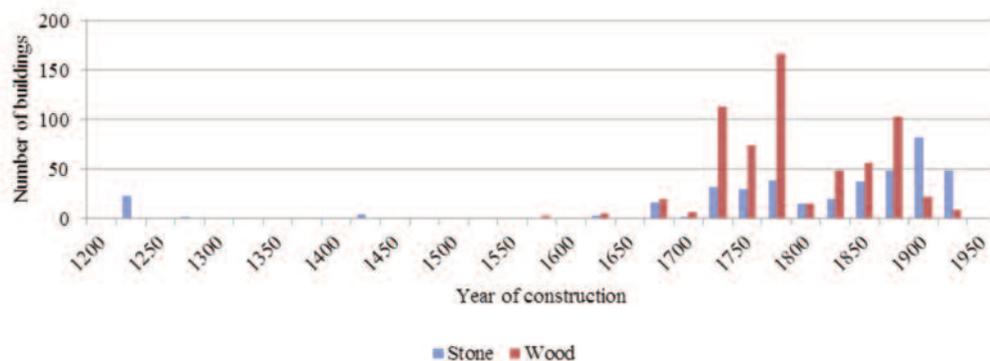


Fig. 3 - Diagram showing the relation between construction type and year of construction.

1048 buildings in total		
Type	1-storey buildings	Multi-storey buildings
No. of buildings	722 (68.9 %)	326 (31.1 %)

Table 1: The first step in the categorisation divided the total building stock of 1048 buildings into two groups; one-storey buildings and multi-storey buildings. About one third are one-storey buildings.

1048 buildings in total						
Type	1-storey buildings (68.9 %)			Multi-storey buildings (31.1 %)		
Adjoining walls	Detached	Semi-detached	Terraced	Detached	Semi-detached	Terraced
No. of buildings	412 (39.3 %)	258 (24.6 %)	52 (5.0 %)	121 (11.5 %)	121 (11.5 %)	84 (8.0 %)

Table 2: After dividing the building stock further each group gets three sub-categories.

1048 buildings in total						
Type	1-storey buildings			Multi-storey buildings		
Adjoining walls	Detached	Semi-detached	Terraced	Detached	Semi-detached	Terraced
Mean volume	300 m <sup>3</sup>	320 m <sup>3</sup>	425 m <sup>3</sup>	1380 m <sup>3</sup>	1300 m <sup>3</sup>	1350 m <sup>3</sup>

Table 3: The medium volume of each group has been defined.

grandi o troppo piccole, sono stati esclusi quelli con un volume al di fuori delle deviazioni standard di ogni categoria. Pertanto sono stati esclusi 128 edifici (il 13%), corrispondenti al 30% del volume totale del patrimonio edilizio; in altre parole pochi immobili, ma molto ampi. La figura 4 mostra le proporzioni ponderate prima e dopo la delimitazione.

**Risultati** - La classificazione ha prodotto sei categorie, che rappresentano l'87% degli edifici e il 70% del volume totale del patrimonio edilizio (Tabella 4), mentre i 128 fabbricati esclusi rappresentano il 30% del volume totale. Quasi il 90% del volume escluso non è utilizzato a scopo residenziale, trattandosi di strutture pubbliche e commerciali. Si tratta di un gruppo di immobili di grande interesse per gli interventi di risparmio energetico, ma dovrebbero essere studiati individualmente poiché non si tratta di edifici tipici né in termini di utilizzo né di geometria. La classificazione è basata sulle informazioni esistenti, ristrutturata per rendere possibile l'analisi da nuove prospettive, pertanto è importante sottolineare che non sono state generate nuove conoscenze. Per implementare i risultati è necessario un ulteriore studio degli edifici-tipo.

**Selezione degli edifici rappresentativi** - Per meglio riflettere il patrimonio edilizio oggetto dello studio di caso e per consentire un'analisi dei rischi più equilibrata, si è deciso di suddividere ciascun edificio archetipico in due sottocategorie: costruzioni in legno e in pietra. Questo significa che due edifici geometricamente simili variano in termini di dimensioni e valori U. Tutti i sei edifici-tipo sono suddivisi in due gruppi a seconda del materiale di costruzione: A significa che sono realizzati in legno, B che sono realizzati in pietra. La maggior parte degli edifici di Visby sono realizzati in legno. Si assume che la superficie delle finestre rappresenti il 20% della superficie totale delle pareti esterne sui lati lunghi della casa, il 10% sui lati

corti, tale calcolo è basato su un inventario svolto in loco e per tutti gli edifici-tipo è stata utilizzata la stessa percentuale. La superficie delle pareti elencata nelle descrizioni degli edifici-tipo che seguono è quella delle pareti interne.

