



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO
Via Giovanni Paolo II
84084 Fisciano (SA)
Tel. 089 96 4029 Fax 96 4343
www.unisa.it



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI SALERNO
Dipartimento di
Ingegneria Civile



CORSO DI
DOTTORATO DI RICERCA IN
Ingegneria Civile, Edile-Architettura,
Ambientale e del Territorio

Tesi di Dottorato

LA SOSTENIBILITA' DI SISTEMI COMPLESSI: METODI E INDICATORI APPLICATI A UN CAMPUS UNIVERSITARIO

dott. ing. Simona Iannizzaro



Relatore
prof. ing. Vincenzo BELGIORNO

XV Ciclo Nuova Serie - Coordinatore: prof. ing. **Ciro FAELLA**



**DOTTORATO DI RICERCA IN INGEGNERIA CIVILE, EDILE-
ARCHITETTURA,
AMBIENTALE E DEL TERRITORIO**
XV Ciclo - Nuova Serie (2014-2016)
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

**LA SOSTENIBILITÀ DI SISTEMI
COMPLESSI: METODI E INDICATORI
APPLICATI AD UN CAMPUS
UNIVERSITARIO**

DOTT. ING. SIMONA IANNIZZARO

Relatore:
PROF. ING. VINCENZO BELGIORNO

Coordinatore
PROF. ING. CIRO FAELLA

In copertina: il campus universitario di Fisciano

LA SOSTENIBILITÀ DI SISTEMI COMPLESSI: METODI E INDICATORI
APPLICATI AD UN CAMPUS UNIVERSITARIO

Copyright © 2005 Università degli Studi di Salerno – via Ponte don Melillo, 1 – 84084
Fisciano (SA), Italy – web: www.unisa.it

Proprietà letteraria, tutti i diritti riservati. La struttura ed il contenuto del presente volume non possono essere riprodotti, neppure parzialmente, salvo espressa autorizzazione. Non ne è altresì consentita la memorizzazione su qualsiasi supporto (magnetico, magnetico-ottico, ottico, cartaceo, etc.).

Benché l'autore abbia curato con la massima attenzione la preparazione del presente volume, Egli declina ogni responsabilità per possibili errori ed omissioni, nonché per eventuali danni dall'uso delle informazioni ivi contenute.

A mio padre

“Non occorre sperare per intraprendere, né riuscire per perseverare”

GUGLIELMO D'ORANGE, **Apologia**

INDICE GENERALE

INDICE GENERALE.....	i
INDICE DELLE FIGURE.....	iii
INDICE DELLE TABELLE.....	vii
ABSTRACT.....	xi
RINGRAZIAMENTI.....	xiii
ABOUT THE AUTHOR.....	xiv
1 INTRODUZIONE.....	1
1.1 OBIETTIVI.....	4
1.2 CONTENUTI.....	4
2 STATO DELL'ARTE.....	7
2.1 SVILUPPO SOSTENIBILE E SOSTENIBILITA'.....	9
2.2 SISTEMI COMPLESSI: COMPONENTI E INTERAZIONI.	11
2.3 INDICATORI AMBIENTALI DI RIFERIMENTO.....	14
3 INDICATORI AMBIENTALI NELLE STRUTTURE COMPLESSE.....	21
3.1 STATO DELL'ARTE.....	22
3.2 INDICATORI SPECIFICI DI SETTORE.....	26
3.2.1 Rifiuti solidi.....	29
3.2.2 Risorsa idrica.....	29
3.2.3 Energia.....	30
4 IL CAMPUS UNIVERSITARIO DI FISCIANO COME ESEMPIO DI STRUTTURA COMPLESSA.....	33
4.1 SET UP SPERIMENTALE: DEFINIZIONE E VALUTAZIONE DELLE VARIABILI.....	33
4.1.1 Rifiuti solidi.....	36
4.1.1.1 La produzione e la gestione dei rifiuti solidi: carta, plastica, alluminio.....	41
4.1.1.2 I rifiuti organici: caratterizzazione ed ipotesi di gestione.	47
4.1.1.3 Criticità ed ipotesi di miglioramento delle prestazioni.....	58
4.1.2 Risorsa idrica.....	60

4.1.2.1	Analisi dei consumi idrici.....	60
4.1.2.2	Criticità ed ipotesi di miglioramento delle prestazioni	72
4.1.3	Energia.....	74
4.1.3.1	Criticità ed ipotesi di miglioramento delle prestazioni	87
4.1.4	Atmosfera.....	89
4.1.4.1	Qualità dell'aria ambiente	91
4.1.4.2	Emissioni da traffico veicolare.....	94
4.1.4.3	Emissioni da produzione energetica	106
4.1.4.4	Stima della dispersione in atmosfera e ricaduta al suolo	111
4.1.4.5	Criticità ed ipotesi di miglioramento delle prestazioni	121
5	GESTIONE SOSTENIBILE DI UNA STRUTTURA COMPLESSA.....	125
5.1	METODOLOGIA DI VALUTAZIONE DELLE PRESTAZIONI AMBIENTALI.....	126
6	CONCLUSIONI	151
	BIBLIOGRAFIA	157

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.1 I tre aspetti dello sviluppo sostenibile (autore sconosciuto)	2
Figura 2.1 Rappresentazione concettuale delle componenti principali di un sistema complesso (Giannino, 2008)	13
Figura 2.2 Relazioni tra scale spaziali e temporali, livelli di aggregazione e numero di variabili nei sistemi complessi (Giannino, 2008)	13
Figura 2.3 L’Impronta Ecologica (Global Footprint Network)	19
Figura 3.1 Rappresentazione schematica del modello PSR (ISPRA, 2016)	24
Figura 3.2 Rappresentazione schematica del modello DPSIR (AmbienteInforma, SNPA, 2016)	25
Figura 3.3 Modello di università sostenibile con l’integrazione dei tre profili (Lukman et al., 2009).....	27
Figura 4.1 Il campus universitario di Fisciano	34
Figura 4.2 Principi, obiettivi ed attività per la realizzazione di un <i>green campus</i>	35
Figura 4.3 Rappresentazione della gerarchia dei rifiuti prevista dalla Direttiva 2008/98/CE.....	37
Figura 4.4 Totale rifiuti raccolti, anni 2012-2015 (Fondazione UniSa, 2016).....	38
Figura 4.5 Frazione residua indifferenziata dei rifiuti raccolti, anni 2012-2015	39
Figura 4.6 Andamento della popolazione studentesca negli anni accademici da 2011-2012 a 2015-2016 (Ministero dell’Istruzione, dell’Università e della Ricerca - Ufficio di Statistica).....	39
Figura 4.7 Ripartizione percentuale del quantitativo di rifiuti urbani avviato a riciclaggio, anno 2015 (Fonte: stime ISPRA)	41
Figura 4.8 Ripartizione percentuale del quantitativo di rifiuti urbani avviato a riciclaggio nel campus di Fisciano, anno 2015	42
Figura 4.9 Ripartizione percentuale dei rifiuti urbani prodotti nel campus di Fisciano, anni 2011-2015	42
Figura 4.10 Ripartizione percentuale dei rifiuti urbani prodotti nel campus della UAM-A e a Città del Messico (Espinosa et al., 2008).....	43
Figura 4.11 Raccolta differenziata di carta e cartone, anni 2012-2015	44

Figura 4.12 Raccolta differenziata di plastica e alluminio, anni 2012-2015	44
Figura 4.13 Raccolta differenziata di frazione organica, anni 2012-2015	45
Figura 4.14 Ripartizione percentuale del quantitativo di rifiuti urbani avviato a riciclaggio nel campus di Fisciano, anni 2011-2015.....	46
Figura 4.15 Andamento mensile del numero di pasti serviti dalla Mensa universitaria in un anno	48
Figura 4.16 Andamento giornaliero del numero di pasti serviti dalla Mensa universitaria in un mese	49
Figura 4.17 Ripartizione del totale dei rifiuti prodotti per tipologia di flusso di scarto alimentare.....	50
Figura 4.18 Produzione di rifiuti organici per pasto servito in varie mense (ENEA, 2006).....	51
Figura 4.19 Diagramma di flusso dell'analisi effettuata sulla FORSU.....	52
Figura 4.20 Composizione merceologica percentuale del campione di rifiuto organico analizzato.....	55
Figura 4.21 Consumi idrici del campus di Fisciano, anni 2007-2015	60
Figura 4.22 Consumi idrici mensili del campus di Fisciano nell'anno 2015	61
Figura 4.23 Ripartizione percentuale degli utenti del campus di Fisciano tra studenti e personale.....	62
Figura 4.24 Consumi idrici del campus rispetto al numero d'iscritti, anni 2007-2014	63
Figura 4.25 Ripartizione percentuale dei consumi idrici tra strutture.....	64
Figura 4.26 Ripartizione percentuale dei consumi idrici tra gli impianti sportivi	65
Figura 4.27 Consumi idrici della piscina del campus, distinti tra vasca e servizi.	66
Figura 4.28 Consumi idrici delle residenze universitarie	67
Figura 4.29 Ripartizione percentuale dei consumi idrici tra i punti ristoro del campus.....	67
Figura 4.30 Ripartizione percentuale dei consumi idrici tra le utenze esterne in convenzione	68
Figura 4.31 Consumi idrici delle utenze esterne	68
Figura 4.32 Consumi idrici della Biblioteca tecnico-scientifica	69
Figura 4.33 Consumi idrici da pozzi nel periodo 2012-2015	70
Figura 4.34 Consumi idrici da rete di distribuzione e da pozzi nel periodo 2012-2015	70

Figura 4.35 Costo al m ³ dell'acqua da rete di distribuzione nel periodo 2007-2015	71
Figura 4.36 Ripartizione percentuale media della copertura del fabbisogno energetico del campus di Fisciano.....	74
Figura 4.37 Energia elettrica acquistata dalla rete elettrica nazionale dal campus di Fisciano, anni 2010-2014.....	75
Figura 4.38 Energia elettrica acquistata dalla rete elettrica nazionale dal campus di Fisciano, anni 2010-2014.....	75
Figura 4.39 Inseguitori solari biassiali nel campus di Fisciano	77
Figura 4.40 Ripartizione percentuale dei consumi elettrici tra le diverse strutture raggruppate per tipologia di attività.....	79
Figura 4.41 Consumi degli edifici aggregati per funzioni per m ² di superficie.....	80
Figura 4.42 Peso percentuale della potenza assorbita da alcuni edifici del campus	80
Figura 4.43 Peso percentuale della potenza assorbita da alcuni edifici del campus,	81
Figura 4.44 Consumo energetico specifico per studente tra le università del Canada (Natural Resources Canada's Office of Energy Efficiency, 2007).....	82
Figura 4.45 Consumo energetico per usi finali nella Città Universitaria (Escobedo et al., 2013)	83
Figura 4.46 Contributo percentuale del settore dei trasporti stradali alle emissioni nazionali nel 2008 (ISPRA, 2010).....	95
Figura 4.47 Valutazione schematica delle pressioni generate sull'aria ambiente dalle emissioni da traffico veicolare.....	96
Figura 4.48 Andamento giornaliero delle auto in ingresso ed in uscita...97	
Figura 4.49 Ripartizione degli studenti nel campus di Fisciano per provincia di provenienza (MIUR).....	100
Figura 4.50 Numero di autovetture nel campus di Fisciano distinte per alimentazione	102
Figura 4.51 Autobus a gasolio distinti per classe Euro.....	103
Figura 4.52 Ingressi e viabilità del campus di Fisciano.....	104
Figura 4.53 Classificazione dei modelli matematici per lo studio degli inquinanti (Finzi et al., 2001)	112
Figura 4.54 Grafico della rosa dei venti per il dominio richiesto (MAIND, 2016).....	115
Figura 4.55 Dominio di calcolo e sorgenti di emissione nel campus di Fisciano	116

Figura 4.56	Isolinee di concentrazione degli ossidi di azoto.....	118
Figura 4.57	Postazioni di monitoraggio	119
Figura 4.58	Valori di CO _{2eq} prodotto dal traffico pendolare per l'Università per i vari Comuni attraversati	124
Figura 5.1	Ciclo del PDCA o di Deming (ISO 14001 Certification).....	125
Figura 5.2	Metodologia di valutazione delle performance ambientali di una struttura complessa.....	127

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 4.1 Produzione specifica di rifiuti per utenze non domestiche (ANPA, 2002)	40
Tabella 4.2 Produzione specifica di rifiuti per utenze non domestiche (ANPA, 2002)	45
Tabella 4.3 Classi di qualità per il materiale compostabile (Bollettino Ufficiale della Regione Veneto, 2005)	54
Tabella 4.4 Caratteristiche della frazione organica proveniente da strutture di ristorazione collettiva	56
Tabella 4.5 Confronto tra intensità energetiche per unità di superficie di strutture universitarie in diversi studi di letteratura	84
Tabella 4.6 Numero di auto in ingresso ed in uscita divise tra studenti e altri	98
Tabella 4.7 Ripartizione percentuale delle auto in ingresso ed in uscita tra studenti e altri	98
Tabella 4.8 Ripartizione modale al variare del sistema territoriale	99
Tabella 4.9 Emissioni giornaliere ed annue di inquinanti da traffico veicolare nel campus	105
Tabella 4.10 Principali indicatori di attività e sorgenti nella classificazione NFR (EEA 2016)	108
Tabella 4.11 Inquinanti potenzialmente emessi in impianti di piccola combustione per tipologia di attività (EEA 2016)	109
Tabella 4.12 Fattori di emissione per sorgenti di categoria NFR 1.A.4.a/c, 1.A.4.a alimentate con combustibili gassosi, Tier 1 (EEA 2016)	110
Tabella 4.13 Emissioni annue da combustione stazionaria per produzione energetica nel campus di Fisciano	110
Tabella 4.14 Parametri atmosferici monitorati	119
Tabella 4.15 Valori emissivi annui da sorgenti di combustione stazionaria per produzione energetica	121
Tabella 4.16 Valori emissivi annui da traffico veicolare	122
Tabella 4.17 Valori emissivi giornalieri e annui da traffico veicolare, distinti tra auto e autobus	122

Tabella 5.1 Indicatori specializzati per il campus di Fisciano, distinti per tematiche.....	135
---	-----

SOMMARIO

L'attività di ricerca svolta si è incentrata sulla formulazione di una proposta metodologica per la valutazione delle prestazioni ambientali di una struttura complessa, mirata a mitigare le pressioni e gli impatti prodotti dalle molteplici attività, allo scopo di conseguire un progressivo miglioramento in termini di sostenibilità globale.

Dalla gestione delle acque a quella dell'energia e dell'accessibilità, l'obiettivo è stato riuscire ad integrare tutto in un modello *place-based*, sito-specifico, incentrato sulla realtà locale ed orientato all'utilizzatore finale, che sia di supporto alla minimizzazione dell'impronta di sostenibilità.

Un inquadramento introduttivo del tema centrale della ricerca, il concetto di sostenibilità, non ancora definito in maniera esatta e condivisa nonostante la crescente popolarità, ha condotto a quello "sviluppo sostenibile", ufficialmente riconosciuto, dal Rapporto Brundtland in poi, come la strategia da perseguire per garantire anche alle generazioni future la possibilità di soddisfacimento dei propri bisogni, arginando la tendenza ad un consumo di risorse eccedente la capacità di rigenerazione o di produzione da fonti alternative.

Sono stati, perciò, ricostruiti i passaggi cruciali attraverso cui, dai primi movimenti ecologisti negli anni '60 ai summit e alle conferenze delle principali Organizzazioni internazionali, la sostenibilità è divenuta un tema centrale dell'attività di pianificazione e programmazione dello sviluppo a livello globale.

Parallelamente, un inquadramento generale sviluppato attraverso l'esame dello stato dell'arte in materia, ha evidenziato la multidisciplinarietà dello sviluppo sostenibile, fondato sull'equilibrio delle dimensioni ambientale, economica e sociale.

Di seguito, sono stati introdotti strumenti e metodologie proposti per misurare, rappresentare e monitorare la sostenibilità: gli indicatori, atti a fornire una rappresentazione sintetica del fenomeno indagato, proposti con inquadramenti e in tipologie differenti, per garantire la possibilità di finalizzare al target di riferimento analisi e stime effettuate.

L'analisi di letteratura, incentrata principalmente sugli indicatori ambientali, si è soffermata sugli strumenti di valutazione da applicare nel contesto di riferimento, i sistemi complessi, partendo dalle proposte metodologiche di carattere generale a quelle dedicate a settori specifici.

La definizione di un set up sperimentale per il campus di Fisciano, assunto a modello di struttura complessa, ha comportato l'individuazione di una *baseline*, in termini di sostenibilità ambientale, attraverso l'analisi delle principali attività svolte e delle pressioni indotte sull'ambiente, in riferimento ai comparti più significativi: rifiuti, acqua, energia, atmosfera.

Una fase iniziale di raccolta ed elaborazione dati per ciascuno dei settori esaminati ha assicurato una conoscenza sufficientemente approfondita dello status quo e delle variabili ambientali caratterizzanti, mettendo in luce elementi chiave, criticità e margini di miglioramento, così da selezionare gli indicatori ambientali più adatti da utilizzare nella metodologia di valutazione e testarne l'efficacia.

La ricerca condotta ha evidenziato come il contesto specifico di analisi determini una notevole disomogeneità di risultati, per cui si è proposta una metodologia, incentrata sull'utilizzo di un set di indicatori appositamente costituito, mirata principalmente ad una valutazione reiterata delle prestazioni ambientali al fine di perseguirne un miglioramento, piuttosto che ad obiettivi di ranking.

In definitiva, quanto indirizzato non ha condotto a formulare una semplice classificazione di strutture complesse in termini di sostenibilità ambientale, bensì a proporre un metodo di confronto sequenziale, favorendo un approccio teso all'effettivo miglioramento delle performance di sostenibilità ambientale.

ABSTRACT

The present research aims at defining a methodological proposal to evaluate the environmental performances of a complex structure, in order to reduce the pressures and the environmental impacts of the various activities carried on, thus improving the overall sustainability of the system.

Considering all the variables of a complex system, including water and energy management as well as the system accessibility, the main objective is a place-based model, focused on the local context and addressed to the end user, pursuing the minimization of the sustainability footprint.

The definition of *sustainability*, the main research topic, is not nearly as simple as it might seem: an introductory framework of the concept of sustainability brings back to the “sustainable development” defined in the Bruntland report as "the development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs”.

Currently, this appears as the only way to reduce the natural resource consumption that tends to exceed what the planet’s ecosystems can renew.

The present work reconstructed the history of the *sustainability* concept, which has become an issue of global concern in planning and scheduling the objectives for a sustainable development, since the first ecologists movements in the 1960s to summit and conferences of the main international organizations.

Simultaneously, on the basis of the scientific literature review, the framework of the same concept was defined. Such approach pointed out the multidisciplinary aspect of sustainability, which lays on the balance of three factors, known as the “three pillars of sustainability”: environmental, economic and social dimension.

Several tools and methodologies have been proposed from the researchers, in order to meet the increasing need for sustainability quantification: different indicators and indices have been suggested, to summarize information and characteristics of the analyzed topic, in order to provide ratings and assessments focused on the target range.

The analysis of state of the art about environmental indicators focused on the evaluation tools useful for a reference context, namely a real system, resulting from the aggregation of diverse elementary units.

The experimental set up of the main University campus of Salerno, chosen as an example of complex system, raised the need for a baseline, in terms of environmental sustainability. This was given through the evaluation of the various campus operations and their negative impacts, with particular reference to solid waste management, water consumption, energy efficiency, transportation and pollutant emission.

For each field, raw data were collected and processed to gather information and knowledge of the principal aspects defining its environmental characteristics. This approach highlighted strengths, limits as well as improvement to be achieved and, in turn, addressed the selection of the most suitable indicators to be used within the proposed methodology.

The research activity showed that the particular analysis context can produce very heterogeneous results, so that a methodology focused on a specific set of indicators has been proposed, in order to address a reiterated evaluation of the environmental performances rather than pursuing ranking objectives.

Therefore, the present work did not lead to a simple classification of complex systems in terms of environmental sustainability, but to the proposal of a sequential comparative method, promoting an approach aiming at the sustainable improvement of the environmental performances.

RINGRAZIAMENTI

Desidero ringraziare innanzitutto il professor Belgiorno, che mi ha dato l'opportunità di vivere un'esperienza di arricchimento scientifico, professionale ed umano, rappresentando la guida ideale in un percorso di crescita e confronto dialettico, ricco di stimoli, cui forse hanno giovato più le nostre discussioni che un'opinione coincidente ed allineata.

Devo molto all'opportunità che questa Amministrazione, nella persona del Magnifico Rettore, prof. Aurelio Tommasetti, mi ha concesso, consentendomi di collaborare con il gruppo di ricerca di Ingegneria Sanitaria Ambientale, svolgendo parte della mia attività presso il Laboratorio.

Un ringraziamento doveroso, pertanto, spetta al gruppo del SEED, alla sua componente femminile, le mie colleghe, splendida testimonianza dei tempi che cambiano, al professore Naddeo, all'ingegnere Zarra e a Paolo Napodano.

Un grazie sentito va ai colleghi dell'Ufficio Tecnico, in particolare agli ingegneri Campagna, Carfagna e Sorrentino ed al geometra Tarantino, per la professionalità con cui ciascuno di loro ha saputo fornire non solo i dati necessari allo svolgimento di questa attività, ma anche un suggerimento prezioso.

Nondimeno, ringrazio i professori De Luca e Cantarella del gruppo di ricerca di Trasporti e la professoressa Papa di Costruzioni Idrauliche per la disponibilità mostratami, mettendo a disposizione competenza scientifica e supporto, a conferma del valore aggiunto rappresentato dalla sinergia delle forze e dei contributi intellettuali.

Infine, per la mia ben celata riservatezza, rivolgo un pensiero speciale ad Alessandra, amica sincera e donna di scienza, capace di insegnare più di quel che immagina, a Luca, Marianna e alla mia famiglia, attraverso parole prese in prestito

“Non ho bisogno di parlare né di mentire privilegi;

bene mi conoscono quelli che mi attorniano,

bene sanno le mie ansie e le mie debolezze”.

(BORGES, 1923)

ABOUT THE AUTHOR

Simona Iannizzaro, laureata in Ingegneria Civile presso l'Università degli Studi di Salerno nel 2007, è un funzionario dell'Ufficio tecnico di Ateneo dal 2008.

Si è occupata principalmente di progettazione di opere civili, sviluppo e gestione di piani e programmi di manutenzione e di Sistemi di Qualità. Nel 2014 è stata ammessa al corso di Dottorato di Ricerca in "Ingegneria civile, edile - architettura, ambientale e del territorio" con un'attività di ricerca incentrata sulla sostenibilità ambientale di strutture complesse, che ha condotto utilizzando il campus principale dell'Università di Salerno come "laboratorio vivente".

Simona Iannizzaro is a technical official at the University of Salerno.

Graduated in Civil Engineering in 2007, she has been working at the Technical Office of the University since 2008. Her expertise mainly focuses on Design, Maintenance and Quality management.