Gli edifici 1-3 sono a un piano con attico ammobiliato e di norma sono dotati di un piano interrato non riscaldato che si estende al di sotto di parte dell'abitazione. Il tipo di costruzione più comune è quella a ritti e panconi con facciate intonacate. Questi edifici furono generalmente eretti intorno al 1800, quelli in pietra risalgono ad alcuni decenni più tardi rispetto a quelli in legno. Tipicamente sono dotati di tetti spioventi con tegole in argilla e sono utilizzati generalmente come abitazioni unifamiliari. L'edificio 1 è indipendente, il 2 è semi-indipendente, il 3 è a schiera. Gli edifici 4-6 sono a due piani con attico ammobiliato e piano interrato non riscaldato. Gli edifici in legno sono dotati di facciate intonacate. L'anno di costruzione si colloca tipica-

mente intorno alla metà del XIX secolo. Possono essere sia a uso abitativo che commerciale. La tipologia 4 è indipendente, la 5 semi-indipendente, la 6 a schiera.

**Conclusioni e ricerche future** - L'articolo ha presentato gli sforzi per sviluppare, convalidare e implementare un nuovo metodo di classificazione interdisciplinare per gli edifici storici. Lo scopo del lavoro era quello di sviluppare un metodo in grado di supportare la pianificazione delle strategie di risparmio energetico tenendo in considerazione nel processo decisionale anche aspetti quali il costo del ciclo di vita (LCC) e il valore culturale. L'applicazione dei dati di riferimento raccolti nell'inventario di Visby ha evidenziato i criteri e i parametri essenziali nella classificazione del patrimonio edilizio. Per aumentare il livello di dettaglio nell'inventario, è possibile coordinare i dati tramite GIS, in modo da renderli più facilmente gestibili e garantire un metodo più flessibile e una maggiore chiarezza dei risultati.

Il caso di studio ha dimostrato che è possibile suddividere un patrimonio edilizio ampio in un numero limitato di categorie rappresentative. Il riferimento alla geometria dell'involucro degli edifici si è rivelato ottimale per definire le categorie principali; di conseguenza è stato possibile aggiungere altre caratteristiche come sottocategorie. Il metodo da seguire e il livello di dettaglio del risultato dipendono dalle dimensioni del patrimonio edilizio. Infatti, quando si lavora con quartieri urbani storici, per l'inventario dei dati e la classificazione, è possibile adottare un approccio più pragmatico e adatto alle condizioni locali, mentre a livello nazionale la procedura dovrebbe essere basata su metodi statistici più automatizzati. Applicando il nostro metodo al patrimonio edilizio di Visby, è stato possibile identificare sei categorie e dodici edifici-tipo per ulteriori studi su involucro, volume, carattere storico, ecc.

Il risultati della modellazione degli edifici-tipo possono essere utilizzati, per estrapolazione, al fine di simulare il potenziale di risparmio energetico per l'intero patrimonio edilizio. Il risultato ottenuto non sarà esatto ma potrà servire per identificare le categorie di edifici in cui il potenziale di risparmio energetico è maggiore o minore. Applicando limiti e target differenti a diverse

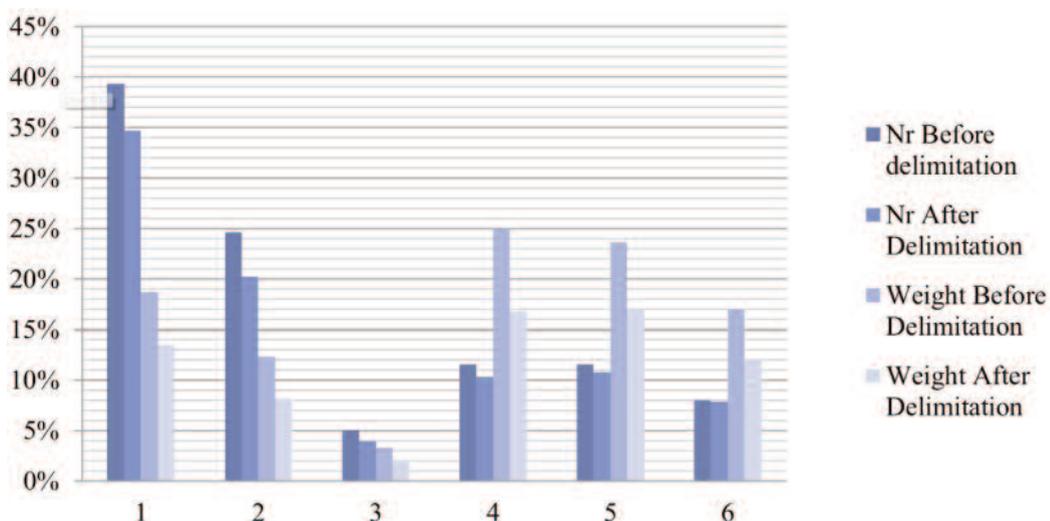


Fig. 4 - The actual and relative size of the six categories before and after delimitation.

Category	Nr of buildings	Construction category W/S*	Volume interval (m <sup>3</sup> )	Mean volume (m <sup>3</sup> )	Weighted share of stock	S/V R**	F-faktor wood/stone***
I	364 (34,7 %)	W 309 / S 55	60 - 550	250	14 %	0,74	1,82 / 2,05
II	212 (20,2%)	W 166 / S 46	80 - 560	260	8 %	0,62	1,52 / 1,71
III	41 (3,9 %)	W 25 / S 16	100 - 750	320	2 %	0,60	1,30 / 1,45
IV	108 (10,3 %)	W 33 / S 75	140 - 2520	1050	17 %	0,47	1,19 / 1,29
V	113 (10,8 %)	W 30 / S 83	200 - 2820	1000	17 %	0,39	1,00 / 1,08
VI	82 (7,8 %)	W 18 / S 64	100 - 3500	980	12 %		0,81 / 0,88
<i>Sum: 920</i>		<i>Sum: 70 %</i>					

Table 4: The outcome of the categorisation of the building stock in Visby. Construction category W/S = Wood buildings, Stone buildings; \*\*S/V R = Surface/Volume Ratio; \*\*\*Form factor = Envelope area/heated area.

categorie di edifici e all'intero patrimonio edilizio, è possibile tenere conto di un maggior numero di parametri, come il valore culturale, gli obiettivi nazionali di risparmio energetico e i limiti di costruzione. Ad esempio, la modellazione degli edifici-tipo può evidenziare che una tipologia ha un potenziale di risparmio energetico del 20% senza rischio di perdita del valore culturale, mentre un'altra può avere un potenziale minore a causa delle sue caratteristiche strutturali. Il risultato può essere utilizzato per lo sviluppo di politiche e per la pianificazione della gestione energetica. Il patrimonio edilizio di Visby è abbastanza omogeneo in termini di vincoli di tutela. Negli studi futuri, lo stesso metodo sarà applicato ad altri patrimoni edilizi con immobili ed esigenze di conservazione più diversificate, in modo da esplorarne ulteriormente l'applicabilità.

#### ENGLISH

*With the European target of decreasing energy use in buildings by 20 % in 2020 and the Swedish national target of 50 % in 2050 there is a need to analyse how this will affect the built environment. About one third of the Swedish buildings were built before 1945. Therefore there is a great potential to save energy in the historic building stock. At the same time there is a risk that these buildings lose their cultural values if this necessary adjustment is not implemented with caution. There is a need for new interdisciplinary methods in order to systematically balance economic and environmental factors with the consequences of energy saving measures on the cultural values of the building stock.*

*This study has been conducted as part of the Swedish research project Potential and policies for energy efficiency in Swedish buildings built before 1945 (Potential and policies). The project is financed by the Swedish Energy Agency and the research has been conducted in a cross-disciplinary workgroup with representatives from Uppsala University and Linköping University. The project aims at defining the potential for energy efficiency and developing the methods for deciding policies on energy saving strategies, for example by LCC analysis on the Swedish historic building stock. Parts of the study have also been connected to the EU-project Energy Efficiency for EU*

*Historic Districts (EFFESUS), which was funded by the European Commission under its Seventh Framework Programme (2012-2016).*

*Objective - In order to study a large building stock one can break it down to a limited number of statistically representative categories. The categories can be represented by a number of selected buildings, sample buildings or archetypes, for detailed energy analysis. Finally these results can be extrapolated to represent the building stock of a district or a nation. These results can be used to develop plans and guidelines for improving energy efficiency and heritage preservation practices. The objective of this article is to present a method to categorise a historic building stock and to demonstrate how this method can be applied in a specific case to select representative buildings for the purpose of energy analysis.*