In 2014 she was admitted to the PhD course of Civil Engineering, Architecture, Environmental and Land Protection at University of Salerno. She carried out her research activity, in the field of environmental sustainability of complex systems, using the main campus of the University of Salerno as a "living laboratory".

1 INTRODUZIONE

Negli ultimi decenni, la crescente sensibilità ai problemi ambientali e la conseguente attenzione alla tutela delle risorse naturali e dell'ecosistema hanno portato a mirare a modelli di sviluppo economico-sociale più equilibrati, contemperando tematiche di sostenibilità nei più svariati settori.

Non esiste una definizione universalmente condivisa o un significato esatto di "sostenibilità", ma ci sono differenti opinioni su cosa essa rappresenti o come sia possibile conseguirla.

Sviluppatosi inizialmente negli anni '60 del secolo scorso, con riferimento alle prime associazioni ecologiste, tale concetto è stato introdotto nel 1972 nel corso della Conferenza ONU sull'ambiente di Stoccolma, anche se fu definito con chiarezza soltanto nel 1987, con la pubblicazione del cosiddetto rapporto Brundtland, dal titolo "Our common future", risultato dei lavori della Commissione Mondiale su Ambiente e sviluppo.

In questo documento si definisce sostenibile lo sviluppo *"che risponde ai bisogni del presente senza compromettere la capacità delle generazioni future di soddisfare i loro"*.

Il concetto di "sviluppo sostenibile" va opportunamente collocato nel contesto cui appartiene, in cui si legge che esso *"comporta limiti, ma non assoluti, bensì imposti dall'attuale stato della tecnologia e dell'organizzazione sociale alle risorse economiche e dalla capacità della biosfera di assorbire gli effetti delle attività umane. La tecnologia e l'organizzazione sociale possono essere però gestite e migliorate allo scopo di inaugurare una nuova era di crescita economica"*.

In questa idea di sviluppo sostenibile è implicita la necessità di assicurare il rispetto dell'ambiente e la tutela delle risorse naturali e della biodiversità del pianeta, pur in una visione sostanzialmente antropocentrica, che pone al centro della questione non l'ambiente, ma la sopravvivenza ed il benessere delle generazioni umane.

In tal senso, viene proposto di identificare una strategia ambientale di lungo termine, da perseguire in un'ottica di cooperazione globale tra le nazioni sviluppate e quelle in via di sviluppo e di incentivare la creazione

di obiettivi di mutuo supporto, che tengano conto delle interrelazioni tra persone, risorse, ambiente e sviluppo.

“Lo sviluppo sostenibile, lungi dall'essere una definitiva condizione di armonia, è piuttosto processo di cambiamento tale che lo sfruttamento delle risorse, la direzione degli investimenti, l'orientamento dello sviluppo tecnologico e i cambiamenti istituzionali siano resi coerenti con i bisogni futuri oltre che con gli attuali”(Bruntland - 1987).

Uno degli aspetti essenziali è la necessità di un approccio multidisciplinare, che contempra istanze ambientali, economiche e sociali, esaminando nei processi decisionali gli effetti delle iniziative intraprese su tutte e tre le componenti in maniera strategica e coordinata.

Sulla base di un approccio di questo tipo, noto come *triple bottom line*, proposto dalla World Commission on Environment and Development (WCED), si può considerare sostenibile un processo di sviluppo se esso determina una condizione di equilibrio in tutti gli ambiti, secondo la cosiddetta regola dell'equilibrio delle *tre “E”*: ecologia, equità, economia.

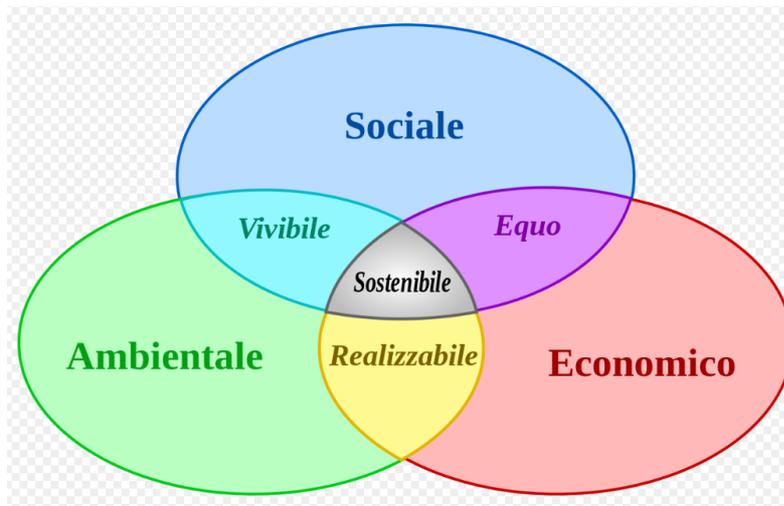


Figura 1.1 I tre aspetti dello sviluppo sostenibile (autore sconosciuto)

In molti documenti il significato di sviluppo sostenibile e quello di sostenibilità non sono identici, sebbene il senso sia di base lo stesso. Mentre la sostenibilità individua una proprietà di un sistema, riferita come qualità dello stesso, la chiave del concetto di sviluppo sostenibile è nella già citata definizione del rapporto Bruntland e nell'Articolo 1 della Dichiarazione di Rio (UNCED, 1992): “gli esseri umani sono al centro

dell'interesse per lo sviluppo sostenibile. Essi hanno diritto ad una vita sana e produttiva in armonia con la natura”.

Evidentemente, numerosi concetti e definizioni sono racchiusi in quello di sviluppo sostenibile: la sostenibilità ambientale, in particolare, può essere intesa come capacità di mantenere nel tempo qualità e riproducibilità delle risorse naturali, preservando la diversità biologica e tutelando gli ecosistemi. Essa comporta la minimizzazione degli impatti esercitati sull'ambiente e dei possibili conseguenti rischi per la salute umana.

La comunità internazionale ha gradualmente preso coscienza della necessità di impostare i propri *asset* di sviluppo sulla base di principi di sostenibilità, coniugando lo sviluppo economico e sociale con la protezione dell'ambiente.

E' comprensibile, pertanto, l'interesse di organizzazioni di ogni genere nel valutare le pressioni ambientali, economiche e sociali esercitate e nel formulare modelli mirati a misurare e monitorare la propria sostenibilità attraverso specifici strumenti, per riuscire ad orientare i processi decisionali con un approccio integrato.

Descrivere la sostenibilità in termini scientifici, rendendo questo concetto misurabile e, in tal modo, raffrontabile nel tempo o tra sistemi differenti, è, pertanto, un tema di grande attualità ed interesse, anche al fine di limitare l'abuso del termine, tendendo all'esattezza ed alla operatività.

L'attività di ricerca svolta è stata incentrata sulla formulazione di una metodologia basata su un set di indicatori selezionati per fornire un supporto decisionale nell'ambito di una gestione integrata, in chiave sostenibile, di una struttura complessa.

Dal momento che, al pari di ogni altra organizzazione, anche le istituzioni universitarie hanno cominciato ad occuparsi di conciliare la politica aziendale con l'esigenza di una maggiore attenzione all'ambiente ed all'utilizzo delle risorse, il lavoro svolto ha utilizzato come laboratorio vivente il campus universitario di Fisciano dell'Università degli studi di Salerno.

Esso è stato individuato come esempio di sistema complesso per le sue peculiari caratteristiche, che lo rendono, per dimensioni ed eterogeneità delle componenti, idoneo a testare la validità della proposta metodologica formulata.

L'aspetto su cui si è incentrata l'attività di ricerca, con riferimento ai suddetti tre “pilastri” della sostenibilità, è quello ambientale.

1.1 OBIETTIVI

Obiettivo della ricerca è la formulazione di una metodologia tesa al miglioramento delle prestazioni ambientali e ad un incremento della sostenibilità di una struttura complessa, attraverso la valutazione di un delle pressioni e degli impatti generati dalle numerose attività svolte.

Allo scopo, si propone un modello integrato per indirizzare coerentemente le varie dimensioni in chiave sostenibile, minimizzando la produzione di rifiuti e di emissioni, l'uso dell'energia e delle risorse, mitigando l'impatto ecologico delle varie attività e conseguendo, ove possibile, benefici economici.

I principi ispiratori, improntati alla fattibilità in termini economici e alla tutela dell'ambiente, si possono schematizzare, secondo una struttura gerarchica, in riduzione alla sorgente, riutilizzo e riciclo delle risorse.

Per la valutazione del sistema in esame, è stato individuato un set di indicatori che, con riferimento ai comparti ambientali maggiormente significativi, consente di attestare le pressioni esercitate sull'ambiente, individuando in maniera specifica le azioni correttive da porre in essere, nell'ambito di un processo ciclico teso ad un miglioramento continuo dell'efficienza ambientale.

1.2 CONTENUTI

L'attività di ricerca ha richiesto un preventivo inquadramento di indirizzo, riportato nel secondo capitolo, in cui sono state brevemente ripercorse le fasi storiche della progressiva diffusione ed evoluzione del concetto sostenibilità, per passare successivamente ad un'analisi approfondita dello stato dell'arte.

Punto di partenza è stato il concetto di sviluppo sostenibile, seguendo un percorso che, dall'origine del termine, ha condotto ad un inquadramento concettuale nel panorama scientifico e negli scenari recenti ed attuali, attraverso l'esame di linee guida, tappe sostanziali ed obiettivi, sviluppati ed aggiornati nel corso degli anni attraverso conferenze e summit indetti dalle principali Organizzazioni internazionali.

Per "misurare" il grado di sostenibilità delle politiche gestionali di un'organizzazione o di un processo, è necessario tenere sotto controllo le variabili che incidono sui sistemi: perciò sono stati introdotti i sistemi complessi, che rappresentano il contesto di riferimento della valutazione,

e gli indicatori, strumenti atti a monitorare lo stato del sistema in esame (nel caso specifico, il livello di sostenibilità), fornendo diverse possibilità di inquadramento e misura.

In seguito, sono stati descritti metodologie ed indicatori ambientali proposti nel panorama scientifico per i sistemi complessi, da quelli più generali a quelli afferenti ad ambiti di riferimento e di applicazione specifici, come una struttura universitaria.

Il campus universitario di Fisciano, assunto a modello di struttura complessa, ha richiesto la definizione di un apposito set up sperimentale, partendo dall'individuazione della *baseline*, in termini di sostenibilità ambientale, rispetto ai comparti più significativi: rifiuti, risorsa idrica ed energia, atmosfera.

Le principali attività svolte nel Campus, con riferimento all'utilizzo delle risorse o alla produzione di emissioni, sono state, quindi, caratterizzate attraverso le variabili ambientali più opportune, per riuscire a formulare una proposta metodologica efficace.

L'attività di campo è stata effettuata attraverso una fase preliminare di raccolta ed elaborazione dei dati disponibili per ciascuno dei settori, allo scopo di acquisire una conoscenza sufficientemente approfondita dello status quo, individuare elementi chiave, criticità e margini di miglioramento.

La proposta metodologica di valutazione delle prestazioni ambientali si fonda sugli indicatori relativi alle singole matrici esaminate ed è mirata all'individuazione degli elementi che esercitano una pressione sull'ambiente e dei fattori chiave in grado di ridurla.

Tale metodologia può costituire uno strumento di supporto alla definizione delle politiche ambientali da attuare, consentendo di individuare i punti deboli e le possibili strategie da attuare, operando in maniera ciclica, in direzione di un processo in continuo aggiornamento.

Le principali criticità riscontrate, i margini di miglioramento ed i possibili sviluppi futuri dell'attività di ricerca sono riepilogati in un'ottica complessiva nelle conclusioni.

2 STATO DELL'ARTE

Nel complesso scenario introdotto in precedenza, si collocano i contributi, gli studi e la nascita stessa del concetto di sostenibilità.

Come accennato, il termine trae origine dal concetto di “sviluppo sostenibile”, entrato nel linguaggio comune e divenuto nuovo paradigma dello sviluppo stesso dal “Vertice della Terra” (*the Earth Summit*), la prima Conferenza delle Nazioni Unite su Ambiente e Sviluppo (UNCED), tenutasi a Rio de Janeiro nel 1992.

I Paesi aderenti, riconosciuto che le problematiche ambientali necessitassero di essere affrontate in maniera universale e che le soluzioni dovessero coinvolgere tutti gli Stati, negoziarono e approvarono tre dichiarazioni di principi e firmarono due convenzioni globali.

Dopo la Conferenza, 178 governi di tutto il mondo, tra cui l'Italia, hanno adottato l'Agenda 21, un documento di intenti ed obiettivi programmatici su ambiente, economia e società, incentrato sulla promozione di uno sviluppo sostenibile, in grado di cogliere anticipatamente eventuali incompatibilità tra attività socio-economiche e politiche di protezione e salvaguardia dell'ambiente.

Questo programma globale sullo sviluppo sostenibile sintetizza le specifiche azioni e le strategie da realizzare su scala globale, nazionale e locale da parte dei paesi firmatari in ogni area in cui l'attività umana interferisce con l'ecosistema.

In particolare, nel capitolo dedicato alle "Iniziative delle amministrazioni locali di supporto all'Agenda 21", si riconosce un ruolo decisivo alle comunità locali nell'attuare politiche di sviluppo sostenibile, tenuto conto che oltre il 45% della popolazione mondiale vive in contesti urbani, percentuale destinata a crescere fino al 63% nel 2030.

Si suggerisce, inoltre, che *"ogni amministrazione locale dovrebbe dialogare con i cittadini, le organizzazioni locali e le imprese private e adottare una propria Agenda 21 locale. Attraverso la consultazione e la costruzione del consenso, le amministrazioni locali dovrebbero apprendere e acquisire, dalla comunità locale e dal settore industriale, le informazioni necessarie per formulare le migliori strategie"*.

L'Agenda 21 locale può, in tal modo, essere definita come un processo, condiviso da tutti gli attori presenti sul territorio, per sviluppare un piano di azione locale che guardi al 21° secolo.

Per sovrintendere all'applicazione degli accordi nacque la Commissione per lo Sviluppo Sostenibile delle Nazioni Unite (CSD), con il mandato di elaborare indirizzi politici per le attività future e promuovere il dialogo e la costituzione di partenariati tra governi e gruppi sociali.

Tuttavia, se il Vertice della Terra ha reso noto ai più il concetto di “sviluppo sostenibile”, la prima definizione completa dello stesso è usualmente ritenuta quella formulata dal primo ministro norvegese Gro Harlem Brundtland, presidente della Commissione Mondiale su Ambiente e Sviluppo (World Commission on Environment and Development, WCED, istituita nel 1983) all'interno del rapporto «Our common future» (1987).

Questo documento rappresenta ancora oggi una pietra miliare, avendo introdotto per la prima volta il concetto di “sviluppo sostenibile”, tracciandone le linee guida.

Ravvisato nel divario tra la povertà dei paesi meno sviluppati del sud del mondo e il sistema produttivo e di consumo delle grandi potenze industriali del nord un elemento di criticità rispetto alle problematiche ambientali, il Rapporto prevedeva l'adozione di strategie di sviluppo compatibili con la conservazione ambientale, attraverso un modello di sviluppo “sostenibile”, cioè in grado di consentire “alla generazione presente di soddisfare i propri bisogni senza compromettere la possibilità delle generazioni future di soddisfare i propri”.

“Lo sviluppo sostenibile, lungi dall'essere una definitiva condizione di armonia, è piuttosto processo di cambiamento tale che lo sfruttamento delle risorse, la direzione degli investimenti, l'orientamento dello sviluppo tecnologico e i cambiamenti istituzionali siano resi coerenti con i bisogni futuri oltre che con gli attuali?” (Brundtland 1987).

Da allora, ci sono state molte variazioni ed ampliamenti di questa definizione base.

2.1 SVILUPPO SOSTENIBILE E SOSTENIBILITA'

La definizione di sviluppo sostenibile fornita dalla Commissione Brundtland integra gli aspetti ambientali con componenti economiche e sociali a tutti i livelli (OECD 2004, Jorgensen et al. 2008).

La possibilità di assicurare la soddisfazione dei bisogni essenziali comporta, dunque, la realizzazione di uno sviluppo economico che abbia come finalità principale il rispetto dell'ambiente, ma che allo stesso tempo veda, da un lato, i paesi più ricchi adottare processi produttivi e stili di vita compatibili con la capacità della biosfera di assorbire gli effetti delle attività umane e dall'altro, i paesi in via di sviluppo crescere in termini demografici ed economici a ritmi compatibili con l'ecosistema.

Il concetto di sostenibilità, in questa accezione, è collegato alla compatibilità tra sviluppo delle attività economiche e salvaguardia dell'ambiente.

Ma è a partire dal 2002, con la Dichiarazione di Johannesburg sullo Sviluppo Sostenibile, che vengono identificate le tre componenti essenziali, i cosiddetti tre "pilastri" della sostenibilità: sviluppo sociale, sviluppo economico e tutela ambientale.

In sintesi, il concetto di sviluppo sostenibile si sostanzia in un principio etico e politico, che implica che le dinamiche economiche e sociali delle moderne economie siano compatibili con il miglioramento delle condizioni di vita e la capacità delle risorse naturali di riprodursi in maniera indefinita.

In quest'ottica, la sostenibilità è da intendersi non come uno stato o una visione immutabile, ma, piuttosto, come un processo continuo, che richiama la necessità di coniugare le tre dimensioni fondamentali e inscindibili dello sviluppo: economica, sociale ed ambientale.

- **Sostenibilità economica:** la capacità di un sistema economico di generare una crescita duratura degli indicatori economici, producendo reddito e lavoro per il sostentamento delle popolazioni e garantendo un uso razionale delle risorse disponibili. Questo concetto pone l'accento sulla necessità di operare una revisione degli attuali modelli di produzione e consumo, attraverso un utilizzo efficiente delle risorse, in un'ottica di riduzione degli impatti sulla società e sull'ambiente.
- **Sostenibilità sociale:** la capacità di garantire pari condizioni di accesso alle opportunità (diritti e libertà fondamentali, sicurezza,

salute, istruzione), in modo che siano equamente distribuite tra strati sociali, età, generi e tra le generazioni presenti e quelle future.

- **Sostenibilità ambientale:** la capacità di preservare nel tempo le funzioni dell'ambiente: quella di fornitore di risorse, di ricettore di rifiuti e di fonte diretta di utilità. Ciò richiede un uso delle risorse ambientali che rispetti i vincoli dati dalla capacità di rigenerazione ed assorbimento dell'ecosistema e, quindi, salvaguardi i processi dinamici di auto-organizzazione dei sistemi bio-ecologici.

In altri termini, lo sviluppo sostenibile si fonda su un'integrazione efficiente tra ecosistemi naturali non degradati, tecnologie avanzate e sistemi sociali e culturali consapevoli e responsabili, bilanciando tutti i requisiti (Lombardini 2016).

La sostenibilità, soprattutto in riferimento agli aspetti ambientali, è assurta ad un ruolo chiave per governi, enti di ricerca ed opinione pubblica, determinando un incremento di impegno e di studi, da un lato per diffondere un'educazione ad uno sviluppo sostenibile, dall'altro per individuare i fattori maggiormente impattanti e dannosi sull'ambiente.

L'educazione ad uno sviluppo sostenibile (*Education for Sustainable Development*) richiede un cambiamento di mentalità: la necessità di considerare anche le nostre *footprints*, cioè la nostra propensione al consumo delle risorse, anche se questo rappresenta ancora oggi un traguardo impegnativo.

L'evoluzione umana racconta la storia di una ricerca continua di “nuove strade” nello sviluppo di fonti energetiche, tecniche industriali, di coltivazione, sistemi di locomozione e di comunicazione.

L'acquisizione di una sensibilità ambientale richiede principi, valori e processi sviluppati attraverso un'attività di pianificazione, contemporanea e convergente con una disciplina che tragga origine da “una nuova strada” dell'ingegneria, che faccia proprie anche tematiche aggiuntive rispetto a quelle tradizionali.

La scienza emergente dell'*ingegnerizzazione di un ambiente urbano sostenibile* (Goudie 2009), basata su principi di educazione allo sviluppo ambientale, è necessariamente una scienza multidisciplinare, che prende in considerazione anche processi sociali ed aspetti economici, sistemi di produzione e consumo, riunendo sinergicamente i requisiti funzionali della progettazione, l'efficienza e l'uso delle informazioni.

Una pianificazione delle attività dovrebbe fondarsi su una vera e propria scienza di Implementazione della Sostenibilità (*Sustainability Implementation Science*), che prenda in considerazione le complesse interazioni tra potere e conoscenza (Banister 1996, Plass et al. 2007, Lebel et al. 2008).

Una scienza di Implementazione della Sostenibilità deve fondare su una solida base ingegneristica, in grado progettare ecosistemi sostenibili e proporre un approccio olistico di pianificazione della sostenibilità, in cui tutte le discipline ad essa afferenti concorrano alla formazione di un insieme che non ne è meramente la somma, ma un organismo a sé, realizzando un'integrazione tra società ed ambiente naturale ed assicurando così mutui benefici.

L'apporto ingegneristico all'implementazione di sistemi sostenibili, pragmatico e concreto, deve contribuire a realizzare il necessario "*cambio di paradigma*" (Kuhn, 1962), inteso come cambiamento nella modellizzazione fondamentale degli eventi, in direzione dell'acquisizione di una maggiore sostenibilità.

Dalla gestione delle acque a quella dell'energia e dell'accessibilità, l'obiettivo è riuscire ad integrare tutto con un modello *place-based*, sito-specifico, incentrato sulla realtà locale ed orientato all'utilizzatore finale, che sia di supporto alla minimizzazione dell'impronta di sostenibilità.

2.2 SISTEMI COMPLESSI: COMPONENTI E INTERAZIONI

Il dibattito sullo sviluppo sostenibile è stato a lungo influenzato dalle discipline naturalistiche, prima fra tutte l'ecologia e le scienze biologiche. Uno dei concetti più interessanti e ricchi di sviluppi epistemologici è quello di "metabolismo urbano", che si riferisce ai processi di scambio attraverso cui le città trasformano materie prime, energia ed acqua in ambiente costruito, biomassa umana e rifiuti (Decker et al. 2000).

Questo concetto ha travalicato il tradizionale confine interdisciplinare, richiedendo l'analisi delle relazioni e interazioni tra sistemi sociali e naturali.

Un'applicazione specifica del metabolismo urbano è stata effettuata considerando la città come esempio di ecosistema, un tramite di collegamento dei sistemi sociali con quelli ecologici.

La teoria dei sistemi complessi riconosce i processi antropici come parte integrante degli ecosistemi più generali in cui sono immersi (Grimm et al. 2000). Infatti, si parte dall'assunto che il progetto ecologico per un sistema urbano dovrebbe tendere ad un obiettivo di stabilità e prevedibilità, garantendo una maggiore resistenza agli inevitabili impatti che andranno a gravare su di esso.

L'ecologia industriale ha fornito importanti contributi alla valutazione ed alla possibile ottimizzazione dei flussi di energia e di materia nell'ambito del "metabolismo" dei sistemi industriali, in particolare attraverso il concetto di "simbiosi produttiva", per cui i rifiuti prodotti da un'attività possono rappresentare un input per un altro sistema, a vantaggio dell'economia e dell'ambiente (Dunn, Steinemann 1998).

Lo studio dei sistemi complessi si caratterizza, pertanto, per la sua natura altamente interdisciplinare: basti pensare alle connessioni con la biologia, l'informatica, la teoria dei sistemi, la finanza e l'ecologia.

In linea generale, si può ritenere "complesso" un sistema con un numero elevato di componenti interconnesse, che manifestano nell'insieme una o più proprietà non esplicitamente legate alle singole parti costituenti.

Esso, tipicamente, è dotato di una serie di requisiti:

- aperto, ossia scambia energia e/o massa con l'ambiente circostante;
- dotato di un alto grado di eterogeneità nello spazio e nel tempo;
- composto da un numero elevato di componenti, di natura diversa tra loro;
- caratterizzato da interazioni non-lineari tra le sue componenti, che spesso presentano un ritardo ed un feedback, una retroazione, per cui l'effetto risultante da un'azione si riflette sul sistema stesso per variarne o correggerne opportunamente il funzionamento.

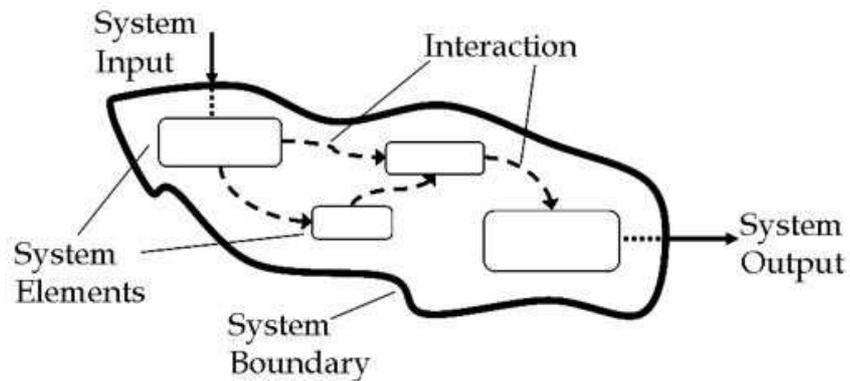


Figura 2.1 Rappresentazione concettuale delle componenti principali di un sistema complesso (Giannino, 2008)

Introducendo anche il concetto di “scala”, si può definire complesso un sistema con un numero elevato di componenti eterogenee, interagenti tra loro a differenti scale spaziali e temporali.

In particolare, si osserva che al crescere della scala spaziale di analisi (cellule → individui → comunità → paesaggio), cresce anche la risoluzione temporale dei processi che caratterizzano i sistemi (secondi → giorni → anni → secoli).

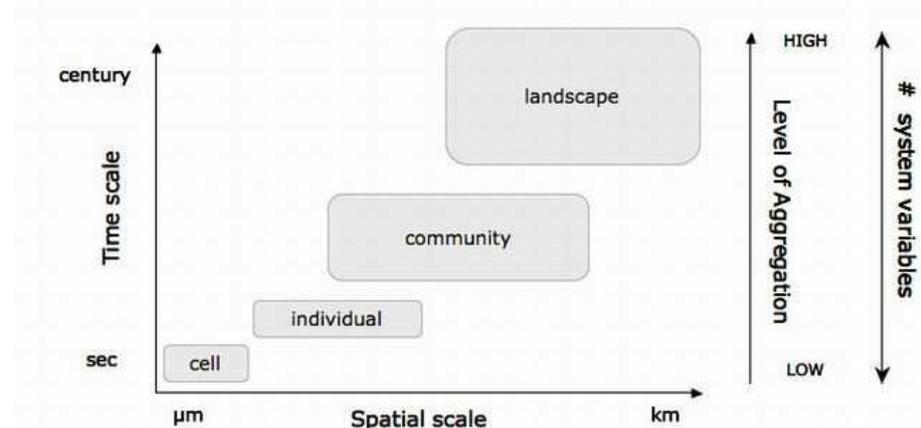


Figura 2.2 Relazioni tra scale spaziali e temporali, livelli di aggregazione e numero di variabili nei sistemi complessi (Giannino, 2008)

Analizzare e modellizzare un sistema richiede l'identificazione delle variabili principali, degli elementi costitutivi e delle reciproche interazioni e la definizione del confine del sistema, con i relativi input ed output.

2.3 INDICATORI AMBIENTALI DI RIFERIMENTO

Il Premio Nobel Herbert Simon ha affermato (1971): “in un mondo ricco di informazione, l’abbondanza di informazione significa carenza di qualcos’altro: la scarsità di tutto ciò che l’informazione distrugge. E’ piuttosto ovvio cosa venga distrutto dall’informazione: l’attenzione dei suoi destinatari”.

Questa riflessione evidenzia un elemento fondamentale: la tensione tra il nostro bisogno di semplificare e “l’irriducibilità epistemologica ed ontologica dei fenomeni da analizzare” (Floridi et al., 2011).

L’interdisciplinarietà del concetto di sostenibilità coinvolge un’ampia gamma di aspetti e una grande quantità di informazioni, non semplici da sintetizzare.

La necessità di valutare la sostenibilità di un’attività, un processo o di un’opera ed i potenziali impatti sull’ambiente ha comportato un’analisi degli strumenti proposti in letteratura per la caratterizzazione del consumo delle risorse ambientali. Allo scopo di monitorare le pressioni esercitate sull’ambiente dall’umanità è necessario un sistema integrato in cui differenti categorie di impatti possano essere misurate attraverso un set di indicatori appropriati (Oosthoek e Gills, 2005).

Gli indicatori, “strumenti di misura in grado di fornire una sintetica rappresentazione del fenomeno indagato in modo da conservare il contenuto informativo dell’analisi” (Tenuta, 2009), garantiscono una base in grado di orientare le successive scelte decisionali (Cucek, Klemes, Kravanja, 2012).

In generale, un indicatore può essere definito come un parametro, o un valore derivato da parametri, che fornisce informazioni su un fenomeno (OECD, 1993).

Tuttavia, il significato di un indicatore va oltre le proprietà direttamente associate al valore del parametro: è legato alla capacità descrittiva di sintesi che esso è in grado di esprimere.

Gli indicatori sono sviluppati in relazione all’uso specifico che sono chiamati a svolgere, con due principali funzioni:

- riducono il numero delle misure e dei parametri che normalmente sarebbero necessari per fornire una rappresentazione “esatta” della situazione. Di conseguenza, la dimensione di un set di indicatori e la quantità di dettagli contenuti devono essere limitati. Un set troppo numeroso, infatti,

tenderà a produrre un quadro di insieme confuso, ma, d'altra parte, l'uso di un numero troppo ridotto di indicatori, o addirittura di uno solo, potrebbe essere insufficiente a fornire tutte le informazioni di importanza rilevante. Inoltre, i problemi metodologici correlati alla ponderazione da attribuire tendono a crescere con il livello di aggregazione;

- semplificano il processo di comunicazione dei risultati all'utilizzatore. Tuttavia, a causa della semplificazione e della necessità di adeguamento ai bisogni dell'utilizzatore, gli indicatori potrebbero non rispondere in senso stretto alla necessità scientifica di dimostrare un legame di causalità, pertanto, possono essere visti come espressione della "migliore conoscenza disponibile".

Alcuni dei requisiti essenziali di un indicatore sono:

- la rilevanza, intesa come coerenza con gli obiettivi normativi, rappresentatività delle problematiche e delle condizioni ambientali, significatività dei mutamenti nel tempo dei fenomeni osservati;
- la validità scientifica, riferita a qualità statistica dei dati documentata e validata scientificamente, applicabilità in contesti territoriali diversi, comparabilità di stime e misure effettuate nel tempo;
- la capacità di comunicazione e, dunque, la facilità di interpretazione;
- la misurabilità, in funzione della disponibilità dei dati necessari e della possibilità di impiego di serie storiche e di aggiornamento periodico;
- la sensibilità, soprattutto al cambiamento che si intende rilevare.

Il passo successivo alla selezione degli indicatori è spesso quello di costruire degli indici aggregati o composti, in cui gli indicatori originali vengono accorpati per sintetizzare ancor più l'informazione.

Un indicatore composito è la combinazione matematica di indicatori singoli, che rappresentano differenti dimensioni di un concetto, la cui descrizione è l'obiettivo dell'analisi svolta (Saisana et al. Tarantola, 2002).

Un indicatore composito concettualmente è "basato su una serie di sotto-indicatori che non hanno una comune unità di misura né una chiara ed ovvia possibilità di pesatura" (Saisana, 2004).

L'uso di indici aggregati, accanto ad indubbi vantaggi legati alla semplicità di presentazione e di comparazione, esige che essi siano costruiti ed usati con molta cautela ed all'interno di un quadro teorico, matematico e statistico, il più possibile rigoroso per diminuire l'impatto che errori ed inevitabili componenti di soggettività (la selezione e l'assegnazione di pesi ai vari indicatori, il trattamento dei dati mancanti) invalidino il risultato: un indice utilizzabile è un compromesso tra incertezza e benefici che l'utilizzo dell'indice comporta.

Nel tempo sono stati proposti indicatori in differenti forme e per diversi settori di appartenenza, per valutazioni ambientali, economiche e sociali di particolari processi, prodotti o attività.

Gli indicatori ambientali sono parametri rilevabili che descrivono le condizioni di un sistema ambientale, fornendo informazioni sintetiche sullo stato e sull'evoluzione dell'ambiente esaminato e rappresentano una variabile significativa del sistema da analizzare: maggiore è il suo grado di complessità, maggiore sarà il numero di indicatori necessari a descriverlo più compiutamente e dettagliatamente.

L'utilità di tali strumenti risiede nella capacità di fornire dati di sintesi in grado di guidare l'analisi sullo stato di un ambiente, di accompagnare processi decisionali in campo politico, economico e sociale verso forme di utilizzo più sostenibile del territorio e di monitorare le risposte a tali decisioni.

La storia dello sviluppo sostenibile e quella degli indicatori ambientali, strumento per monitorare e guidare tale sviluppo, sono strettamente intrecciate: nell'Agenda 21 viene rivolto dall'Organizzazione delle Nazioni Unite un invito agli Stati, a livello nazionale, ed alle organizzazioni governative e non governative, a livello internazionale, a "sviluppare il concetto di indicatore di sostenibilità per una sua concreta identificazione".

Tra gli innumerevoli esempi di indici usati a livello internazionale possiamo citare lo Human Development Index delle Nazioni Unite, l'Environment Sustainable Index dell'OCSE e l'Environmental Performance Index (World Economic Forum, Yale & Columbia Universities).

L'Indice di Sviluppo Umano (HDI) è un indicatore di sviluppo macroeconomico sviluppato nel 1990 dall'economista pakistano Mahbub ul Haq e utilizzato, a partire dal 1993, dall'Organizzazione delle Nazioni Unite accanto al PIL (prodotto interno lordo) per valutare la qualità della vita nei paesi membri.

In precedenza veniva utilizzato soltanto il PIL, che rappresenta il valore monetario dei beni e dei servizi prodotti in un anno su un determinato territorio nazionale: un indicatore, dunque, basato esclusivamente sul valore economico totale, che non tiene conto del capitale, soprattutto “naturale” (l'insieme costituito dai sistemi naturali, dai “prodotti” e dal patrimonio artistico-culturale presente nel territorio), perduto nei processi di crescita.

L'Indice di Sviluppo Umano è stato creato per sottolineare che il criterio definitivo per stabilire il grado di sviluppo raggiunto da un paese dovrebbe essere rappresentato dalle persone e dalle loro competenze, non soltanto dalla crescita economica.

L'HDI può essere anche utilizzato per scandagliare le priorità delle scelte politiche nazionali, sollevando questioni circa la mancata rispondenza tra valori di PIL pro capite e valori di sviluppo umano.

I Rapporti sullo Sviluppo Umano classificano i paesi secondo il loro Indice di Sviluppo Umano (HDI), costruito sulla base di tre indicatori, dimensioni chiave dello sviluppo: la speranza di vita, il grado di istruzione e la media del PIL pro capite, indicativo del tenore di vita. Ad ognuno di questi tre fattori è dato peso uguale per il calcolo dell'indice HDI.

L'Indice di Sostenibilità Ambientale (Environmental Performance Index, EPI) è un metodo per quantificare numericamente le prestazioni ambientali di un paese.

Questo indice, sviluppato nel 2008 dalla Yale e dalla Columbia University in collaborazione con il Forum Economico Mondiale e il Centro comune di ricerca della Commissione europea, è stato progettato per integrare gli obiettivi ambientali delle Nazioni Unite.

In anni piuttosto recenti sono emersi, tra gli strumenti di valutazione della sostenibilità e delle sue componenti, le cosiddette *footprints*, che rappresentano “una misura quantitativa che descrive l'appropriazione, condotta dagli esseri umani, delle risorse naturali” (Hoekstra 2008), introdotte nella comunità scientifica negli anni '90 a partire dall'idea di ecological footprint (Rees, 1992, 1996; Wackernagel e Rees, 1996, 1997; Wackernagel et al., 1997). Da quel momento in poi, molti altri indicatori analoghi sono stati sviluppati, diventando complementari alla *ecological footprint*, tra cui la energy footprint (Wackernagel and Rees, 1996), la water footprint (Hoekstra and Hung, 2002), la emergy footprint (Zhao et al., 2005), la exergy footprint (Chen and Chen, 2007), la carbon footprint

(Wiedmann and Minx, 2008), la biodiversity footprint (Yaap et al., 2010), la chemical footprint (Panko and Hitchcock, 2011) e così via.

Una *footprint* descrive l'insieme delle attività umane che gravano, con differenti tipi di carichi e di impatti, sulla sostenibilità globale (Rees 1992, Hoekstra e Hung 2002, Høgevoold 2003), prendendone in considerazione i tre aspetti fondamentali: la tutela dell'ambiente, il benessere economico e la dimensione sociale (OECD 2004, OECD 2008).

Una visione di insieme sulle footprints, pertanto, può essere presentata in termini di dimensione ambientale, sociale ed economica del soggetto. A tal fine, si distinguono:

- *Impronte ambientali*: Carbon footprint (CF), Water footprint (WF), Energy footprint (ENF), Emission footprint (EMF), Land footprint (LF), Biodiversity Footprint (BF).
- *Impronte sociali*: Social footprint (SF).
- *Impronte economiche*: Financial footprint (FF), Economic footprint (ECF).
- *Impronte combinate ambientali, sociali e/o economiche*: Exergy footprint, Chemical footprint (CHF).
- *Impronte composite*: Ecological footprint, Sustainable process index (SPI), Sustainable Environmental process Indicator (SEPI).

Vi sono, quindi, footprints riferite sia a singoli aspetti di un contesto che ad una pluralità: in tal caso, la footprint si configura come un indicatore composito, che racchiude in un solo numero due o più indicatori o “sub-indicatori”, con il vantaggio di esprimere informazioni complesse attraverso un singolo indice.

In letteratura le più utilizzate sono la carbon, la ecological e la water footprint, che formano la cosiddetta “*footprint family*” (Lambrechts, Van Liedekerke 2014, Galli et. al. 2011), termine che fu proposto per la prima volta contemporaneamente ed indipendentemente da Gilium et al. (2008) e Stoeglehner e Narodslawsky (2008).

Le *footprints* vengono solitamente misurate in unità di superficie, sebbene ciò comporti una notevole variabilità e un'alta possibilità di errori in termini di risultati.

La Ecological footprint (EF), in particolare, sviluppata nel 1992 da Rees, è emersa come uno dei principali strumenti di misura al mondo della domanda di risorse naturali da parte degli esseri umani, ed è largamente utilizzata come indicatore per la valutazione della sostenibilità ambientale. L'analisi dell'impronta ecologica si basa sul concetto di

un'adeguata capacità di sostenere, definita come la quantità di terreno richiesta per garantire le risorse necessarie ed assimilare i rifiuti prodotti dall'attuale popolazione umana.

L'*Impronta ecologica* stima "la minima estensione di terreno necessaria per fornire l'energia di base ed il flusso dei materiali richiesto dall'economia" (Wackernagel e Rees, 1996) e si misura in unità di superficie globali (ettari globali, o *gha*).

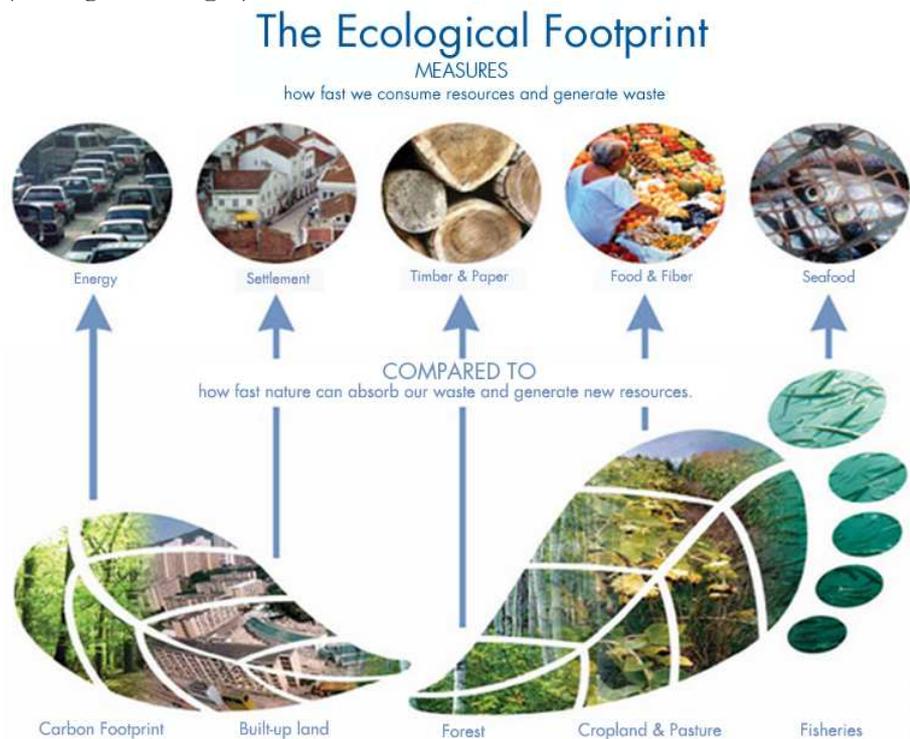


Figura 2.3 L'Impronta Ecologica (Global Footprint Network)

Ogni *ettaro globale* rappresenta la stessa frazione della bio-produttività totale della Terra ed è definito come 1 ha di terra o acqua, normalizzato rispetto alla produttività media mondiale di tutti i terreni e le acque biologicamente produttive, valutata all'interno di uno specifico anno.

L'ettaro globale consente di esprimere l'Impronta ecologica attraverso un unico indicatore. E' un accorgimento di valutazione statistica, con cui vengono resi omogenei terreni diversi (agricoli, a pesca, a pascolo, a foresta, edificati, *carbon footprint*), in differenti posizioni geografiche, attribuendo loro un "peso" in termini di produttività biologica.

In tal modo, ogni tipo di terreno viene espresso in termini di ettaro globale, analogamente a quanto si fa per calcolare altre quantità di interesse ambientale, ad esempio, l'impronta di carbonio o le emissioni come quantità di gas equivalenti CO₂.

Dall'emergere della questione ambientale al complesso rapporto tra ambiente ed istanze economiche, dal paradigma dello sviluppo sostenibile al metabolismo urbano, al rapporto tra sviluppo sostenibile e produzione di servizi eco sistemici, molte sono le questioni affrontate ed ancora oggetto di discussione.

3 INDICATORI AMBIENTALI NELLE STRUTTURE COMPLESSE

Secondo uno dei primi filoni interpretativi, la scienza della sostenibilità è stata ideata come forma avanzata di analisi di sistemi complessi. L'obiettivo finale di tale scienza è un sistema sostenibile dinamico, che contemperi, tra l'altro, tanto i bisogni della società quanto le necessità di sopravvivenza del pianeta, consentendo una migliore comprensione dei sistemi accoppiati uomo-ambiente attraverso l'applicazione di strumenti analitico-descrittivi avanzati (Wieck et al., 2012).

Il fondamento logico della scienza della sostenibilità rafforza gli argomenti a favore di cittadini e stakeholder di processi di apprendimento sociale, che dovrebbero portare ad una maggiore comprensione dei sistemi complessi, a soluzioni più eque e durature ed una maggiore capacità di cittadinanza attiva (Blackstock et al., 2007).

In particolare, un ruolo centrale nell'attuazione di politiche di sviluppo sostenibile e di risparmio delle risorse andrebbe svolto dalle strutture pubbliche, caratterizzate da una grande quantità di sedi, spesso di notevoli dimensioni, con un ampio potenziale di miglioramento dal punto di vista della gestione, che dovrebbe essere mirata al conseguimento di un incremento di sostenibilità tanto da un punto di vista economico che ambientale.

L'Unione Europea, con la Direttiva Comunitaria 2006/32/CE, concernente l'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici, ha chiesto agli Stati membri di risparmiare, tra il 2008 ed il 2017, il 9% dell'energia fornita agli utilizzatori finali e di conferire un ruolo esemplare proprio al settore pubblico: "in ogni Stato membro il settore pubblico dovrebbe, quindi, dare il buon esempio per quanto riguarda gli investimenti, la manutenzione ed altre spese riguardanti attrezzature che consumano energia, i servizi energetici nonché altre misure di miglioramento dell'efficienza energetica".

Il Servizio Sanitario Nazionale, il Sistema Nazionale delle Agenzie per la Protezione Ambientale, l'Università sono alcuni esempi di sistemi complessi di istituzioni centrali, regionali e locali con dimensioni che li collocano ai vertici della graduatoria dell'imprenditoria nazionale. Essi

assolvono altresì ad un compito formativo, condizionando i comportamenti della comunità.

Per queste ragioni è importante che anche in tali contesti si realizzi un nuovo modello di sviluppo sostenibile, che, sperimentando sistemi di ecogestione con l'obiettivo di minimizzare i consumi delle risorse, contribuisca al miglioramento della qualità ambientale e alla prevenzione dei danni ambientali ed alla salute pubblica.

Promozione dell'eco-efficienza e riduzione dei consumi di energia primaria negli edifici e nelle strutture pubbliche attraverso interventi di riqualificazione, installazione di sistemi di telecontrollo, regolazione, gestione, monitoraggio e ottimizzazione dei consumi energetici (smart buildings) e delle emissioni inquinanti, con l'utilizzo di mix tecnologici: anche attraverso queste scelte - e non solo tramite le prestazioni erogate - gli Enti pubblici possono contribuire a produrre benessere e buon vivere, in un quadro di sviluppo sostenibile.

Tutto ciò richiede di misurare le prestazioni ambientali di una struttura complessa attraverso l'uso di indicatori, sintetici nella rappresentazione e facilmente misurabili.