*State of the art - Ballarini et al. 2011 presented different methods for selecting reference buildings. They found that there is no standardised method to do this. In order for sample or archetype buildings to represent the typical and average building stock in terms of climatic conditions and functionality the data collected for selecting reference buildings can be categorised in four groups: form, envelope, system and operation. Other studies on the national level show a similar approach to data collection. Depending on the aim of the study and the size of the building stock the data needs to be more or less detailed. The EU-project TABULA developed residential building typologies for the partner countries in 2012. The typologies are based on size (single-family house, terraced house, multi-family house and apartment block) and age. Other parameters were used on national levels. Exemplary buildings were chosen to represent the different building types, and calculations on possible energy savings were made. The methodology they have used is based on a system with national definitions - to be used for the needs of national applications - as well as common definitions - to make the data comparable between nations.*

*The model called ECCABS - Energy, Carbon and Cost Assessment for Building Stocks - is a bottom-up model to assess energy-saving measures and CO<sub>2</sub> mitigation strategies in building stocks*

*(Mata et al. 2013). Input parameters are data on building geometry and thermal properties of the construction materials as well as characteristics of the building service system and required indoor temperature. Each building is assigned a weighting coefficient, which represents the fraction of buildings in the entire stock that belong to that building category. This allows for the extrapolation of the results for the representative buildings to the entire stock. Either sample buildings or archetype buildings can be used. ECCABS studies have been made for different countries in order to demonstrate the application of the model. These studies show the applicability of the model, but also highlight the problem of finding reliable data.*

*In 2006 the Swedish National Board of Housing, Building and Planning, Boverket performed a large study on the building stock, called BETSI. The objective was to describe the technical characteristics of the buildings by inspection, measurements, questionnaires, interviews, etc., with regard to energy use, indoor climate and the condition of materials and constructions of the buildings and the building services systems. Questionnaires were sent to residents and homeowners in surveyed buildings. The first results were presented in 2009, and more extensive results in 2010. Almost 1800 buildings were chosen by Statistics Sweden to represent the entire building stock. An advanced method for selection was used, due to the broad purposes of the BETSI-study. In the multi-step selection step I was to select 30 municipalities, step II taxation units, step III buildings and step IV apartments and individuals.*

*This summary of previous attempts to statistically represent and categorise the building stock shows that a variety of typologies and categorisation schemes have been used, but they still define a common platform in terms of methodology and input data specifications. Also, the access to and quality of national building data varies greatly and will always be a limiting factor. Existing typologies and categorisation schemes are useful in the context of this study, but they need to be modified to take into account cultural heritage values and vulnerability to change. Based on the previous studies, a minimum requirement of data needed for building categorisation can be identified. As parts of the EFFESUS project, Berg (2015) developed a bespoke categorisation method specifically to facilitate an energy analysis of historic urban districts. This report presents a further development of the method and application to a case study. The method for categorisation - The proposed method for the categorisation of a building stock comprises three steps: building inventory, categorisation and selection of typical buildings. The process is described in Figure 1. It is an iterative process with overlapping elements (Fig. 1).*

*Building inventory - The first step in the process of categorising a building stock is to identify and collect available data on the district or area in question. Statistical data and existing databases should be the primary sources for the building inventory. If needed additional data must be collected in situ. The access to building data may be a limiting factor, which requires a flexible approach in order to adapt to data availability. A review of available data on a historic building stock involves evaluating both on-going and completed surveys and*

TYPICAL BUILDING 1: is a detached building with one floor.

	A (wood)	B (stone)
Heated area [m <sup>2</sup> ]	98	87
Floor area [m <sup>2</sup> ]	49	44
Roof area [m <sup>2</sup> ]	71	65
Wall area (excl. windows) [m <sup>2</sup> ]	86	80
Window area [m <sup>2</sup> ]	12	12
Internal volume [m <sup>3</sup> ]	216	192

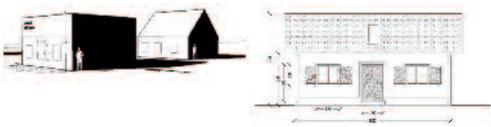


Fig. 5 - Typical building 1; its geometries and the medium sample building.

projects with regards to reliability and overall quality. This is preferably carried out in a joint effort with national or local heritage authorities and technical professionals with relevant knowledge on energy supply systems and digital mapping services. Main sources to emphasise in this phase are building information from official registries, city planning documents and surveys of the built heritage. The sources and methods should be assessed with regards to costs, operability and the presumed quality of output prior to beginning the collection of additional information. This especially concerns data with a high rate of variability, e.g. energy supply systems, energy consumption, EPC registers and the use of buildings. The following minimum parameters are needed for a physical categorisation of the building stock: building identification; number of floors; floor area; number of adjoining walls (perimeters). The secondary requirements will enable in-depth analyses of building typologies and sub categories: construction period; type of building envelope construction; operation/use; predominant energy supply and heat distribution system; legal protection.