3.1 STATO DELL'ARTE

Uno dei più influenti report degli ultimi anni (Stieglitz et al., 2009) ha sostenuto con decisione che, attualmente, l'umanità ha la necessità di individuare quanto distanti siano gli obiettivi di sostenibilità fissati.

Tuttavia, nonostante la domanda crescente da parte politica ed il diffuso consenso scientifico, fino ad oggi è molto limitata l'esperienza di indicatori che collegano la qualità ambientale con livelli obiettivo creati nella prospettiva di uno sviluppo sostenibile (Sustainable Reference Values, SRVs).

La valutazione della sostenibilità ambientale, nel contesto articolato di una struttura complessa, richiede strumenti efficaci, indicatori significativi, dotati di capacità di sintesi e semplicità di utilizzo, oltre che di efficacia rappresentativa degli aspetti in esame.

La comunicazione, infatti, è la principale funzione degli indicatori: essi dovrebbero essere la sorgente informativa sul problema oggetto di studio.

Gli indicatori ambientali, in particolare, forniscono informazioni sui fattori che influenzano la qualità dell'ambiente e la possibilità di sviluppo sostenibile (EEA, 1999), indicando, per esempio, il grado di fragilità (predisposizione a essere danneggiato) o di elasticità (capacità di recupero) degli elementi costituenti di un determinato territorio (Diamond, 2005). L'utilità degli indicatori ambientali risiede nella capacità di fornire dati di sintesi che consentono di effettuare l'analisi dello stato di un ambiente, di guidare i processi decisionali in campo politico, economico e sociale verso forme di sfruttamento più sostenibile del territorio e di monitorare le risposte a tali decisioni.

Per la valutazione dei possibili impatti di attività, processi o prodotti sono stati sperimentati Sistemi di Gestione Ambientale o analisi di tipo LCA.

La metodologia *LCA* (*Life Cycle Assessment*, o Analisi del Ciclo di Vita), molto utilizzata per la valutazione degli impatti ambientali, è caratterizzata da un approccio "dalla culla alla tomba", in un processo a ciclo aperto.

Si tratta di un procedimento oggettivo di valutazione e quantificazione dei carichi energetici ed ambientali e degli impatti potenziali associati ad un prodotto/processo/attività lungo l'intero ciclo di vita, dall'acquisizione delle materie prime al fine vita.

La valutazione, includendo l'intero ciclo di vita del processo o attività, riguarda l'estrazione ed il trattamento delle materie prime, la fabbricazione, le emissioni prodotte nell'ambiente ("immissioni" nell'aria, nell'acqua e nel suolo), il trasporto, la distribuzione, l'uso, il riuso, il riciclo e lo smaltimento finale.

In alcuni studi, sulla base di analisi LCA, sono state valutate le performance ambientali di una struttura universitaria, formulando differenti opzioni di gestione dei rifiuti per plastica e carta, incluso il riciclo, l'incenerimento e lo smaltimento in discarica (Lukman et al. 2009). Gli schemi concettuali più comunemente usati in ambito internazionale sono il modello Pressioni, Stato, Risposte (PSR), proposto da Anthony Friend negli anni '70 e successivamente sviluppato dall'OCSE ed il modello Determinanti, Pressioni, Stato, Impatto, Risposte (DPSIR), sviluppato dall'EEA (Agenzia Europea per l'Ambiente), caratterizzati entrambi da relazioni di causalità.

Il modello PSR permette di evidenziare le relazioni tra il sistema ambientale e le attività antropiche, nonché di esprimere i rapporti tra società ed ecosistema. Esso si basa su indicatori divisi in tre categorie:

- Indicatori di pressione, che descrivono gli effetti delle diverse attività dell'uomo sull'ambiente;
- Indicatori di stato, che misurano le condizioni delle risorse ambientali;
- Indicatori di risposta, che valutano le politiche e gli interventi posti in atto per il raggiungimento di obiettivi di protezione ambientale.

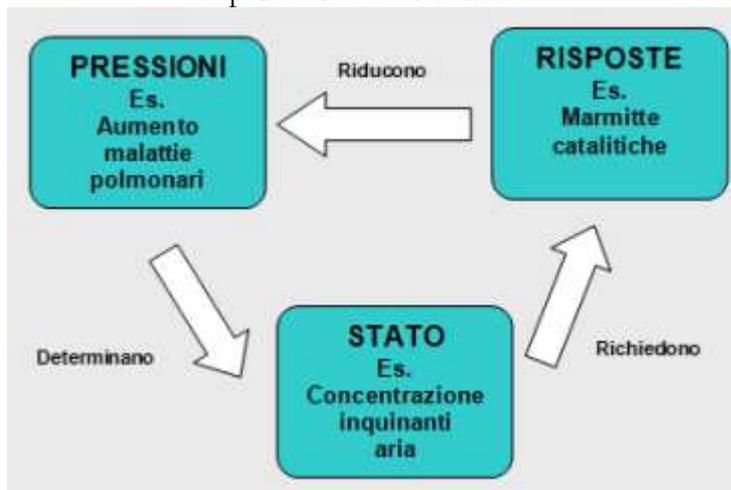


Figura 3.1 Rappresentazione schematica del modello PSR (ISPRA, 2016)

Nel 2004 l'Agencia Europea per l'Ambiente ha identificato un set di base di 37 indicatori, appartenenti a dieci aree tematiche, a supporto della definizione delle priorità politiche europee, basato su nove criteri di selezione ed approvato dalle nazioni membro della EEA.

Questo lavoro, regolarmente aggiornato, è strutturato intorno ad un quadro di riferimento concettuale, noto come modello di valutazione DPSIR.

Il modello DPSIR (Determinanti – Pressioni – Stato – Impatti – Risposte), sviluppato dall'Agencia Europea dell'Ambiente, mette in relazione di causa–effetto le pressioni esercitate sulla matrice ambientale, lo stato della matrice stessa, gli impatti su di essa e le risposte attuate o da attuare in futuro. Esso permette di rappresentare l'insieme degli elementi e delle relazioni che caratterizzano un qualsiasi tema o fenomeno ambientale, mettendolo in connessione con l'insieme delle politiche esercitate verso di esso.

In particolare, la metodologia DPSIR si basa sulla circolarità delle relazioni e delle influenze tra le attività umane, le condizioni ambientali e le misure di riposta alle criticità individuate: le attività antropiche (D) generano fattori di pressione (P), responsabili di una determinata condizione ambientale (S) con conseguenze sull'uomo e sugli ecosistemi (I), arginabili mediante adeguate contromisure (R).

Il modello DPSIR rappresenta, quindi, un'evoluzione del modello PSR: dagli indicatori di pressione vengono scorporate le Forze motrici o Determinanti, cioè i comportamenti e le attività antropiche che determinano le pressioni sull'ambiente (trasporti, industria, agricoltura) e vengono inoltre distinti Stato (qualità dell'ambiente) ed Impatti (alterazioni prodotte dalle azioni antropiche negli ecosistemi e nella salute pubblica). La struttura dello schema è costituita da moduli o sottosistemi DPSIR, legati tra loro da una catena di relazioni, essenzialmente di tipo causale.

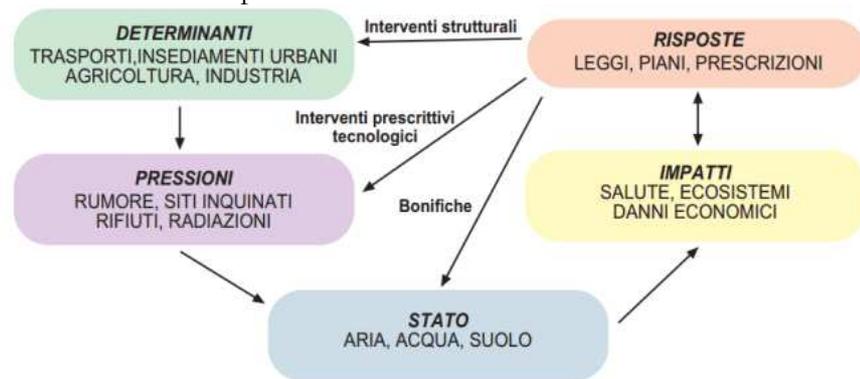


Figura 3.2 Rappresentazione schematica del modello DPSIR (AmbienteInforma, SNPA, 2016)

D – Determinanti o Forze determinanti – Attività e comportamenti umani derivanti da bisogni individuali, sociali, economici; stili di vita, processi economici, produttivi e di consumo da cui originano pressioni sull'ambiente.

P – Pressioni – Pressioni esercitate sull'ambiente in funzione delle determinanti, cioè delle attività e dei comportamenti umani come ad es. emissioni atmosferiche, rumore, campi elettromagnetici, produzione di rifiuti, scarichi industriali.

S – Stati – Qualità e caratteri dell'ambiente e delle risorse ambientali che possono essere messi in discussione dalle pressioni, qualità considerate

come valori (fisici, chimici, biologici, naturalistici, testimoniali, economici) che occorre tutelare e difendere.

I – Impatti – Cambiamenti significativi dello stato dell’ambiente che si manifestano come alterazioni negli ecosistemi, nella loro capacità di sostenere la vita, la salute umana, le performance sociali ed economiche.

R – Risposte – Azioni di governo messe in atto per fronteggiare le pressioni; oggetto della risposta può essere un determinante, una pressione, uno stato, un impatto, ma anche una risposta pregressa da correggere; le risposte possono assumere la forma di obiettivi, di programmi, di piani di finanziamento, di interventi.

Questa metodologia permette un collegamento logico tra gli elementi e i sistemi che compongono l’ambiente. All’interno di questo modello si collocano le informazioni necessarie per la conoscenza ambientale. Il trasferimento delle informazioni deve avvenire attraverso chiavi di accesso alla complessità della realtà, messaggi leggibili e razionali, efficienti per le amministrazioni, chiari e comprensibili per la pubblica opinione: questi strumenti di comunicazione sono gli indicatori ambientali.

3.2 INDICATORI SPECIFICI DI SETTORE

Il bisogno di indicatori è legato alla necessità di creare un collegamento tra la dimensione ambientale e gli altri due pilastri della sostenibilità, gli aspetti economici e sociali: gli indicatori che evidenziano il legame tra le pressioni ambientali (quali l’emissione di sostanze inquinanti) e le performance economiche (come il PIL) rappresentano un esempio di questo tipo di collegamento (Moldan et al., 2004).

L’applicazione di indicatori di sviluppo sostenibile o di indicatori ambientali ha avuto tra i suoi pionieri a livello internazionale l’OECD (Organisation for Economic Co-Operation and Development), che, nel 1974, ha pubblicato per la prima volta un “Core Set of Indicators” (OECD, 1974), aggiornato da allora con regolarità.

Successivamente, istituzioni nazionali, internazionali o intergovernamentali ne hanno sviluppati e proposti differenti tipi, in riferimento allo specifico contesto di applicazione.

Il problema di valutazione delle performance ambientali delle università è stato affrontato, principalmente nelle realtà anglosassoni, fin dagli anni

‘60. Molti ricercatori hanno sviluppato metodologie per misurare il consumo di risorse di un campus, la produzione di rifiuti, le emissioni di gas serra per comprendere le interazioni tra le variabili che caratterizzano le prestazioni degli edifici attraverso varie tecniche di valutazione e di visualizzazione. I concetti chiave ed i metodi emersi sono il metabolismo urbano, il material flow analysis, life cycle analysis e la ecological footprint.

In seguito, l'attenzione alle tematiche ambientali e la consapevolezza acquisita nel tempo hanno portato naturalmente, fin dalla metà degli anni '90, ad incorporare principi di sviluppo sostenibile anche all'interno delle strategie e delle scelte politiche universitarie.



Figura 3.3 Modello di università sostenibile con l'integrazione dei tre profili (Lukman et al., 2009)

Molte università hanno cominciato a misurare il loro livello di sostenibilità e, conseguentemente, sono stati sviluppati numerosi strumenti di supporto: la scelta di quello più adatto al contesto specifico è un passo decisivo nel processo di valutazione per le università che sono ancora ad uno stadio iniziale nell'implementazione della sostenibilità.

In particolare, numerosi studi sono stati dedicati alla promozione di tematiche di sostenibilità all'interno di un contesto universitario, con

l'obiettivo di creare un “*green campus*”, individuando gli aspetti principali da esaminare e le possibili strategie di intervento.

Alcuni hanno riguardato la valutazione della Carbon footprint (Ozawa-Meida et al., 2013) o della Ecological footprint o le emissioni di gas serra (Larsen et al., 2013), nonché l'identificazione delle azioni da attuare per ridurle.

Valutazioni sulla sostenibilità di un'università o formulazioni di un modello di *green campus* sono state proposte anche in contesti di paesi emergenti, come la Cina e l'India; Lu et al. (2007) hanno stabilito un sistema di indicatori per valutare le performance di un progetto di *green university*, formulando le loro raccomandazioni, mentre successivamente Wang (2011) ha rivisto il sistema di indicatori per stimare la performance complessive di un progetto di *green university*.

Al contempo, numerosi lavori accademici hanno fatto luce sugli esperimenti condotti e sulle ragioni che hanno spinto le università ad acquisire un certo approccio, sulla metodologia utilizzata, sulle difficoltà incontrate e gli indicatori messi a punto (Keniry, 1995; Cortese, 1999; Van Weenen, 2000; Dahle and Neumayer, 2001; Shriberg, 2002; Cole, 2003; Uhl, 2004; Li et al., 2008; Klein-Banai and Theis, 2011).

Utilizzando come caso studio l'università di Lille, Olszac (2012) ha proposto degli indicatori di sostenibilità, utilizzati per definire un unico indice, il Sustainable Campus Synthetic Index, attraverso l'attribuzione di specifici coefficienti di ponderazione ai singoli indicatori selezionati. L'indice per la valutazione di un campus sostenibile ottenuto consente la valutazione ed il confronto delle prestazioni di sviluppo sostenibile in termini di tutela dell'ambiente, uguaglianza sociale e convenienza economica, evidenziando elementi di forza e di debolezza emersi.

In svariate strutture europee sono stati implementati su larga scala sistemi di gestione ambientale (EMS, Environmental Management Systems), principalmente per migliorare le performance ambientali delle organizzazioni e certificare i risultati ottenuti, oltre che come strumenti di valutazione della sostenibilità dei campus (Disterheft et al., 2012).

Elemento comune alle molteplici metodologie proposte in letteratura è che la valutazione della sostenibilità complessiva della struttura in esame venga effettuata attraverso un'analisi delle prestazioni dei singoli comparti: rifiuti, acqua, energia, aria, trasporti.

Nel seguito saranno esposti gli indicatori proposti in relazione ai differenti settori e alla loro efficacia all'interno di un contesto più ampio per l'analisi delle prestazioni ambientali di una struttura complessa.

3.2.1 Rifiuti solidi

Le attività di gestione integrata e sostenibile dei rifiuti hanno cominciato a diffondersi nelle istituzioni universitarie oltre 20 anni fa, spaziando da sporadici tentativi locali e volontari a programmi istituzionali (Armijo et al., 2003). Alcune delle iniziative, incentrate sul recupero e la riduzione dei rifiuti alla fonte, hanno riscosso un successo significativo.

La scelta di un adeguato sistema di gestione dei rifiuti richiede una solida comprensione della relativa composizione e dei processi di produzione (Acurio et al. 1997). Particolare attenzione va posta alle fonti da cui originano i rifiuti, dal momento che le caratteristiche e la composizione degli stessi differiscono a seconda della sorgente di produzione (Tchobanoglous et al. 1996).

Nonostante i benefici conseguibili dall'introduzione di un adeguato sistema di gestione dei rifiuti, metterne a punto uno non è un compito facile: è necessario, infatti, considerare piani e programmi, assicurare il rispetto di standard tecnici e requisiti cogenti, prevedere l'introduzione di strategie finanziarie (tasse o incentivi) e campagne di sensibilizzazione per minimizzare la produzione (Strange, 2002).

Espinosa et al. (2008) hanno proposto un sistema di gestione integrata dei rifiuti solidi in un'università messicana; Mason et al. (2003) hanno sviluppato, con l'ausilio di un caso studio, l'implementazione di un programma "zero waste" in un campus universitario, valutando la possibile separazione delle fonti e il riutilizzo delle risorse residuali per incoraggiare una diffusa adozione di pratiche di sostenibilità in paesi come il Messico, in cui la legislazione o la struttura organizzativa sono ancora inadeguati.

3.2.2 Risorsa idrica

Il consumo sostenibile della risorsa idrica è attualmente argomento di particolare importanza, dal momento che in molte regioni la siccità ha ostacolato la crescita economica ed incentivato la ricerca e la sperimentazione di soluzioni innovative. L'obiettivo è quello di prevenire, eliminare e ridurre le inefficienze nell'uso delle risorse, in particolare dell'acqua, valutando questo tema all'interno di una struttura complessa.

Alcune istituzioni universitarie hanno ottenuto benefici ambientali ed economici implementando un proprio Sistema di Gestione Ambientale

(SMS) (Clarke and Kouri, 2009) e individuando gli interventi e le tecnologie da mettere in atto per ridurre la produzione di acque di scarico all'interno di tale SMS (Velazquez et al., 2012).

Soprattutto nelle realtà caratterizzate da climi molto aridi sono stati condotti studi relativi ai possibili sistemi di riutilizzo delle acque grigie, mentre più comuni sono le strategie di recupero delle acque piovane da destinare ad usi che non richiedano elevate caratteristiche qualitative .

In altri casi è stata valutata l'incidenza di programmi di incentivi economici a supporto di un consumo sostenibile delle risorsa idrica in un campus universitario.

La scarsa disponibilità della risorsa idrica e gli incentivi economici appaiono l'elemento fondamentale nella formulazione di politiche e di azioni mirate alla riduzione dei consumi e ad un uso più sostenibile delle risorsa nei paesi siccitosi o con un forte tasso di stress idrico, non solo a livello generale, ma anche nella maggior parte delle realtà universitarie esaminate.

3.2.3 Energia

Sono stati effettuati numerosi studi inerenti l'analisi energetica di un campus universitario, con l'obiettivo di individuare delle possibili strategie di incremento dell'efficienza e della sostenibilità complessiva.

Di frequente sono stati utilizzati come parametri di confronto delle prestazioni il consumo specifico di energia (SEC) e il consumo di energia elettrica per occupanti (studenti e/o personale).

I consumi energetici di un campus in un'università messicana (UNAM) e le conseguenti emissioni di gas serra sono stati stimati sviluppando un possibile scenario di riferimento dei consumi energetici al 2020 e delle relative misure di mitigazione, che includono il ricorso a tecnologie di efficienza energetica ed all'energia solare (Escobedo et al., 2013).

Per la stima dei consumi energetici è stato considerato un campione rappresentativo di edifici ed attrezzature per categoria e sono stati prodotti degli *energy audits* a tre livelli di approfondimento, effettuando un confronto finale con la bolletta dei consumi elettrici effettivi.

I consumi elettrici, infatti, sono stati distinti per uso finale e per funzione degli edifici. Sulla base dei dati ricavati dagli *energy audits*, è stato stimato un indicatore del consumo di energia per uso finale a metro quadrato di superficie per categorie di edifici ed attrezzature: il dato di consumo

ottenuto moltiplicando lo per la superficie delle strutture, ha fornito un valore di consumo elettrico.

4 IL CAMPUS UNIVERSITARIO DI FISCIANO COME ESEMPIO DI STRUTTURA COMPLESSA

4.1 SET UP SPERIMENTALE: DEFINIZIONE E VALUTAZIONE DELLE VARIABILI

Alla luce di quanto esposto, anche un campus universitario costituisce un esempio di *sistema complesso*, dal momento che:

- si configura come un sistema aperto, con continui scambi di persone, beni e servizi con l'esterno;
- è costituito da un numero elevato di componenti di natura differente tra loro, che interagiscono in maniera non lineare anche da un punto di vista temporale, determinando un ritardo ed un *feedback*;
- è caratterizzato da un alto grado di eterogeneità nello spazio e nel tempo.

L'Università degli Studi di Salerno è tra le più grandi realtà universitarie del sud Italia: strutturata in due campus situati nei comuni di Fisciano e Baronissi, in provincia di Salerno, ospita circa 40.000 studenti, con un bacino di utenza di quasi 2 milioni di abitanti, che abbraccia le province di Salerno e di Avellino, parte del Napoletano e della Basilicata.

Il tratto distintivo dell'Ateneo salernitano è la sua configurazione in forma di campus: quello principale, collocato a Fisciano (1.200.000 m²), e quello di Baronissi (150.000 m²), che ospita esclusivamente il Dipartimento di Medicina e Chirurgia.



Figura 4.1 Il campus universitario di Fisciano

La costruzione dei due campus universitari è stata di fatto avviata nel 1982. L'idea basilare del progetto era quello di dividere gli edifici in stecche ed invarianti: la struttura si presenta, quindi, come un'aggregazione di corpi fabbrica lineari (*stecche*), a loro volta articolati in elementi su cui si innestano strutture di minore dimensione (*invarianti*).

Questa identità caratteristica è stata rafforzata negli ultimi anni attraverso l'ammodernamento e l'ampliamento degli spazi destinati ai laboratori, alle aule per la didattica e la ricerca ed ai servizi accessori, come le residenze per studenti.

Il campus di Fisciano, il maggiore tra i due dell'Ateneo salernitano, rappresenta uno dei pochi insediamenti universitari italiani autonomi caratterizzati da una struttura interna di tipo urbano, riferibile al modello angloamericano di campus.

L'attività di ricerca svolta ha utilizzato come "laboratorio vivente" il campus di Fisciano, allo scopo di mettere a punto un modello integrato, con l'obiettivo di indirizzare coerentemente le varie dimensioni in chiave sostenibile, minimizzando l'uso dell'energia e delle risorse e mitigando l'impatto delle varie attività accademiche.

I principi ispiratori dell'attività svolta, improntati alla fattibilità in termini economici e alla tutela dell'ambiente, si possono sintetizzare, secondo una visione gerarchica, in riduzione alla sorgente, riutilizzo e riciclo delle risorse (Figura 4.2).