Data retrieval - The data retrieval process should be preceded by structuring a logical inventory matrix where the acquired information can be stored and validated continuously. There are various software platforms for such data collection. The collection of data on building envelope and type of construction should be adjusted to meet the requirements that have been established. Material, type of cladding and architectural character

should also be included if possible. However, the size of the building stock will determine the possibility to go into details and collect data in situ. Once the data collection process is finished it is necessary to evaluate whether there is sufficient data or not. If not, supplementary data should be gathered to the extent that is required. This iteration will be repeated once the building categories have been generated and if they for example turn out to be inaccurate or too many.

Categorisation - Once the required building information has been structured and stored, it will provide input to a tree structured model that is used to define the building categories of a building stock. The method will result in a limited number of physical categories. The method for categorisation is built around the idea of identifying characteristic features in order to create a representative (but relatively inexact) model of the building stock. These categories can subsequently be analysed from different perspectives, for example energy demand, construction problems, risks for heritage preservation etc.

#### Defining The Physical Structure

Step 1 - Storeys: The primary step addresses the issue of clustering the total amount of buildings according to the number of storeys each building has. Given the historic district, a particularly low settlement pattern could be divided in terms of: One storey buildings; Two storey buildings; Buildings with three storeys or more ( $>3$ ). The segmentation of storeys could evidently be different if the building stock is more heterogeneous. But in order to minimise the number of categories in the following steps, the different ratios should be kept at a minimum.

Step 2 - Boundaries: The next step involves dividing the buildings in accordance with their boundaries, i.e. the number of adjoining walls to other buildings; detached (0 adjoining walls); semi-detached (1 adjoining wall); terraced ( $\geq 2$  adjoining walls).

Step 3 - Floor area: The third step involves a calculation of the floor area based on external dimensions. This step will not affect the number of categories, but is part of the characterisation of their physical features.

Step 4 - Volume: In this step the building volume (m<sup>3</sup>) is defined, based on external dimensions. Correct values for building volumes can be acquired either from detailed building data (if available) or generalised calculations based on the number of storeys.

Delimiting and weighting the categories - After the physical categories have been defined, the categories must be delimited and weighted. The weight given to a category is based on the number of buildings in the category and a key number representing the average building volume of the category. A category with few buildings and large volumes may thus have more weight than one with few buildings and smaller volumes. If the delimited categories still include buildings that obviously are atypical, it is possible to exclude them manually in the following steps.

Buildings with common physical features can be very divergent in terms of size. This can become a distortion factor in the context of building size, why the volume intervals should be delimit-

ed by excluding atypical buildings. Having established delimited physical categories, subcategories can be added by percentage without having to develop new physical building models, yet taking increasing levels of details into account. This will enable a deeper analysis of technical or historic characteristics without losing the quantitative typicality, e.g. by focusing on constructional, thermal and operational parameters.

Subcategories - Having established delimited physical categories, subcategories can be created. This will enable a deeper analysis of technical or historic characteristics without losing the basic characteristics, for example by focusing on constructional, thermal and operational parameters.

Identifying typical buildings - There are two different ways of identifying and using reference buildings or typical buildings. Either real buildings are selected, called sample buildings or generic buildings are defined based on statistics, called archetype buildings. The purpose of the study decides which method is the most suitable. The process is illustrated in Figure 2. In either, the medium values within the categories decide the characteristics of the typical buildings in the following way: medium value of volume in category X is defined; medium value of the building's external measurements is defined; other characteristics such as age, use, construction type etc. can be determined for the archetype building and motivated statistically; in order to calculate U-values, regional and national building traditions can be studied. Depending on the year of construction of the archetype building general estimations can be made; other information needed in the modelling can be collected either through field studies or calculated according to current practice (Fig. 2).

#### CASE STUDY, VISBY

The selected case study was the historic building stock of Visby, Sweden. It is a small town on the Island Gotland in the Baltic Sea listed as a UNESCO World Heritage Site. This means that regulations for the preservation of the buildings are stricter than normal. The building stock represents different volumes, building materials and traditional constructions. An inventory of the buildings in Visby was carried out between June and September 2013. About 1200 buildings were registered and documented with data on age, size and construction, among other things. 1048 of the buildings were built before 1945.