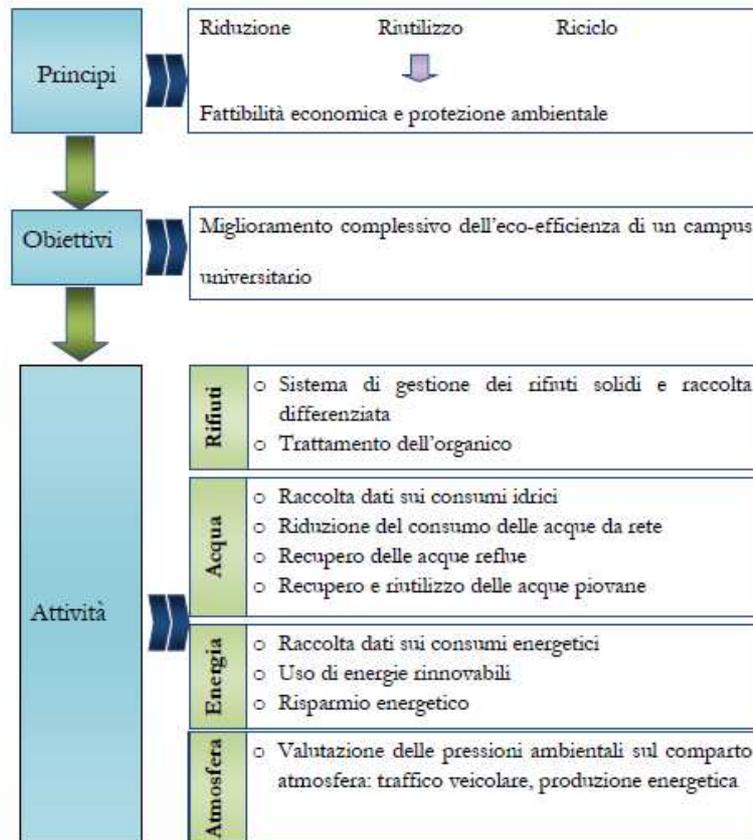


Figura 4.2 Principi, obiettivi ed attività per la realizzazione di un *green campus*

Coerentemente con tali principi, sono stati individuati i principali settori di indagine e di intervento, per passare da semplici obiettivi di efficienza nell'uso dell'energia e delle risorse a quello a tutto tondo di un *green campus*, caratterizzato da una visione complessiva di sostenibilità, per un miglioramento dell'eco-efficienza della struttura.

I principali ambiti di riferimento per le strategie da attuare sono stati individuati in rifiuti, acqua ed energia. In particolare, le specifiche attività da ottimizzare riguardano:

- produzione e gestione dei rifiuti solidi;
- gestione della risorsa idrica;
- consumi e produzione energetica;
- qualità dell'aria atmosferica.

4.1.1 Rifiuti solidi

La corretta gestione dei rifiuti urbani, sulla base di esperienze dettate da obblighi legislativi ed incentivi economici, individua come via ottimale il sistema integrato, che prende avvio dalla riduzione dei rifiuti e prosegue con il recupero di materia e di energia, per arrivare allo smaltimento in discarica dei residui non valorizzabili altrimenti.

La direttiva Europea 2008/98/CE per la gestione dei rifiuti ha introdotto l'obbligo, per gli Stati membri, di elaborare programmi di prevenzione dei rifiuti basati sulla considerazione dell'intero ciclo di vita dei prodotti e dei materiali.

L'elemento di maggior interesse della direttiva quadro sui rifiuti è rappresentato dalla definizione, all'interno del ciclo dei rifiuti, di una gerarchia che sancisce, in base ad una scala di priorità, l'ordine secondo cui vanno intraprese le diverse azioni in materia di gestione per minimizzare le quantità prodotte e massimizzare il recupero di materiali ed energia.

Sono cinque le componenti della gerarchia dei rifiuti, rappresentabile come una piramide capovolta, disposte in ordine di priorità dall'alto verso il basso (Figura 4.3).

- Prevenzione: misure finalizzate tanto a contenere la quantità di rifiuti prodotta, quanto a minimizzare gli impatti negativi causati dai rifiuti sull'ambiente e sulla salute umana, nonché delle sostanze pericolose contenute in materiali e prodotti che un giorno inevitabilmente diventeranno rifiuto;
- Preparazione per il riutilizzo: operazioni di controllo, pulizia e riparazione grazie alle quali prodotti o parti di prodotti divenuti rifiuti possano essere reimpiegati (riutilizzati) senza alcun altro pretrattamento;
- Riciclaggio: qualsiasi azione di recupero attraverso cui i materiali di rifiuto, opportunamente trattati, possono tornare ad essere materiali, prodotti e sostanze da utilizzare di nuovo nella loro funzione originaria o per altri fini;
- Recupero di altro tipo: misure che permettono al rifiuto di svolgere un ruolo utile, in sostituzione di materie prime, come, ad esempio il recupero di energia.

- Smaltimento: tutte quelle operazioni che non consentono alcun recupero di materiale dal rifiuto. L'obiettivo è di far arrivare a questa fase la minor quantità possibile di rifiuti, meglio se prossima allo zero (zero waste).



Figura 4.3 Rappresentazione della gerarchia dei rifiuti prevista dalla Direttiva 2008/98/CE

Al fine di agevolare l'attuazione della gerarchia prevista, il D. Lgs. n. 152 del 2006, successivamente modificato dal D. Lgs. 205/2010, che ha recepito la direttiva quadro nell'ordinamento italiano, prevede che le Pubbliche Amministrazioni perseguano iniziative dirette a favorire innanzitutto la prevenzione e la riduzione della produzione e della nocività dei rifiuti, e, a seguire, la corretta gestione e la riduzione dello smaltimento finale dei rifiuti, attraverso, ad esempio, la promozione dello sviluppo di tecnologie pulite o l'adozione di misure di incentivazione economica per rendere competitivi sul mercato i materiali riciclati e la promozione delle pratiche di Green Public Procurement (acquisti verdi della pubblica amministrazione).

La gestione dei servizi di pulizia e raccolta dei rifiuti prodotti all'interno dell'Università di Salerno compete alla Fondazione Universitaria di Ateneo, che opera senza finalità di lucro nell'interesse dell'Ente di riferimento, svolgendo una serie di attività, tra cui l'acquisizione di beni e servizi alle migliori condizioni di mercato. La Fondazione affida tali servizi in convenzione a soggetti economici esterni.

Atteso che i rifiuti prodotti sono assimilati agli urbani, le operazioni di raccolta degli stessi sono condotte in opportuna coerenza con le attività di gestione dei rifiuti sull'intero territorio comunale di Fisciano.

La raccolta differenziata dei rifiuti, pertanto, effettuata nel campus dal 2012, interessa le seguenti frazioni: multimateriale riciclabile, composto da plastica e alluminio, organico, costituito da residui biodegradabili di alimenti o vegetali, vetro, carta e cartone, indifferenziato.

I dati sulla produzione di rifiuti nel campus di Fisciano sono disponibili per il periodo dal 2012, anno di avvio della raccolta differenziata, al 2015, come riportato di seguito in Figura 4.4.

C'è da osservare che:

- i dati relativi al 2012 si riferiscono ad un periodo che va dal mese di gennaio a quello di ottobre e non coprono, dunque, l'intero anno;
- i dati forniti non comprendono i rifiuti prodotti dalla Mensa universitaria, gestita dall'A.DI.SU. (Azienda per il Diritto allo Studio Universitario di Salerno).

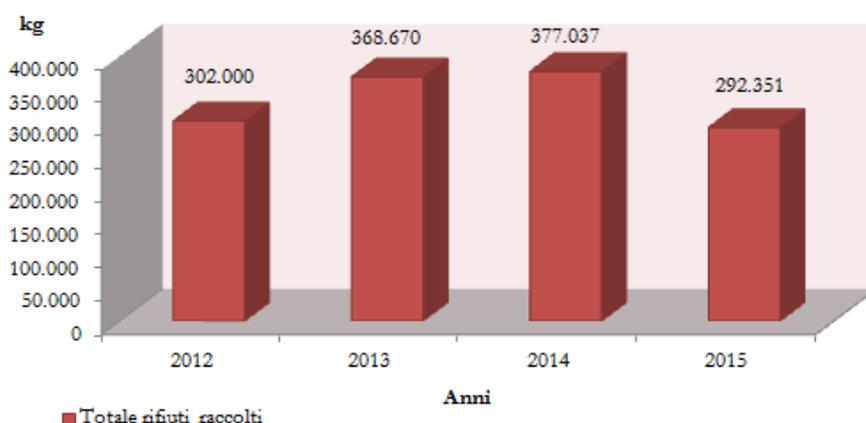


Figura 4.4 Totale rifiuti raccolti, anni 2012-2015 (Fondazione UniSa, 2016)

La produzione di rifiuti (in Figura 4.4) si attesta sulle 300 ton/anno e non appare significativamente variabile nel periodo di osservazione. La frazione indifferenziata mostra un andamento analogo al rifiuto totale (Figura 4.5).

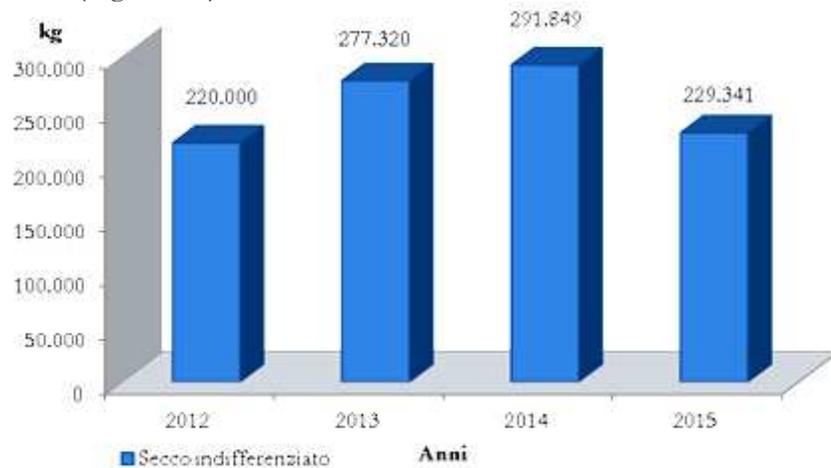


Figura 4.5 Frazione residua indifferenziata dei rifiuti raccolti, anni 2012-2015

Nonostante il quantitativo annuo di rifiuti raccolti sia essenzialmente stabile nel corso del quadriennio 2012-2015, il dato relativo alla popolazione universitaria mostra un andamento decrescente del numero complessivo degli iscritti all'Ateneo salernitano (Figura 4.6).

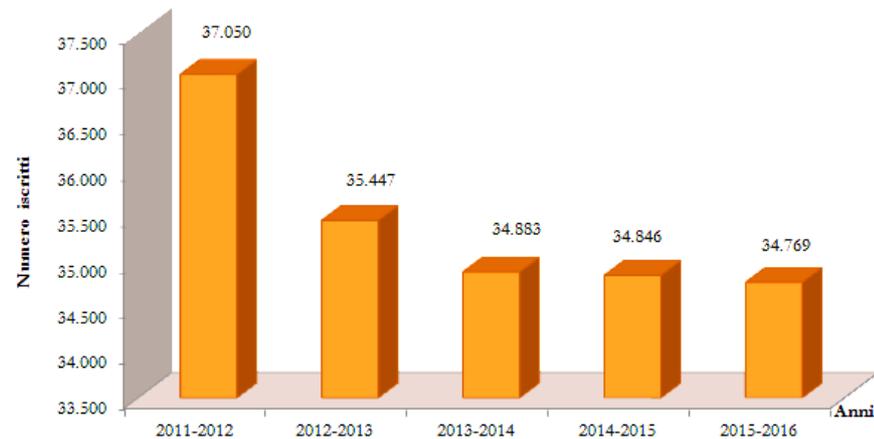


Figura 4.6 Andamento della popolazione studentesca negli anni accademici da 2011-2012 a 2015-2016 (Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca - Ufficio di Statistica)

E'plausibile che l'incremento delle superfici acquisite al Patrimonio dell'Università nel tempo abbia contribuito a determinare un incremento nella produzione di rifiuti, parzialmente compensato dalla riduzione, peraltro non drastica, del numero di utenti.

Infatti, nel caso di utenze non domestiche, il legame tra superfici e quantitativo di rifiuti prodotti consente di effettuare una quantificazione della produzione di rifiuti a partire dalla conoscenza del numero delle utenze per tipologia e delle superfici delle singole utenze.

Una stima della produzione teorica di rifiuti può essere effettuata facendo riferimento ai dati forniti dall'ANPA (2001), in relazione ad utenze non domestiche del Sud Italia con media produzione di rifiuti.

Al fine di semplificare il calcolo della produzione di rifiuti da utenze non domestiche, è stata compiuta un'aggregazione di differenti tipologie di utenze. I valori medi di produzione specifica per gruppo di utenza sono tabellati e consentono di stimare la produzione di rifiuti derivante dall'attività per tipologia di utenza non domestica, noto il numero di utenze e la superficie complessiva per tipologia di utenza.

In particolare, l'ANPA fornisce i valori di produzione specifica annuale per metro quadrato di superficie, nonché la classificazione merceologica del rifiuto generato.

Nel caso in esame, l'Ateneo di Salerno può essere raffrontato, in prima approssimazione, alla tipologia di utenza "uffici/scuole".

Di seguito, la tabella 4.1 riporta i valori di produzione specifica di rifiuti per utenze non domestiche, utili per raffrontare i valori effettivi forniti dalla Fondazione con quelli stimati.

Utenza non domestica	Produzione specifica [kg/m ² /a]
Ristorazione	33,1
Commercio alimentare	34,9
Uffici/scuole	2,9
Commercio non alimentare	13,4

Tabella 4.1 Produzione specifica di rifiuti per utenze non domestiche (ANPA, 2002)

Con riferimento ad una superficie coperta pari a circa 100.000 m², considerando solo la funzione principale degli spazi universitari (didattica-uffici), otteniamo un valore di 290.000 kg di rifiuti all'anno.

Il valore stimato risulta confrontabile rispetto al dato effettivo fornito, pari a circa 300 ton/anno.

4.1.1.1 La produzione e la gestione dei rifiuti solidi: carta, plastica, alluminio

Coerentemente con quanto rilevato per i quantitativi complessivi di rifiuti solidi, anche le quantità delle varie frazioni merceologiche intercettate risultano piuttosto stabili nel quadriennio 2012-2015, seguendo lo stesso andamento.

Il dato italiano relativo alla ripartizione percentuale tra le varie frazioni dei rifiuti differenziati avviati a riciclaggio evidenzia che la prima frazione intercettata è l'organico, con una percentuale del 39%, seguita da carta e cartone, come riportato in Figura 4.7:

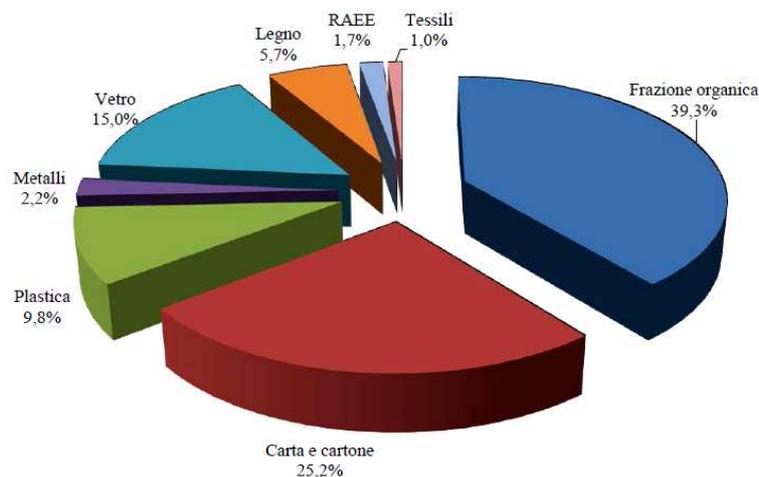


Figura 4.7 Ripartizione percentuale del quantitativo di rifiuti urbani avviato a riciclaggio, anno 2015 (Fonte: stime ISPRA)

In Campania, il tasso di raccolta differenziata nel 2015 è stato pari al 48,5% (valore in leggera crescita rispetto al 47,6% del precedente anno), mentre nella provincia di Salerno la percentuale si assesta sul 57,8% (ISPRA, 2016).

I dati relativi al campus universitario di Fisciano, invece, seppure riferiti ad una tipologia di utenza non propriamente domestica, ma solo assimilabile ad essa, mostrano una percentuale di raccolta differenziata che, mediamente, raggiunge il 23% e manifestano un trend negativo, con una diminuzione delle quantità di rifiuti intercettati nel corso del periodo esaminato.

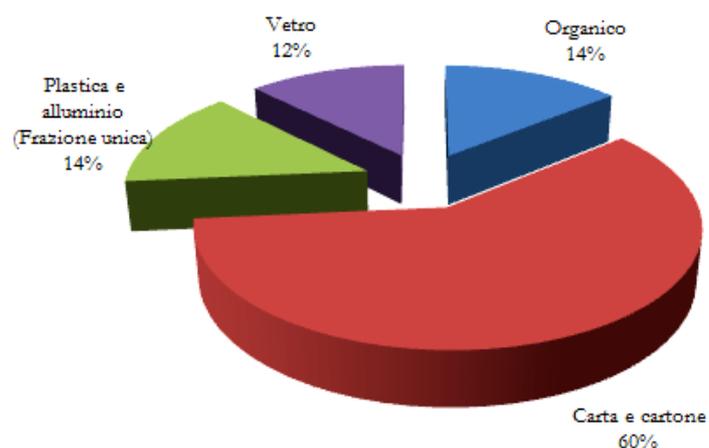


Figura 4.8 Ripartizione percentuale del quantitativo di rifiuti urbani avviato a riciclaggio nel campus di Fisciano, anno 2015

Esaminando la ripartizione percentuale media del totale dei RU prodotti negli anni 2011-2015 (Figura 4.9), emerge una percentuale molto elevata di frazione residua indifferenziata, pari al 76%.

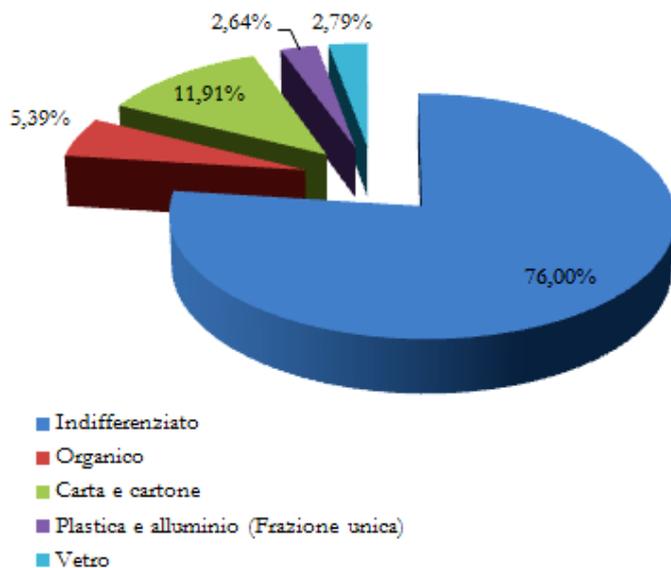


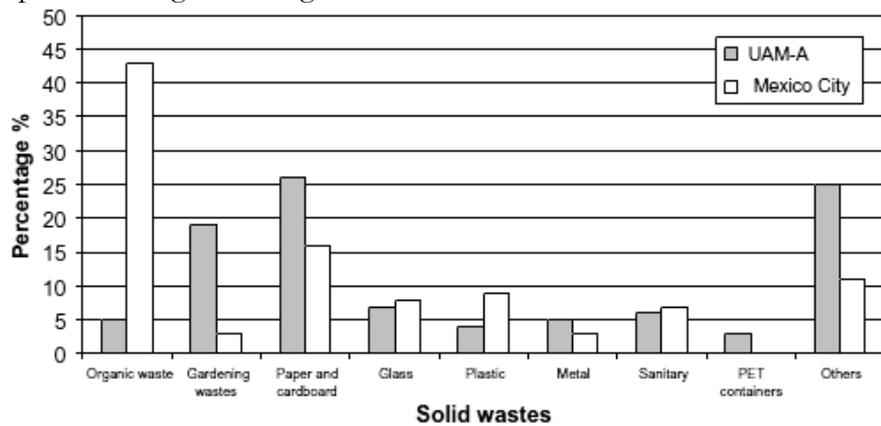
Figura 4.9 Ripartizione percentuale dei rifiuti urbani prodotti nel campus di Fisciano, anni 2011-2015

Dopo carta e cartone, che corrispondono al 12%, l'organico è la frazione maggiormente rilevante, con una percentuale in peso sul totale pari a quasi il 6%.

I dati relativi al campus di Fisciano risultano coerenti con quelli di strutture analoghe, prive di un piano di raccolta differenziata: nel caso dell'Università di Milano-Bicocca, prima del ricorso ad un sistema di gestione dei rifiuti, la carta risultava frazione prevalente, con valori medi intorno al 14,5%, seguita da plastica e metalli (7,5 per cento), vetro (3,5%) e dall'organico (1,8%), mentre la frazione residua indifferenziata rappresentava mediamente oltre il 70% del totale dei rifiuti prodotti. In seguito, negli edifici del Campus dove è stata avviata la sperimentazione di un nuovo sistema di gestione integrata, la raccolta differenziata ha raggiunto il 70%. Della frazione intercettata, la carta ha raggiunto il 50%, la plastica il 15% e il vetro il 5%. Il rifiuto indifferenziato è sceso al 30%.

Gli studi condotti presso la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM-A) in Messico hanno determinato una produzione di rifiuti urbani pari a 7,74 tonnellate/settimana, equivalenti a 0,110 kg/giorno/utente, senza considerare i dati relativi ai rifiuti organici dei punti ristoro, ma comprendendo i residui di potatura dalla manutenzione del verde (Espinosa et al., 2008).