Building inventory - An initial survey showed that there were a variety of available building data concerning Visby town centre in the form of website databases, literature and municipal GIS compatible planning maps. It was decided to try cross checking all data. The size of the building stock also meant some practical limitations for the inventory work. Building interiors and layouts were not studied. Outhouses and storage buildings came to be registered as secondary buildings where it was possible to rule out that these were heated. The following information was registered for each building where this data was available: construction type and material; use; heritage protection status; volume and area; number of storeys; age; energy performance (annual

kWh/m<sup>2</sup> heated area); heating system. The amount of data available for each building varied; there were energy performance certificates (EPC's) for only 10 % of the buildings, whereas age and history of restorations were well documented. The buildings were identified in the document by their property name and house number, as registered by the Swedish National Land Survey. Geographic information, such as coordinates, has not been used in this case.

**Categorisation -** Visby has a low-rise building stock, with mostly detached buildings constructed in stone and wood. But there are also a few larger buildings which represent a big part of the total heated volume of the building stock. Figure 3 shows the amount of buildings constructed in wood and stone from the different construction periods.

**Step 1:** The buildings are grouped according to their number of floors (Table 1). This provides a first rough sorting of smaller and larger buildings. One floor with furnished attic counts as one floor.

**Step 2:** In the next step each group branches further when they are divided in detached, semi-detached and terraced buildings (Table 2). A majority of the buildings turn out to be detached or semi-detached.

**Step 3:** An analysis of the volume of these categories was performed in order to make delimitations (Table 3).

**Delimitation and weighting -** In order to eliminate diverging buildings, either too big or too small, the buildings with volumes ending up outside the standard deviation of each category were excluded. This meant that 128 buildings (13 %) and 30 % of the total building volume was excluded; in other words few but very large buildings. Figure 4 shows the weighted proportions before and after delimitation.

**Results -** The outcome of the categorisation was six categories, representing 87 % of the buildings and 70 % of the total building volume, see table 4. The 128 excluded buildings represent 30 % of the total building volume. Almost 90 % of the excluded building volume are not used as dwellings; there are other functions such as public and commercial facilities. It is a group of buildings that is of great interest for energy saving measures but should be studied individually since they are not typical buildings neither in use nor geometry. The categorisation is based on existing information that has been restructured in order to make it possible to analyse with new perspectives. There is thus no new knowledge that is generated, which is important to emphasise. To implement the results there is a need to further study the typical buildings.

**Selection of representative buildings -** In order to better reflect the building stock of the case study and to allow a more balanced risk analysis it was decided that each archetype building would have two subcategories; wood and stone constructions. This means that two geometrically similar buildings vary in dimensions and u-values. All six typical buildings are each divided in two groups depending on the construction material; A means they are constructed in wood and B that they are constructed in stone. The majority of the buildings

TYPICAL BUILDING 2: is a semi-detached house with one floor and a furnished attic.

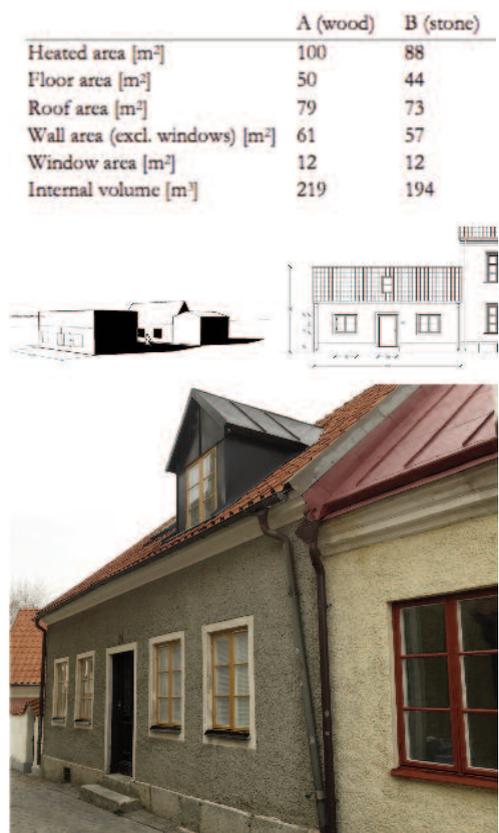


Fig. 6 - Typical building 2; its geometries and the medium sample building.

TYPICAL BUILDING 3: is terraced and has one floor and a furnished attic.