La ripartizione percentuale tra le diverse frazioni merceologiche è riportata di seguito in Figura 4.10:



*The "organic waste" category in UAM-A does not include cafeteria residues
The "plastic" category in Mexico City includes PETE

Figura 4.10 Ripartizione percentuale dei rifiuti urbani prodotti nel campus della UAM-A e a Città del Messico (Espinosa et al., 2008)

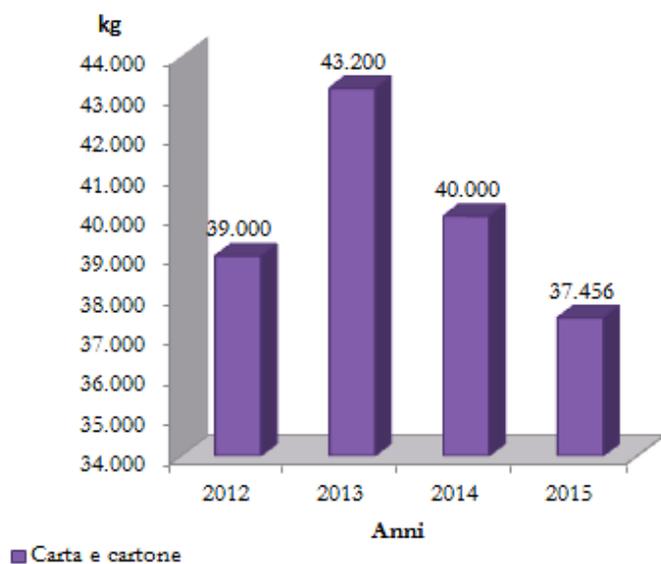


Figura 4.11 Raccolta differenziata di carta e cartone, anni 2012-2015

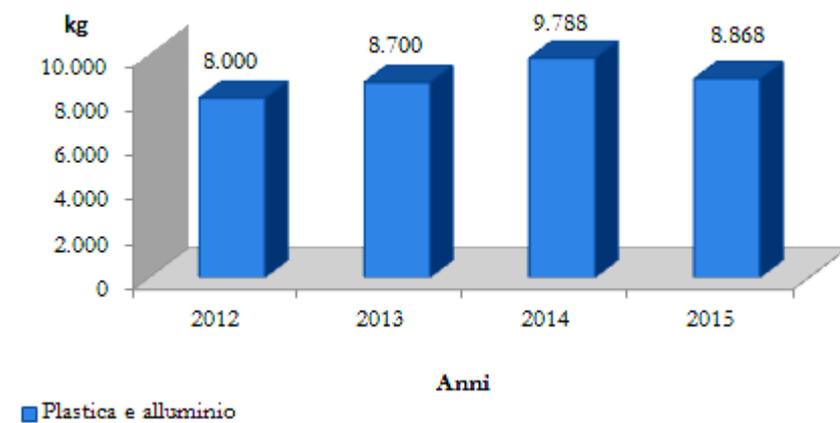


Figura 4.12 Raccolta differenziata di plastica e alluminio, anni 2012-2015

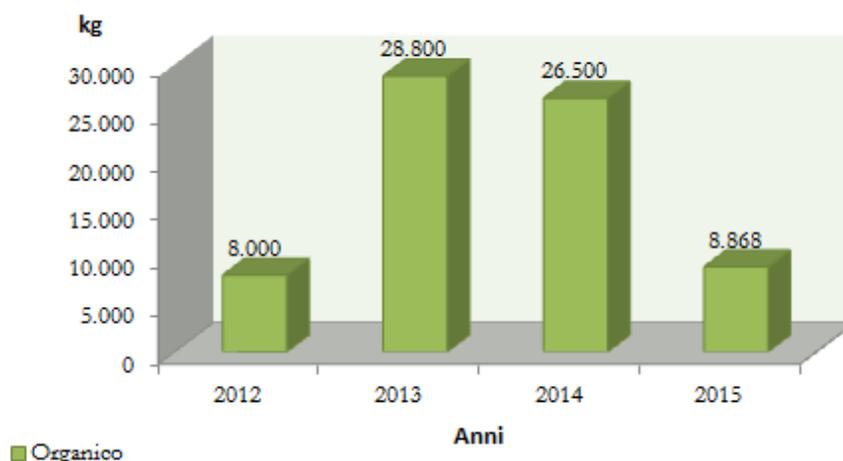


Figura 4.13 Raccolta differenziata di frazione organica, anni 2012-2015

Dagli Standard tecnici forniti dall'ANPA, si ricava una stima della ripartizione dei rifiuti tra frazioni differenti a seconda della tipologia di utenza non domestica, riportata nella sottostante Tabella 4.2:

Frazione merceologica	Ristorazione [%]	Commer. alimentare [%]	Commer. non alimentare [%]	Uffici/scuole [%]
Carta	7	10	32	41
Cartone	6	11	40	31
Organico	58	57	3	3
Plastica	4	8	19	19
Vetro	22	7	3	3
Metalli	2	3	1	1
Altro	1	4	2	2

Tabella 4.2 Produzione specifica di rifiuti per utenze non domestiche (ANPA, 2002)

I valori tabellati forniscono un elemento di confronto con i dati effettivi di ripartizione tra le categorie merceologiche, riportati a seguire nel grafico in Figura 4.14.

L'elemento più significativo è rappresentato dallo scostamento del dato relativo alla produzione di organico nel campus di Fisciano (superiore al 23%), che è molto più elevato di quello fornito dall'ANPA in Tabella 4.2, soprattutto se si considera che nei dati rappresentati graficamente

in Figura 4.14 non è compreso quello che si ritiene essere il flusso principale di rifiuti organici, derivante dall'attività di ristorazione collettiva della Mensa universitaria.

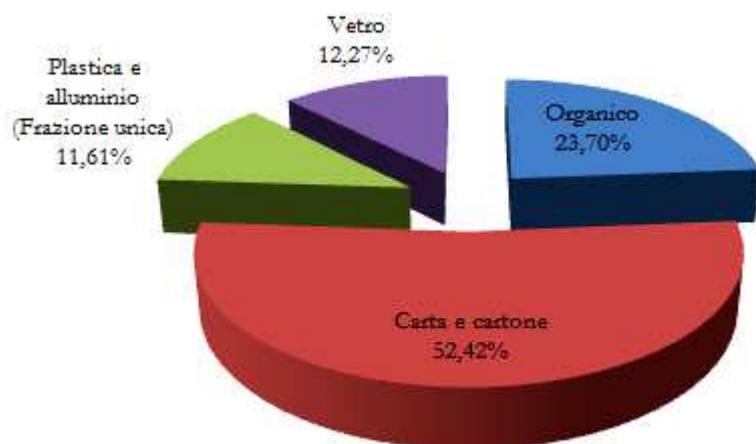


Figura 4.14 Ripartizione percentuale del quantitativo di rifiuti urbani avviato a riciclaggio nel campus di Fisciano, anni 2011-2015

4.1.1.2 I rifiuti organici: caratterizzazione ed ipotesi di gestione

La frazione organica dei rifiuti urbani rappresenta uno dei principali problemi da affrontare in un sistema integrato di gestione, in quanto:

- non è supportata da un sistema di tipo CONAI e, per l'elevata frequenza di raccolta necessaria, rappresenta in termini economici la prima voce di costo tra le diverse tipologie di raccolta differenziata, dopo la frazione residua, soprattutto nelle regioni meridionali. L'incidenza percentuale dell'organico, in termini economici, supera quella in termini di peso;
- in termini di impatto, la sua putrescibilità ne fa il primo responsabile dei percolati, delle emissioni di gas serra e dei cattivi odori nelle discariche.

Il dato nazionale pro capite di trattamento dei rifiuti organici provenienti dalla raccolta differenziata dei rifiuti solidi urbani (RSU)), nel 2014, è pari a 80 kg/abitante, con valori molto diversi nelle singole aree geografiche: 124 kg/abitante al Nord, 59 kg/abitante al Centro e 34 kg/abitante al Sud. Tali dati non sono completamente confrontabili con quelli della raccolta della frazione organica a livello territoriale.

Infatti, la scarsa dotazione impiantistica rilevata in alcune aree del Centro - Sud del Paese (205 impianti dei 308 operativi a livello nazionale sono localizzati al Settentrione) comporta la movimentazione di rilevanti quantità di rifiuti da queste aree verso gli impianti del Nord. La raccolta della frazione organica dei RSU (umido+verde), infatti, al livello nazionale raggiunge i 94 kg/abitante, con 116 kg al Nord, 92 kg al Centro e 66 kg al Sud.

Pertanto, vista la rilevanza di tale frazione e sulla base di considerazioni di opportunità e di fattibilità, per completare l'analisi sui rifiuti solidi è stata formulata un'ipotesi di trattamento dell'organico prodotto nel campus.

Allo scopo, è stata presa in considerazione la produzione di rifiuti organici della Mensa universitaria di Fisciano, che si ipotizza costituisca la maggiore aliquota del rifiuto putrescibile prodotto, valutando un'opzione di trattamento biologico, per conseguire un recupero di materia attraverso il compostaggio.

La Mensa è la principale struttura di ristorazione a servizio dell'Università degli Studi di Salerno, che è dotata anche di altri cinque punti ristoro nel campus di Fisciano, ed è amministrata in gestione diretta dall'A.DI.S.U.. Essa dispone di 1300 posti a sedere per studenti

e personale dell'Ateneo e serve un numero medio di 2000 pasti al giorno.

Non essendo stato possibile reperire il dato effettivo, per stimare il quantitativo di rifiuti organici prodotti dal servizio di ristorazione e mensa, si è proceduto ad effettuare un periodo di monitoraggio.

Dai dati forniti dall'A.DI.S.U. è stato ricavato il numero di pasti giornalieri serviti, che oscilla tra i 1500 ed i 2500 a seconda del periodo (considerando i pasti tradizionali, cioè quelli corrispondenti ad un menu completo).

Durante il corso di un anno (dati relativi all'anno 2014), infatti, si osserva una notevole variabilità mensile nel numero di pasti erogati, legata principalmente al calendario dei corsi universitari: il mese di maggior consumo è ottobre, seguito da novembre e marzo, come illustrato di seguito nella Figura 4.15.

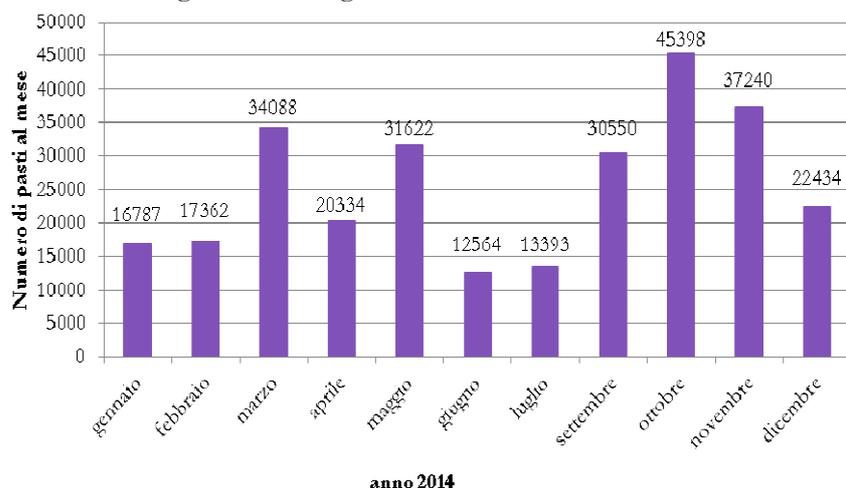


Figura 4.15 Andamento mensile del numero di pasti serviti dalla Mensa universitaria in un anno

Facendo riferimento, invece, alla variabilità del numero di pasti serviti nel corso della settimana (mese di marzo 2014), i giorni di maggiore consumo risultano solitamente il martedì ed il mercoledì; mentre quelli con minore affluenza il lunedì ed il venerdì (Figura 4.16).

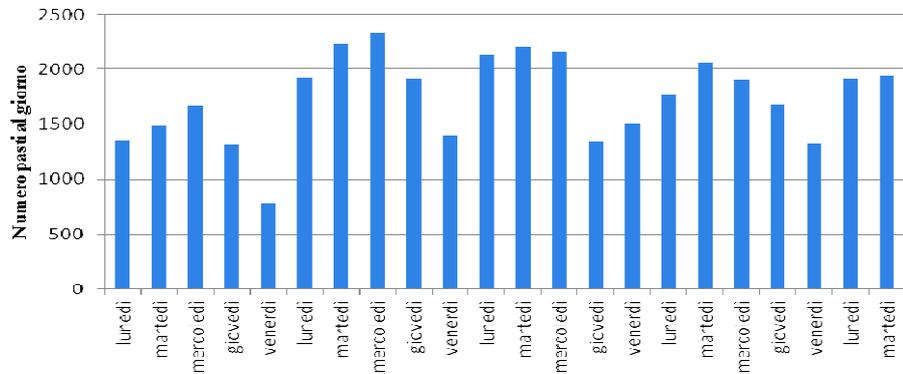


Figura 4.16 Andamento giornaliero del numero di pasti serviti dalla Mensa universitaria in un mese

L'attività di monitoraggio ha confermato l'ipotesi di variazione della produzione di rifiuti organici in relazione al numero di pasti serviti.

Studi relativi alla produzione di scarti alimentari in strutture di ristorazione collettiva hanno evidenziato che le perdite alimentari producono il terzo impatto, in ordine di rilevanza, sull'ambiente globale (Tukker et al., 2005), coinvolgendo risorse preziose quali acqua, suolo, energia.

Ciò, unitamente a considerazioni di carattere etico, ha condotto all'obiettivo di ridurre la produzione di organico alla fonte: gli scarti alimentari provenienti da un'attività di ristorazione collettiva sono stati analizzati distinguendo, in base all'origine, i rifiuti organici in diversi flussi (Betz et al., 2014):

- rifiuti derivanti dalla fase di preparazione dei pasti, le cosiddette *perdite di preparazione*;
- rifiuti costituiti dal cibo rimasto inutilizzato alla chiusura delle linee di distribuzione, detti appunto *perdite di distribuzione*;
- rifiuti provenienti dalla sala di ristorazione, cioè lasciati a fine pasto dagli utenti, che rappresentano le *perdite per preferenze*.

Le tipologie di flussi di rifiuti definite sono state separate e quantificate dal personale della Mensa attraverso il metodo della pesatura, ripartendo così gli scarti alimentari dei pasti per tipologia, come mostrato di seguito in Figura 4.17.

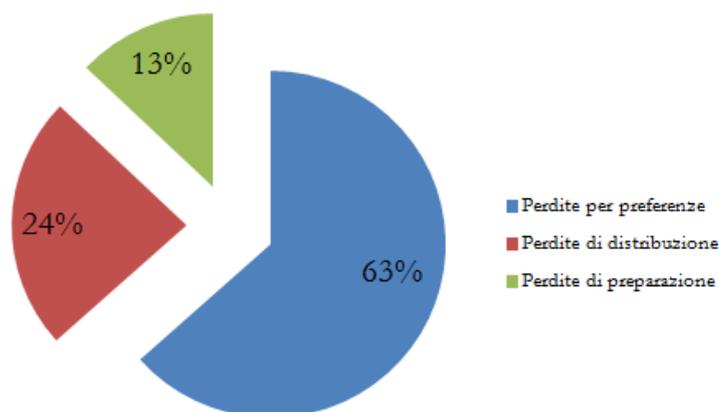


Figura 4.17 Ripartizione del totale dei rifiuti prodotti per tipologia di flusso di scarto alimentare

Le perdite per preferenze, legate ai gusti dell'utente e, pertanto, variabili con il quantitativo di pasti consumati, costituiscono, con una percentuale del 63%, l'aliquota maggiore degli scarti organici.

Le perdite di distribuzione rappresentano il 24% dei rifiuti prodotti nel periodo di monitoraggio; essendo causate da una valutazione inesatta dei quantitativi di cibo necessari, costituiscono un flusso indipendente dal variare dei pasti erogati.

Le perdite di preparazione, invece, provenendo dagli scarti di preparazione del cibo, si mantengono pressoché stabili al variare del numero di pasti serviti: rappresentano l'aliquota minore dei rifiuti organici prodotti, con una percentuale del 13 %.

Complessivamente, vengono prodotti quotidianamente circa 360 Kg di rifiuti organici, ovvero circa 1700-1800 kg di rifiuti a settimana.

Dal rapporto tra i rifiuti organici prodotti ed il numero di pasti serviti al giorno, si può stimare il quantitativo medio di rifiuti alimentari per pasto, pari a circa 180 g/pasto.

Questo risultato si colloca poco al di sotto del valore medio riscontrato in strutture analoghe, in cui si stima una produzione di rifiuti organici di circa 235 grammi/pasto, come evidenziato in Figura 4.17, ma è raffrontabile con quello relativo ad attività di ristorazione, quali la mensa dell'ENEA, che potrebbero avere un'utenza con caratteristiche analoghe a quella universitaria (ENEA, 2006).

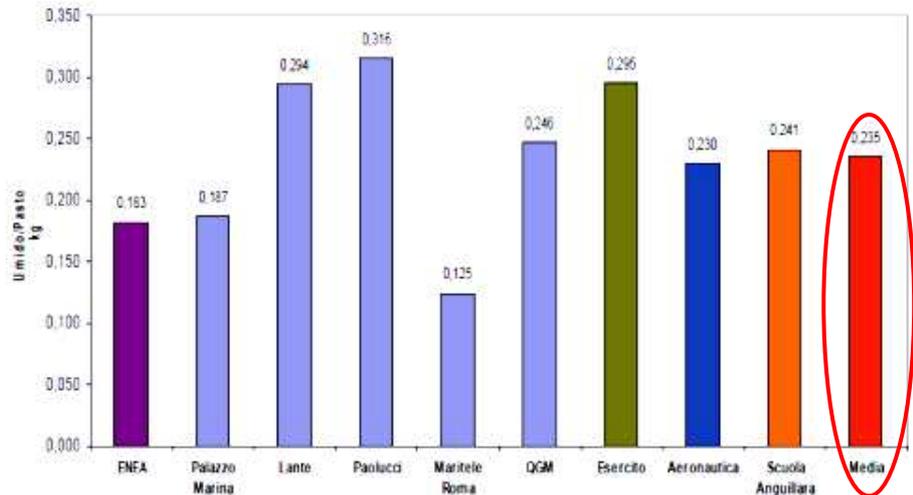


Figura 4.18 Produzione di rifiuti organici per pasto servito in varie mense (ENEA, 2006)

La conoscenza della qualità del rifiuto è necessaria per individuare correttamente il sistema di trattamento più valido, pertanto la frazione organica prodotta dalla Mensa è stata caratterizzata attraverso un'analisi merceologica, seguita da una chimico-fisica.

Le fasi di analisi sono state precedute da un'indagine preliminare sulla raccolta e produzione dei rifiuti.

Il materiale organico, raccolto in sacchetti di plastica, viene collocato in bidoni carrellati da 240 litri nell'isola ecologica della mensa, da cui viene prelevato dalla società che gestisce il servizio di raccolta differenziata e trasporto con una frequenza di 3 volte/settimana.

La produzione dei rifiuti presenta una variabilità mensile in funzione delle attività accademiche ed una settimanale, legata alle abitudini degli utenti.

L'analisi merceologica della frazione organica è stata effettuata secondo la metodologia sviluppata dalla Regione Veneto (Metodica in Allegato B alla D.G.R. n. 568 del 25 febbraio 2005 - Metodo per l'analisi merceologica e di laboratorio della FORSU), che può essere schematizzata con il seguente diagramma di flusso:

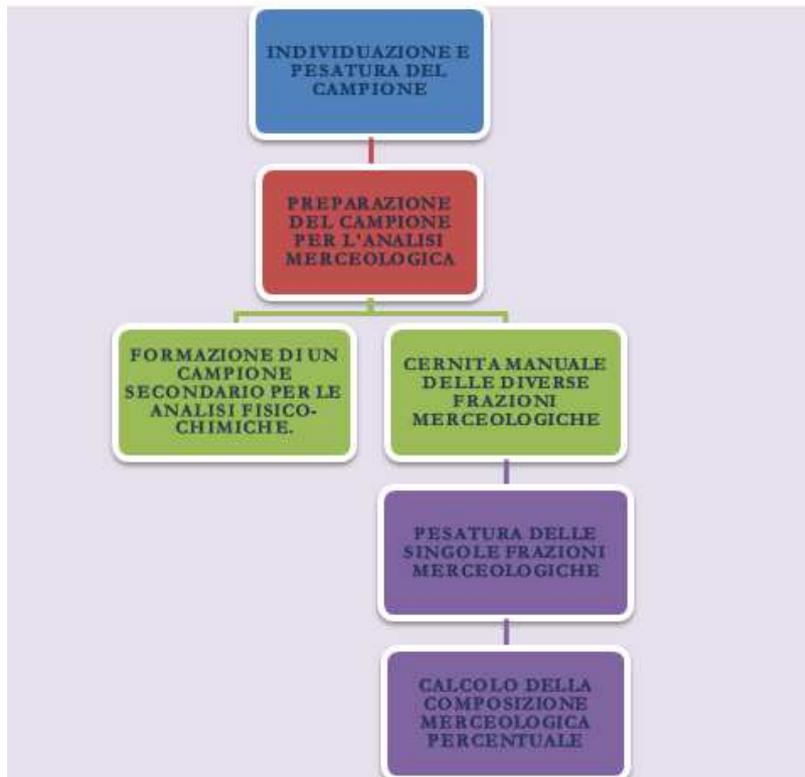


Figura 4.19 Diagramma di flusso dell'analisi effettuata sulla FORSU

Il metodo si basa sulla separazione manuale e sulla pesatura delle diverse delle diverse classi di materiali presenti all'interno del campione estratto dal lotto di rifiuti da analizzare.

Rispetto alle procedure di campionamento proposte, è stata seguita quella relativa all'ipotesi di campionamento in impianto, le cui variabili sono:

- tipologia di materiale;
- modalità di conferimento del rifiuto, se sfuso o in sacchetti (biodegradabili o in polietilene);
- dimensioni del conferimento.

La modalità di prelievo ed il peso minimo del campione da sottoporre ad analisi merceologica sono stati fissati in relazione al peso del lotto iniziale di materiale.

Il campionamento è stato effettuato utilizzando il metodo stocastico, considerato che:

- i rifiuti sono contenuti in sacchetti di polietilene ancora integri prima del loro conferimento in piattaforma;
- la dimensione del lotto da analizzare, costituito da sei bidoni carrellabili da 240 litri, è inferiore ad una tonnellata.

Dal contenuto di due bidoni di frazione organica dell'isola ecologica si è ricavato il campione da sottoporre ad analisi merceologica, del peso complessivo di 187,60 kg.

Conclusa la fase di individuazione e pesatura, si è effettuata la cernita manuale delle diverse frazioni, suddividendo il materiale in 2 classi omogenee, in base alla tipologia di trattamento previsto:

- Materiale Compostabile (MC);
- Materiale Non Compostabile (MNC).

La prima classe comprende le seguenti frazioni compostabili:

- carta e cartone;
- organico (residui verdi e scarti alimentari);
- sacchetti biodegradabili.

Alla seconda classe, invece, appartengono le seguenti frazioni non compostabili:

- plastiche (in film, rigide, flessibili);
- vetro;
- metalli;
- materiali inerti;
- altro.

Il valore percentuale del materiale non compostabile è dato dal rapporto tra il peso del materiale non compostabile ed il peso del materiale totale, secondo la formula:

$$\text{MNC} = \frac{\text{PNC}}{\text{PT}} \times 100$$

dove:

- MNC = Materiale non compostabile espresso in % sul tal quale (s.t.q.);
- PNC = Peso in kg delle frazioni non compostabili;
- PT = Peso totale in kg della FORSU analizzata (somma dei pesi delle singole frazioni: può essere inferiore al peso iniziale del campione, a causa dell'evaporazione durante la cernita o per la perdita di materiale di piccole dimensioni).

La percentuale di materiale compostabile, invece, si ottiene dalla formula seguente:

$$MC = \frac{PC}{PT} \times 100$$

dove:

- MC = Materiale compostabile espresso in % sul tal quale (s.t.q.)
- PC = Peso in kg delle frazioni compostabili.

La classificazione qualitativa della FORSU può essere eseguita sia in base al contenuto di materiale compostabile che a quello di materiale non compostabile. In entrambi i casi si individuano 3 classi di qualità (A, B e C), come illustrato dalla Tabella 4.3, in riferimento al materiale compostabile:

Parametro	Unità di misura	Classe A	Classe B	Classe C
Materiale compostabile (MC)	% s.t.q	>98	96-98	<94

Tabella 4.3 Classi di qualità per il materiale compostabile (Bollettino Ufficiale della Regione Veneto, 2005)

La percentuale di materiale compostabile (MC) nel campione è risultata pari al 99,63%: il rifiuto organico in esame rientra nella classe di qualità A, la più alta tra quelle previste dalla Metodologia di analisi.