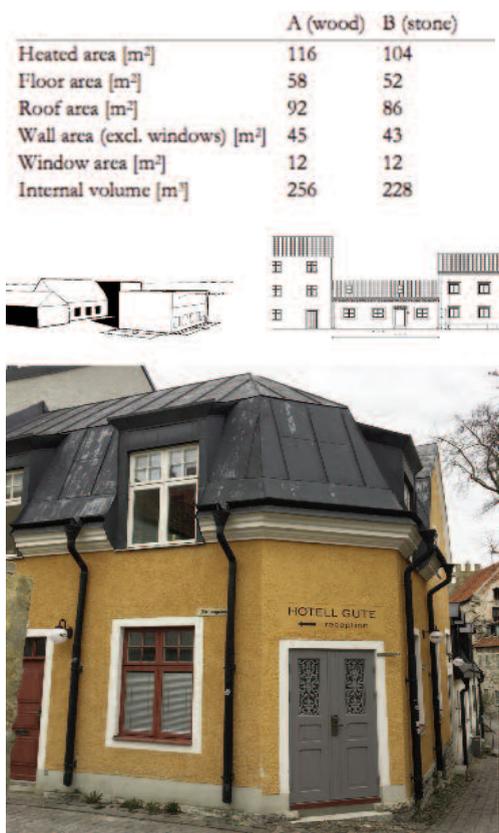


Fig. 7 - Typical building 3; its geometries and the medium sample building.

in Visby are constructed in wood. The window area is assumed to be 20 % of the total external wall area on the long sides of the house and 10 % on the short sides. This was based on an in situ inventory performed. This ratio is used for all typical buildings. The wall area listed below in the descriptions of the typical buildings is the internal wall area.

Buildings no 1-3 are one storey buildings with furnished attics. They normally have an unheated basement under part of the house. The most common construction type is post-and-plank with plastered facades. These buildings were generally built around 1800. The stone buildings were built a few decades later than the wood buildings. Typically they have pitched roofs with clay tiles. They are generally used as one-family dwellings. Building 1 is detached, 2 semi-detached and 3 terraced. Buildings no 4-6 are two storey buildings with furnished attics and unheated basements. The wood buildings have plastered facades. The year of construction is typically around the middle of the 19th century. There are both dwellings and commercial uses in these buildings. Building type 4 is detached, 5 is semi-detached and 6 is terraced.

**Conclusions and Future Research -** In this article, the efforts to develop, validate and implement a new cross-disciplinary categorisation method for historic buildings have been summarised. The aim of the work was to develop a method that can provide support when planning energy saving strategies, taking into account other aspects such as life cycle cost and cultural heritage values in the decision making. The application of the reference data collected in the Visby inventory marked the criteria and parameters that are essential when categorising a building stock. In order to increase the level of detail in the inventory the data could be coordinated with GIS. This would make the data more manageable, the method more flexible and the results clearer.

The case study showed that it is possible to break down a large building stock into a few representative categories. It turned out that using the geometry of the building envelope was a practical way of defining main categories. Other aspects and values could consequently be added as sub-categories. The method and the level of detail of the result are dependent on the size of the building stock. When working with historic urban districts the data inventory and categorisation can be more hands on and adapted to local conditions. On a national level the method would need to be based on more automated statistical methods. By applying the method on the building stock in Visby six categories and twelve typical buildings could be identified for further studies on building envelope, volume, historic character etc.

The results from the modelling of the typical buildings can, by extrapolation, be used to simulate the energy saving potential of the whole building stock. The result will not be exact but it can be used to identify the building categories where the energy saving potential is higher and where it is lower. By applying different restrictions and targets on different building categories and on the building stock as a whole more parameters can be taken into account, such as cultural values, national energy saving targets and constructional limitations. For example the modelling on the typical buildings can show that one building type has

TYPICAL BUILDING 4: is a detached house with two storeys and a furnished attic.

	A (wood)	B (stone)
Heated area [m <sup>2</sup> ]	398	370
Floor area [m <sup>2</sup> ]	133	123
Roof area [m <sup>2</sup> ]	170	161
Wall area (excl. windows) [m <sup>2</sup> ]	245	235
Window area [m <sup>2</sup> ]	44	44
Internal volume [m <sup>3</sup> ]	941	874

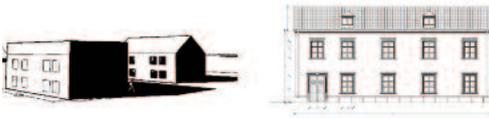


Fig. 8 - Typical building 4; its geometries and the medium sample building.