I risultati dell'analisi merceologica, riportati in termini percentuali, mostrano che, sul totale delle frazioni identificate, l'organico rappresenta il 92,47%, la carta e il cartone il 7,16%, la plastica lo 0,26%, e la categoria "altro" lo 0,12% (Figura 4.20).

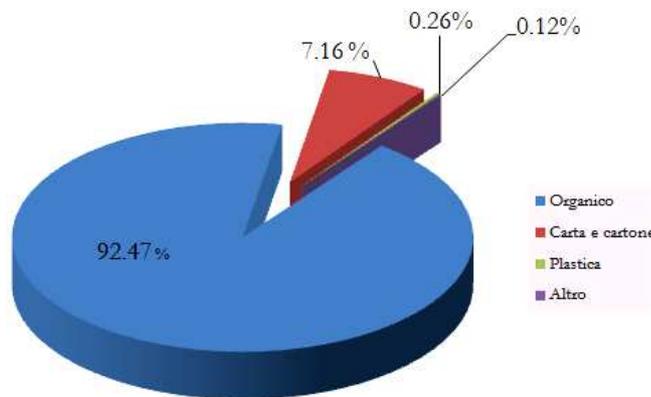


Figura 4.20 Composizione merceologica percentuale del campione di rifiuto organico analizzato

In seguito, sono state eseguite analisi fisico-chimiche per la determinazione del contenuto di solidi volatili e di umidità, essenziali nella valutazione dell'idoneità del rifiuto al processo di compostaggio: le proporzioni relative delle due componenti influenzano l'attività biologica responsabile della degradazione della sostanza organica e le condizioni di aerobiosi necessarie perché la stessa abbia luogo.

Dal campione fresco tal quale di 2,200 kg, conservato a 4°C fino al momento dell'utilizzo e mescolato manualmente allo scopo di ottenere un materiale il più possibile omogeneo, sono stati prelevati tre subcampioni A, B, C dal peso di circa 100-200 g ognuno, secondo quanto previsto dalla norma UNI 10780:1998, in modo che fossero rappresentativi della massa totale.

Essi sono stati alloggiati in appositi contenitori e sottoposti alle analisi in accordo alla norma UNI/TS 11184/2006. Le prove sono state eseguite su tre repliche, selezionando il dato finale come media dei risultati ottenuti sui tre subcampioni.

Il risultato mostra che il rifiuto è caratterizzato da un tenore di umidità del 78% e da un contenuto del 22% di solidi totali e di solidi volatili pari al 94%.

Confrontando i risultati ottenuti con valori di letteratura riferiti a rifiuti organici di strutture analoghe, si evince che il contenuto di solidi totali nel campione tal quale e la percentuale di solidi volatili sulla sostanza secca rientrano nel range di valori comunemente riscontrati (Cecchi et al., 2003).

Parametro	Unità di misura	Range	Valore tipico	Rif.
ST	(%)	21,4-27,4	25,6	ANPA, 2002
SV	(%s.s.)	91,3-99,7	96,5	ANPA, 2002
U	(%)	/	81.09	Fantozzi et al., 2011

Tabella 4.4 Caratteristiche della frazione organica proveniente da strutture di ristorazione collettiva

L'opzione più diffusa per il trattamento di un rifiuto organico selezionato alla fonte è rappresentata dai processi biologici.

Si è ipotizzato, quindi, per i rifiuti organici della Mensa, il ricorso al compostaggio, una delle operazioni di recupero indicata nell'Allegato C al D. Lgs 152/06: *riciclo/recupero delle sostanze organiche non utilizzate come solventi, comprese le operazioni di compostaggio e altre trasformazioni biologiche (R3)*.

Nel caso in esame, si è ipotizzato di realizzare un “compostaggio di comunità” attraverso l'utilizzo di un compostatore elettromeccanico.

Il compostaggio di comunità è una forma di compostaggio effettuato collettivamente da una o più utenze, domestiche e non, della frazione organica dei rifiuti prodotti dalle medesime, al fine dell'utilizzo del compost prodotto da parte delle utenze conferenti.

Questo processo si inserisce tra il compostaggio a scala industriale, in cui la frazione umida raccolta in maniera differenziata viene processata con diverse tipologie di trattamento (cumuli, bioreattori), ed il compostaggio domestico, definito nell'ultima revisione del D. Lgs. 152/2006 (art.183) come “autocompostaggio”, ovvero *il compostaggio degli scarti organici dei propri rifiuti urbani, effettuato da utenze domestiche, ai fini dell'utilizzo in sito del materiale prodotto*.

Dal punto di vista tecnologico i compostatori elettromeccanici sono impianti in cui il processo aerobico viene mantenuto e accelerato da un continuo apporto d'aria e rivoltamento della massa, attraverso un sistema di ventilazione forzata e grazie all'azione di un cilindro rotante o attraverso bracci meccanici in movimento. La capacità di trattamento può arrivare a 100 tonnellate/anno ed è necessaria l'aggiunta di materiale assorbente e strutturante ricco di carbonio, come segatura o pellet, forniti in automatico o aggiunti manualmente da un operatore.

Una criticità che interessa tutte le attività di compostaggio è l'impatto odorigeno, dovuto allo scarico in atmosfera di aria calda (circa 50°C) ricca di CO₂ con presenza di ammoniaca, che viene trattata con l'installazione a valle di piccoli biofiltri.

Nota la produzione media settimanale di rifiuti organici, pari a circa 1800 Kg, si è effettuato un predimensionamento di massima di un compostatore elettromeccanico a servizio della Mensa.

Il processo di compostaggio si svolge attraverso una prima fase di bioossidazione accelerata, in cui l'apporto di ossigeno alla massa viene assicurato mediante rivoltamento e aerazione, e, a seguire, una fase di maturazione.

Quest'ultima fase deve avvenire in un'area coperta da una tettoia, possibilmente in una zona limitrofa al compostatore, dotata di box in cui lasciar stabilizzare il compost periodicamente prodotto, prima di renderlo disponibile all'uso.

Generalmente, per attivare un buon processo biologico, sono necessarie dalle 8 alle 12 settimane, durante le quali il materiale interno al compostatore viene ispezionato regolarmente, per verificare l'andamento del processo.

Il compost ottenuto deve essere sottoposto a vagliatura per eliminare eventuali materiali estranei, come residui di vetro o plastica e può essere successivamente usato come fertilizzante in loco, previa caratterizzazione qualitativa volta alla verifica del rispetto dei parametri di legge.

Si è ipotizzata l'installazione dell'apparecchio elettromeccanico e dei box per la maturazione del compost nell'area di servizio alle spalle della Mensa, facilmente accessibile dal personale e già attualmente utilizzata per la collocazione dei contenitori dei rifiuti.

Questa ipotesi richiede il rispetto delle prescrizioni fissate per gli impianti di trattamento e recupero rifiuti dalla normativa regionale attraverso la D.G.R. n. 1411 del 27.07.2007 (modifica della D.G.R. n. 778 dell' 11.05.2007), avente ad oggetto "Procedure amministrative per il rilascio dell'autorizzazione unica per gli impianti di smaltimento e di recupero rifiuti".

La normativa stabilisce una serie di prescrizioni cui ottemperare: la separazione delle aree di stoccaggio dei rifiuti da quelle utilizzate per le materie prime, l'impermeabilità della superficie del settore di conferimento e di quella di lavorazione, la dotazione di adeguati sistemi di raccolta per eventuali sversamenti accidentali dei reflui.

Una valutazione economica della soluzione ipotizzata e del conseguente costo di trattamento dell'organico della Mensa, comporta la stima dei costi necessari per l'investimento iniziale e per la successiva fase di gestione.

Non essendo previste spese di progettazione, né di formazione del personale, la maggiore voce di costo dell'investimento riguarderebbe l'acquisto della macchina operatrice con le relative forniture elettromeccaniche.

Sommando la quota di ammortamento dei costi di investimento con i costi di gestione, si otterrebbe un costo di trattamento stimabile in circa 25.000 €/anno.

In base ai valori di produzione media giornaliera di rifiuti organici e ad un periodo di attività di 250 giorni all'anno, si può stimare una produzione di 90 t/anno, il cui costo di raccolta e trattamento nei circuiti oggi seguiti, facendo riferimento ad un valore medio per la regione Campania di 150 €/t, risulta pari a circa 13.500 €/anno.

Il costo annuo di trattamento dei rifiuti organici, nell'ipotesi di ricorso ad un compostatore elettromeccanico, risulterebbe quasi il doppio di quello effettivo stimato.

4.1.1.3 Criticità ed ipotesi di miglioramento delle prestazioni

L'opzione di ricorso al compostaggio di comunità, sulla base del predimensionamento di massima effettuato, risulta all'attualità poco conveniente economicamente, pur rappresentando un'ipotesi valida da un punto di vista etico ed ambientale. L'elemento che incide maggiormente sulla spesa è il costo dell'investimento iniziale per l'acquisto del sistema di trattamento e l'adeguamento funzionale dell'attuale isola ecologica a servizio della Mensa.

Inoltre, il periodo necessario per l'ammortamento dei costi rischia di coincidere con la durata di vita utile della macchina di trattamento.

Tuttavia, una riduzione dei costi d'acquisto delle apparecchiature elettromeccaniche o l'introduzione di forme di incentivazione economica da parte istituzionale, in analogia agli strumenti resi disponibili per l'incremento del ricorso a fonti energetiche rinnovabili o per l'efficientamento energetico, rappresenterebbero un volano per la realizzazione di ipotesi di questo tipo.

L'uso del compost autoprodotta, inoltre, chiudendo il ciclo dei rifiuti in loco, avrebbe il pregio di contribuire a sensibilizzare l'utenza coinvolta,

accrescendo il senso di responsabilità e fornendo un contributo alla promozione della raccolta differenziata, che mediamente raggiunge appena il 23% nel campus di Fisciano.

Il problema principale è l'assenza di un piano di raccolta differenziata, che nel campus viene effettuata solo attraverso la fornitura di contenitori distinti per le diverse frazioni, collocati presso punti ristoro, aree comuni o spazi di circolazione, utilizzati tuttavia dall'utenza in maniera indistinta, rendendo il rifiuto raccolto, nei fatti, indifferenziato.

La predisposizione di piani di intervento strutturali o programmi mirati al coinvolgimento dell'utenza anche attraverso singole iniziative, permetterebbero di raggiungere gradualmente valori di efficienza molto maggiori, come testimoniano le esperienze condotte in casi analoghi.

Un'ipotesi di riduzione alla fonte dei rifiuti organici, invece, potrebbe essere conseguita attraverso un'ottimizzazione del servizio di ristorazione collettiva effettuato dalla Mensa, intervenendo sulla quota principale di scarto alimentare, la rimanenza di cibo alle linee di distribuzione, con una valutazione più accurata dei quantitativi da servire.

4.1.2 Risorsa idrica

4.1.2.1 Analisi dei consumi idrici

L'analisi dei consumi idrici del campus di Fisciano è stata effettuata sulla base dei dati forniti dall'Ufficio Tecnico di Ateneo, che si riferiscono al consumo idrico da rete di distribuzione nel periodo dal 2007 al 2015.

I consumi della maggior parte delle strutture del campus sono rilevati da un operatore, con cadenza semestrale per motivi contabili, attraverso un unico contatore, individuato come utenza “campus di Fisciano”, in cui sono comprese funzioni eterogenee: edifici destinati alla didattica, uffici amministrativi, biblioteca del Polo umanistico, teatro d'Ateneo ed alcuni laboratori.

Va evidenziato che in questo dato non sono compresi i consumi idrici della Mensa centrale, facenti capo all'A.Di.SU.

Il dato di consumo medio annuo del campus principale, pari a 115.687 m³ nell'intervallo di tempo considerato, mostra un trend non sempre regolare (Figura 4.21).

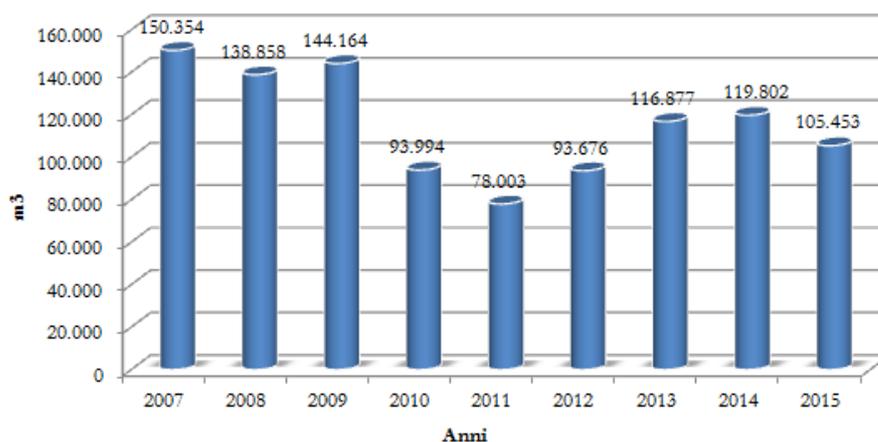


Figura 4.21 Consumi idrici del campus di Fisciano, anni 2007-2015

Rapportando il dato annuo con il numero di giorni lavorativi (circa 250), si ottiene un consumo idrico giornaliero effettivo del campus pari

a circa 463 m³/giorno, valore suscettibile, tuttavia, di notevoli oscillazioni a seconda del periodo dell'anno e del calendario delle attività accademiche.

Infatti, l'andamento mensile dei consumi idrici presenta una spiccata variabilità nel corso dell'anno, come risulta dal grafico riportato di seguito, in Figura 4.22, in relazione all'ultimo anno del periodo di riferimento esaminato, il 2015.

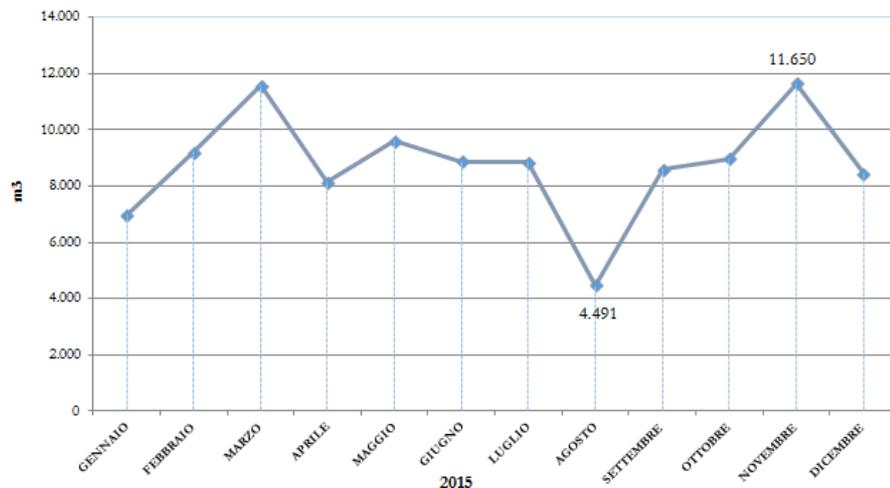


Figura 4.22 Consumi idrici mensili del campus di Fisciano nell'anno 2015

Per ridurre i consumi energetici l'Ateneo, a partire dalla fine del 2012, ha scelto di osservare una settimana di chiusura durante i mesi di agosto e dicembre, periodi in cui si ha già un'affluenza estremamente ridotta, conseguendo notevoli risparmi. Questa è la ragione per cui il dato minimo mensile è rilevabile sempre ad agosto, mentre il picco di massimo consumo risulta variabile tra i mesi, a seconda delle condizioni contingenti: nell'anno 2015, ad esempio, si verifica a novembre, periodo coincidente con la massima affluenza dell'utenza studentesca.

Per confrontare i dati di consumo idrico con quelli di strutture analoghe, si può ricorrere ad una valutazione parametrica: il valore può essere normalizzato rispetto al singolo utente o all'unità di superficie, calcolando i corrispondenti consumi specifici per studente o per metro quadrato.

Il numero medio di iscritti all'Università degli Studi di Salerno nel periodo esaminato è pari a 35.836 unità, corrispondenti al 95,8% degli utenti totali (personale interno e studenti), mentre il personale docente

e tecnico-amministrativo, con 1.556 unità, rappresenta solo il 4,2% del totale (Figura 4.23).

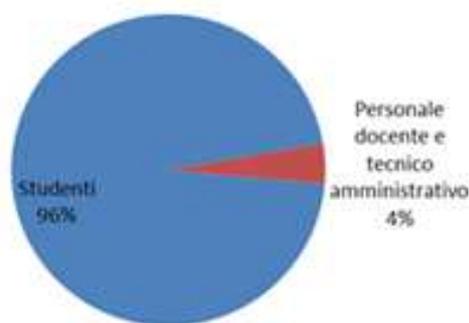


Figura 4.23 Ripartizione percentuale degli utenti del campus di Fisciano tra studenti e personale.

Dal momento che l'utenza universitaria, costituita da personale interno, visitatori e studenti, è rappresentata principalmente da questi ultimi, si è ritenuta accettabile l'approssimazione commessa nel considerare il numero di utenti complessivamente coincidente con quello degli studenti, bilanciando in tal modo anche le fluttuazioni delle presenze nel campus, legate principalmente al calendario accademico.

Il consumo idrico annuo da rete di distribuzione, pertanto, risulta di 3,23 m³/anno per utente.

Mettendo in relazione i consumi idrici annui rilevati nel periodo 2007-2012 con il numero di studenti iscritti nei corrispondenti anni accademici, si ricava (Figura 4.24) un andamento generalmente coerente, fatta eccezione per il 2009 e per gli ultimi due anni di valutazione, in cui i consumi appaiono in aumento, nonostante una diminuzione del numero di iscritti. Ciò potrebbe essere ascrivibile ad un incremento delle superfici acquisite nel periodo al Patrimonio dell'Università, elemento che determinerebbe, a parità di utenti, un consumo idrico maggiore.

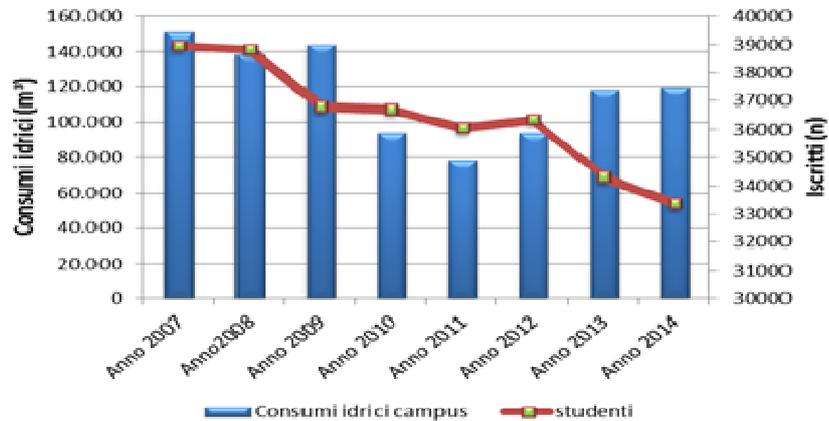


Figura 4.24 Consumi idrici del campus rispetto al numero d'iscritti, anni 2007-2014

Il consumo idrico specifico, calcolato in riferimento al numero medio di iscritti, risulta pari a $0,013 \text{ m}^3/(\text{studente} \cdot \text{d})$, dato teorico, che non rispecchia la fluttuazione della domanda, legata principalmente ai mesi in cui si tengono i corsi universitari: negli altri periodi, il numero medio di studenti che frequentano quotidianamente il campus è approssimabile ad un 30% del totale degli iscritti.

Il consumo idrico può essere normalizzato anche valutando il dato medio per unità di superficie.

Nel calcolo si è fatto riferimento alla superficie complessiva di piano delle strutture del campus, pari a circa 220.444 m^2 , trascurando le aree verdi, che non incidono sui consumi da rete, dal momento che l'irrigazione viene effettuata ricorrendo ad altre fonti di approvvigionamento.

Sotto queste ipotesi, il consumo idrico specifico per unità di superficie risulta di $0,0021 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, anche se va evidenziato che nei consumi da rete di distribuzione non è compreso il contributo fornito dalla Mensa centrale, per mancanza di disponibilità dei dati.

La scarsità di contatori a servizio degli edifici del campus, dei quali quasi nessuno è dotato di proprio misuratore, e la commistione tra differenti destinazioni in numerose strutture (per esempio, tra didattica e uffici amministrativi in *stecche* ed *invarianti*) non hanno consentito di effettuare una valutazione dei consumi per funzione nei differenti plessi.

Tuttavia, sono stati analizzati nel dettaglio i dati di consumo idrico disponibili per alcune tipologie di utenze, contabilizzati separatamente per ragioni amministrative nel periodo 2012-2015:

- punti ristoro;
- residenze universitarie;
- impianti sportivi;
- Biblioteca Tecnico-Scientifica;
- utenze dotate di un proprio contatore, denominate di seguito come “uffici”, in quanto destinate a servizi no-core: posto di Polizia, presidio sanitario, Banca, Fondazione Universitaria.
- terminal bus.

La Figura 4.25 rappresenta la ripartizione percentuale dei consumi idrici da rete di distribuzione tra le strutture dotate di proprio contatore.

Il dato medio annuale di consumo nel periodo in esame è pari a 142.993 m³, di cui la quota maggiore è utilizzata dal **campus di Fisciano** (76,31%), con 109.120 m³ all’anno.

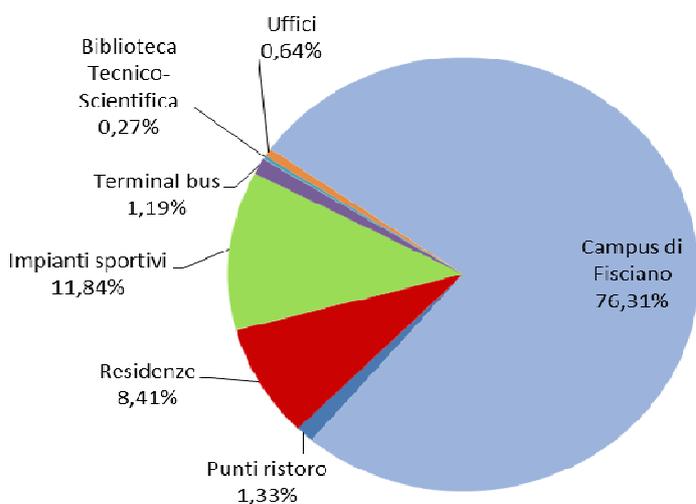


Figura 4.25 Ripartizione percentuale dei consumi idrici tra strutture

Come precedentemente esposto, in questo valore sono compresi, oltre ai consumi delle strutture dedicate all’attività didattica ed agli uffici amministrativi universitari, anche quelli della biblioteca del Polo Umanistico, di alcuni laboratori e di altre utenze: la presenza di un

unico contatore non consente una ripartizione più dettagliata del dato complessivo in base agli usi finali.