TYPICAL BUILDING 5: is a detached house with two floors and a furnished attic.

	A (wood)	B (stone)
Heated area [m <sup>2</sup> ]	372	345
Floor area [m <sup>2</sup> ]	124	115
Roof area [m <sup>2</sup> ]	159	150
Wall area (excl. windows) [m <sup>2</sup> ]	180	173
Window area [m <sup>2</sup> ]	37	37
Internal volume [m <sup>3</sup> ]	881	817



Fig. 9 - Typical building 5; its geometries and the medium sample building.

TYPICAL BUILDING 6: is a detached house with two floors and a furnished attic.

	A (wood)	B (stone)
Heated area [m <sup>2</sup> ]	372	345
Floor area [m <sup>2</sup> ]	124	115
Roof area [m <sup>2</sup> ]	159	150
Wall area (excl. windows) [m <sup>2</sup> ]	180	173
Window area [m <sup>2</sup> ]	37	37
Internal volume [m <sup>3</sup> ]	881	817

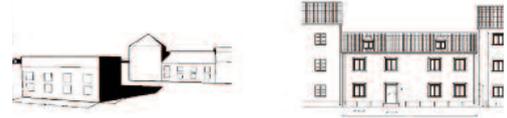


Fig. 10 - Typical building 6; its geometries and the medium sample building.

a 20% potential for energy saving without risking the loss of its cultural values and another building type may have less energy saving potential due to its construction. This result can be used for policy development and energy management planning. The building stock in Visby is rather homogenous in terms of restrictions for the preservation of cultural values. In future studies, the method will be applied on other building stocks where the buildings and the restrictions are more diversified to further explore the applicability.

#### REFERENCES

- Ballarini, I., Corgnati, S.P., Corrado, V. et Talà, N. (2011), *Improving energy modeling of large building stock through the development of archetype buildings*, in Proceedings of Building Simulation 2011 "Driving better design through simulation", Sydney (Australia), 14-16 novembre 2011.
- Ballarini, I., Corgnati, S.P. et Corrado, V. (2014), *Use*

*of reference buildings to assess the energy saving potentials of the residential building stock: The experience of TABULA project*, Energy Policy Volume 68, maggio 2014, pp. 273-284.

Berg, F., Genova, E. et Broström, T. (2016), *Interdisciplinary building categorization - A method to support sustainable energy efficiency strategies in historic districts*, in CESB16 - Central Europe towards Sustainable Building 2016 (pp.41-48).

Berg, F. (2015), *Categorising a historic building stock - an interdisciplinary approach*, Tesi di Master, Uppsala Universitet.

Broström, T., Eriksson, P., Liu, L., Rohdin, P., Ståhl, F. et Moshfegh, B. (2014), *A Method to Assess the Potential for and Consequences of Energy Retrofits in Swedish Historic Buildings* in "The Historic Environment", Vol. 5 N. 2, luglio 2014, 150-66.

EFFESUS Consortium, Deliverable D1.1: European building and urban stock data collection, A01 - 26.06.2013.

EFFESUS Consortium, Deliverable D1.4: Database of the structured categorisation method for historic European building stock, A06 - 26.09.2013.

Ståhl, F., Lundh, M. et Ylmén, P. (2011), *Hållbar och varsam renovering och energieffektivisering av kulturhistoriskt värdefulla byggnader - en förstudie*, SP

Rapport 2011:48.

Ståhl, F., Sikander, E. et Gustavsson, T. (2014), *Energibesparingspotential och byggnadsfysikaliska konsekvenser vid energieffektivisering i svenska byggnader byggda före 1945*, SP Rapport 2014:56.

Mata, É., Kalagasidis, A. S. et Johnsson, F. (2013), *A modelling strategy for energy, carbon, and cost assessments of building stocks*, in "Energy and Buildings", Volume 56, gennaio 2013, pp. 100-108.

Energi i bebyggelsen - tekniska egenskaper och beräkningar - resultat från projektet BETSI, Swedish National Board of Housing, Building and Planning, 2010, <http://www.boverket.se/Global/Webbokhandel/Dokument/2011/BETSI-Energi-i-bebyggelsen.pdf> [Consultato il 31 gennaio 2014].

\* TOR BROSTRÖM insegna alla Uppsala University, Department of Art History.

\*\* ANNA DONARELLI insegna alla Uppsala University, Department of Art History.

\*\*\* FREDRIK BERG afferisce al Norwegian Institute for Cultural Heritage Research.