Un'altra aliquota considerevole, la seconda in ordine di importanza (pari all'11,8% del totale), è da attribuire agli **impianti sportivi** presenti nel campus, principalmente alla piscina semiolimpionica e, in misura di gran lunga inferiore, alla sede del C.U.S. (Centro Universitario Sportivo).

Il C.U.S. è un ente di promozione sportiva senza fini di lucro, che gestisce in regime di convenzione gli impianti sportivi di proprietà dell'Università degli Studi di Salerno.

La Figura 4.26 mostra che i consumi idrici del C.U.S., relativi sia alla sede amministrativa che allo spogliatoio a servizio dei vari campi attrezzati, influiscono sul totale solo per il 14 %, risultando minori anche dei consumi dei soli servizi della piscina.

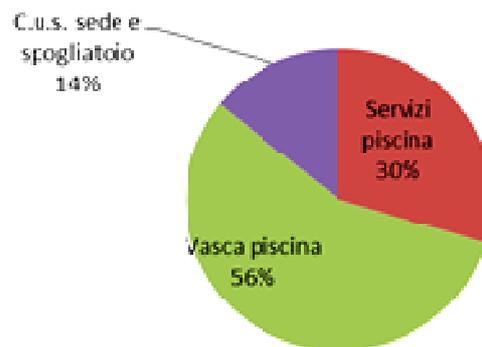


Figura 4.26 Ripartizione percentuale dei consumi idrici tra gli impianti sportivi

I notevoli consumi idrici della piscina (in media circa 15.000 m³ all'anno) sono riconducibili a due quote: una principale dovuta al ricambio dell'acqua in vasca per ottemperare alle prescrizioni normative igienico sanitarie ed una, minore, destinata ai servizi utilizzati dagli utenti (spogliatoi, docce e servizi igienici) ed alla manutenzione della struttura.

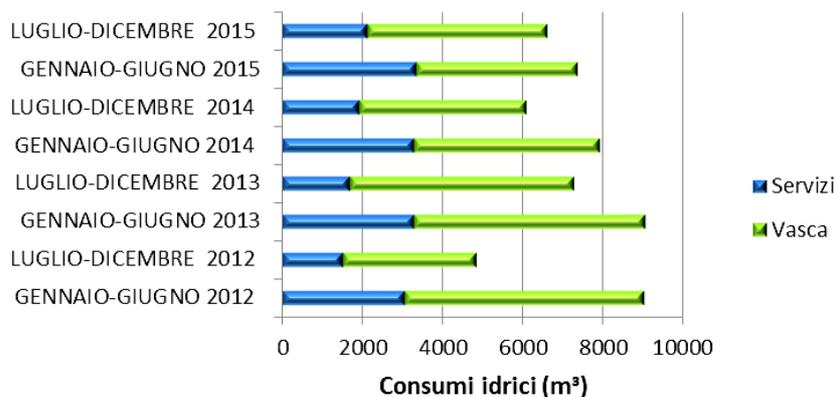


Figura 4.27 Consumi idrici della piscina del campus, distinti tra vasca e servizi.

La Figura 4.27 evidenzia che i consumi idrici legati alla vasca si mantengono pressoché costanti in tutto il periodo considerato, a differenza di quelli dovuti ai servizi, che risultano maggiori nel primo semestre dell’anno, dal momento che l’affluenza degli utenti diminuisce nella stagione estiva, coincidente con il secondo semestre.

Il Campus di Fisciano è dotato dal 2009 di un complesso di **residenze universitarie** per studenti e docenti.

L’azienda che gestisce i servizi abitativi è l’A.Di.S.U. (Azienda per il Diritto allo Studio Universitario).

Al primo complesso di residenze, dotato di 282 posti letto, è seguita la realizzazione di un secondo lotto, attivo dal dicembre 2014, con ulteriori 240 posti letto e la ristrutturazione di “Palazzo Barra” a Penta per 24 ospiti.

I consumi idrici delle residenze universitarie presentano una netta differenza tra il primo ed il secondo semestre, indipendentemente dall’anno considerato (Figura 4.28): il consumo nel periodo gennaio-giugno è maggiore che nel secondo semestre, dal momento che le presenze complessive vanno gradualmente riducendosi da giugno in poi, fino al mese di agosto in cui gli alloggi non sono occupati, salvo rare eccezioni (i contratti di locazione hanno durata da ottobre a luglio).

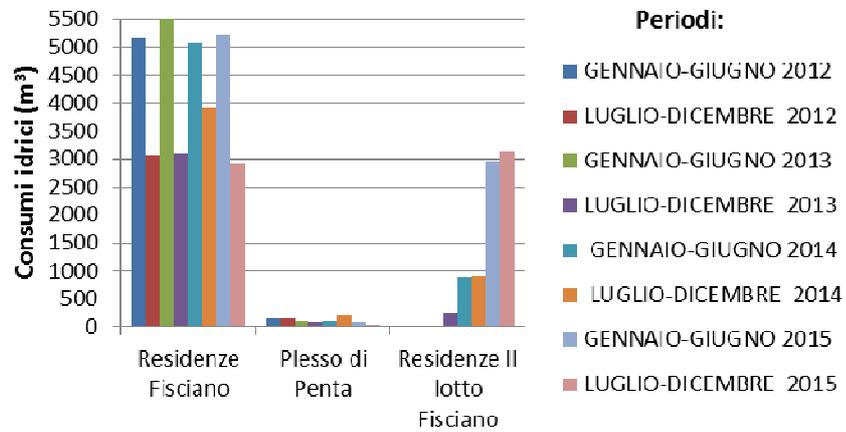


Figura 4.28 Consumi idrici delle residenze universitarie

I punti ristoro e le utenze esterne (*uffici*) utilizzano rispettivamente l'1,3% e lo 0,7 % del totale.

Nel campus di Fisciano sono presenti cinque **punti di ristoro**, che offrono prodotti da bar, articoli di rosticceria, pasticceria e panini; due di essi somministrano anche pasti caldi e freddi al tavolo o con una linea self.

Ovviamente, i consumi idrici maggiori sono riconducibili ai punti ristoro che offrono più servizi.

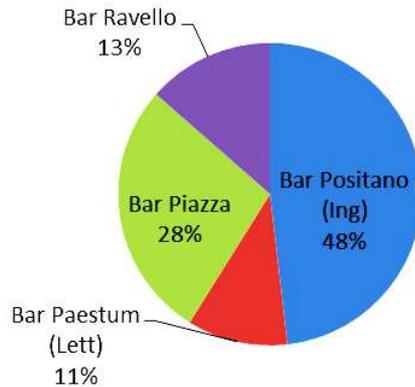


Figura 4.29 Ripartizione percentuale dei consumi idrici tra i punti ristoro del campus

Sotto il termine "*uffici*" sono state raggruppate varie utenze esterne in regime di convenzione con l'Università: lo sportello bancario Unicredit, il Consorzio Osservatorio dell'Appennino Meridionale, l'Ufficio

postale, il Presidio sanitario, la Polizia di Stato, la sede dell'A.Di.S.U. e quella della Fondazione Universitaria.

In Figura 4.30 è stato riportato il consumo idrico percentualmente ripartito tra le diverse utenze in convenzione, nel periodo 2012-2015.

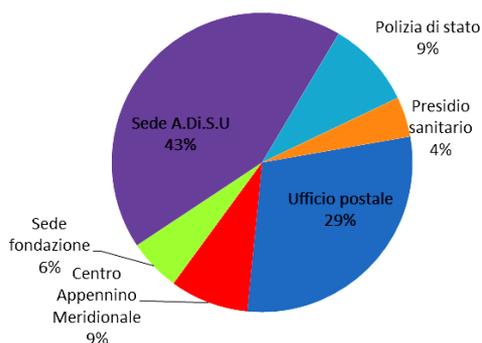


Figura 4.30 Ripartizione percentuale dei consumi idrici tra le utenze esterne in convenzione

La quota maggiore è utilizzata dalla sede dell'A.Di.S.U. (42,9%), ubicata in un edificio di dimensioni maggiori rispetto agli altri.

La sede della Polizia di Stato (9,4%), il Centro Appennino Meridionale (8,4%), la sede della Fondazione (5,6%) ed il Presidio sanitario (4,3%) mostrano consumi simili.

Il dato relativo all'Ufficio postale, anomalo considerate le dimensioni ed il numero di addetti, (Figura 4.31) è dovuto ad una perdita che si è protratta per un periodo significativo, determinando un picco di consumo nel secondo semestre del 2013.

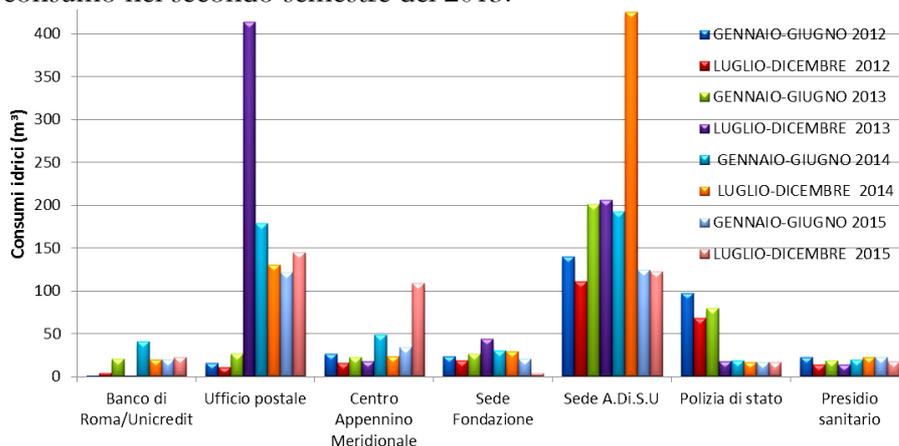


Figura 4.31 Consumi idrici delle utenze esterne

La **Biblioteca Tecnica-Scientifica**, dotata di 540 postazioni, utilizza solo lo 0,3% del consumo idrico totale, con un valore medio di 382 m³ all'anno.

Essendo stata inaugurata nel maggio 2013, è provvista di un contatore autonomo e mostra un consumo molto ridotto nel primo semestre dello stesso anno (Figura 4.32).

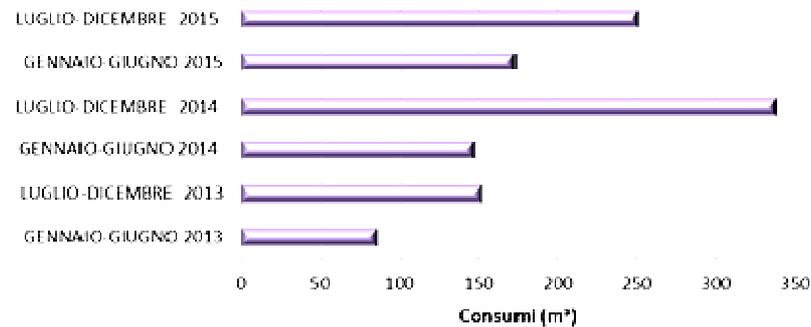


Figura 4.32 Consumi idrici della Biblioteca tecnico-scientifica

Per quanto riguarda il ricorso a fonti alternative di approvvigionamento idrico, l'Università degli Studi di Salerno, nel polo di Fisciano, dispone di due pozzi, dotati di propri contatori ed autorizzati dalla Provincia di Salerno all'emungimento di una portata di 10 m³/s.

Le acque di pozzo sono utilizzate per l'irrigazione delle aree a verde e per l'alimentazione di alcune centrali termiche, di apparecchiature tecniche utilizzate nei laboratori scientifici (prevalentemente circuiti di raffreddamento) o di alcuni servizi igienici nelle strutture dotate di doppia rete di alimentazione.

Il costo dell'acqua di pozzo, calcolato al 2015 dall'Ufficio tecnico di Ateneo in base ai costi di energia elettrica, disinfezione, manutenzione ed ammortamento di manufatti ed impianti, risulta pari a 0,33 €/m³.

Tale costo, relativamente ridotto, insieme alla grande disponibilità di acqua di pozzo, ha reso finora poco conveniente, da un punto di vista economico, l'ipotesi di ricorrere al recupero di acque piovane o grigie, auspicabile invece in termini di incremento della sostenibilità nell'uso della risorsa.

A seguire si riporta, in figura 4.33, l'andamento del prelievo idrico da pozzi negli anni 2012–2015: nel secondo semestre del 2012 la sostituzione di un contatore, probabilmente a causa di un

malfunzionamento, ha comportato la valutazione di un consumo inferiore rispetto a quello effettivo.

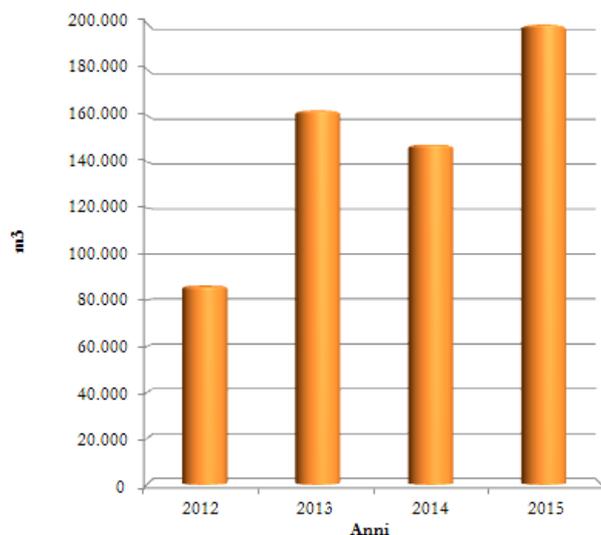


Figura 4.33 Consumi idrici da pozzi nel periodo 2012-2015

I dati sui consumi idrici riportati in Figura 4.34 permettono di valutare il rapporto tra i quantitativi di acqua potabile acquistata da rete di distribuzione e quelli di acqua emunta da pozzo, destinata ad usi non potabili.

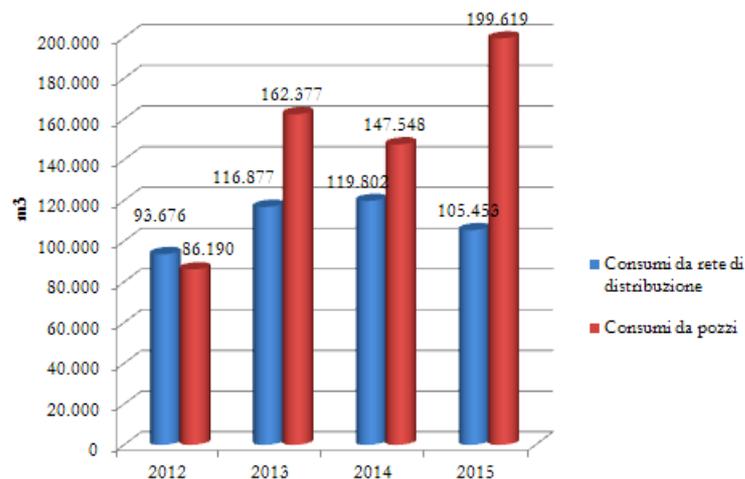


Figura 4.34 Consumi idrici da rete di distribuzione e da pozzi nel periodo 2012-2015

A differenza del costo dell'acqua di pozzo, che si è mantenuto sostanzialmente stabile nel periodo considerato, la tariffa dell'acqua da rete di distribuzione ha manifestato un continuo rincaro dal 2007 in poi (Figura 4.34).

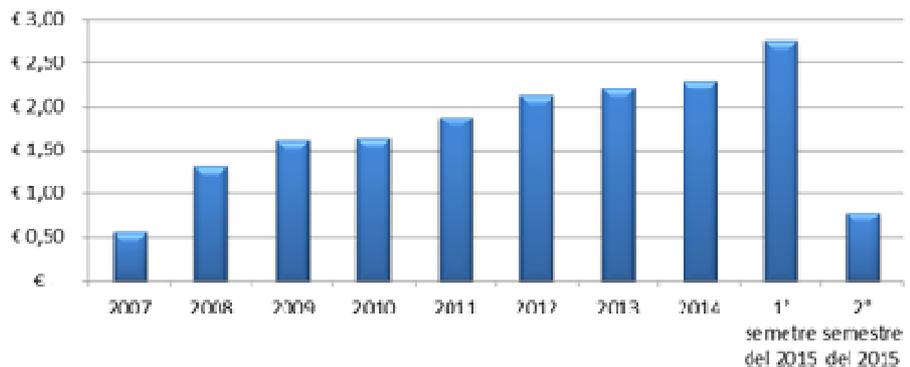


Figura 4.35 Costo al m³ dell'acqua da rete di distribuzione nel periodo 2007-2015

Il gestore del servizio idrico ha applicato all'Università, fino al primo semestre del 2015, una tariffa di tipo non domestico per utenza Commerciale Artigianale (per attività produttive non soggette ad autorizzazione allo scarico in pubblica fognatura ex art. 124, D. Lgs. 152/2006). La tariffa di cessione dell'acqua applicata in seguito, inquadrando l'Università come sub-distributore, ha subito una drastica riduzione, da un costo di circa 2,75 €/m³ a 0,77 € al metro cubo.

Il cambiamento tariffario ha comportato per il campus di Fisciano, nel secondo semestre del 2015, un addebito della spesa idrica in bolletta pari ad un quarto di quello precedente.

Ciononostante, il ricorso ad acque di qualità inferiore per usi non potabili è un elemento che, a prescindere dal risparmio conseguibile in termini economici, contribuisce ad un uso più sostenibile della risorsa, limitando il consumo di acqua da rete di distribuzione ai soli usi potabili.

4.1.2.2 Criticità ed ipotesi di miglioramento delle prestazioni

A valle dell'elaborazione dei dati sin qui condotta, una valutazione dei numerosi fattori potenzialmente influenti sull'andamento dei consumi idrici, richiede la valutazione di una serie di elementi: la stagionalità, la variazione delle superfici interne o delle aree verdi del campus, la tipologia di funzione esercitata nelle strutture, lo stato di manutenzione della rete di distribuzione o il ricorso a fonti alternative di approvvigionamento.

Rispetto all'influenza della stagionalità, si rileva che l'andamento dei consumi idrici nel campus, essendo legato principalmente alla presenza degli utenti, è scandito dal calendario delle attività didattiche piuttosto che da un trend stagionale: dal momento che gli studenti rappresentano la componente principale dell'utenza complessiva, i periodi di consumo ridotto coincidono con quelli di minore frequenza universitaria, in particolare con il secondo semestre dell'anno.

Infatti, generalmente, l'affluenza si riduce in maniera significativa già a partire dalla metà del mese di giugno: i corsi universitari, terminati, ricominciano ad ottobre, inoltre, ad agosto, il calendario delle attività didattiche non prevede finestre di esame e l'Ateneo effettua un'intera settimana di chiusura al pubblico.

Una corretta attività di manutenzione programmata della rete di distribuzione è un elemento che esercita un peso notevole sull'andamento dei consumi nel campus: fino all'anno 2011, un maggiore investimento sul capitolo manutentivo ha consentito di ridurre le perdite nella rete e di avere una progressiva diminuzione dei consumi. Nel periodo successivo, un incremento del patrimonio immobiliare ed un budget ridotto per la manutenzione hanno contribuito a determinare una crescita costante del consumo idrico.

Un solo contatore, dedicato al campus di Fisciano, rileva più del 50% dei consumi idrici dell'Ateneo, comportando l'impossibilità di un'analisi più dettagliata, per esempio, in relazione ai consumi per metro quadrato di superficie a seconda delle diverse destinazioni d'uso delle strutture.

L'installazione in tutti gli edifici del campus di misuratori dotati di un sistema automatico di lettura e trasmissione dei dati comporterebbe una spesa ridotta, ma un notevole vantaggio per la caratterizzazione dei consumi e dei fabbisogni e per l'individuazione tempestiva di malfunzionamenti.

Allo stesso modo, il ricorso a strumenti di monitoraggio della rete di distribuzione interna con sistemi di controllo da remoto, consentirebbe una tempestiva individuazione di eventuali problemi o perdite.

Attualmente, nei servizi igienici sono installati vari sistemi per il risparmio idrico (rubinetterie dotate di tecnologie che razionalizzano il consumo dell'acqua o cassette di scarico a doppia alimentazione), che, tuttavia, sono distribuiti in maniera irregolare tra gli edifici, in base ai diversi periodi di realizzazione degli stessi.

Una maggiore diffusione di dispositivi come riduttori di flusso, frangigetto, interruttori di flusso sarebbe un'ipotesi da perseguire, considerando che i benefici ambientali ed il risparmio idrico ed energetico, legati ad una possibile riduzione del consumo d'acqua fino al 50% rispetto ad un sistema tradizionale, comportano, d'altra parte, una maggiore esigenza manutentiva ed un incremento dei costi necessari.

Il ricorso all'acqua di pozzo come fonte alternativa di approvvigionamento idrico, limitatamente ai casi in cui ne è consentito l'utilizzo, ha comportato un notevole vantaggio in termini economici: mediamente, il ricorso all'acqua di pozzo comporta un risparmio del 57% rispetto a quella da rete di distribuzione.

La realizzazione di una doppia rete idrica di distribuzione in tutti gli edifici del campus consentirebbe di alimentare i servizi igienici ed alcuni impianti tecnologici con acqua di pozzo, determinando un utilizzo più razionale della risorsa ed un risparmio ulteriore rispetto alla situazione attuale.

Complessivamente, nessuno dei molteplici fattori esaminati manifesta un'influenza sull'andamento dei consumi idrici tale da consentire di individuare una dipendenza funzionale, sia a causa delle complesse interazioni tra le singole, molteplici variabili, sia per la mancanza di serie storiche di dati di dettaglio, che si presterebbero ad elaborazioni statistiche.

Tuttavia, a prescindere dall'aspetto economico, l'ipotesi di ricorso a fonti di approvvigionamento più sostenibili, quali acque piovane o acque grigie di recupero, resta un'ipotesi imprescindibile da attuare negli anni a venire.

4.1.3 Energia

Dai dati forniti dall'ufficio Sistemi Elettrici di Ateneo, si rileva che il fabbisogno energetico del campus di Fisciano viene soddisfatto ricorrendo a:

- Energia elettrica acquistata dalla rete di distribuzione nazionale;
- Energia elettrica prodotta dal parco fotovoltaico;
- Energia elettrica prodotta dal cogeneratore.

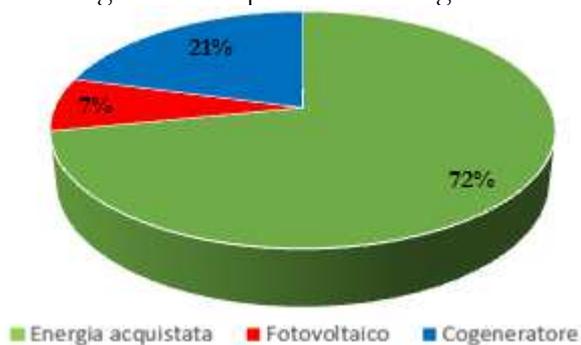


Figura 4.36 Ripartizione percentuale media della copertura del fabbisogno energetico del campus di Fisciano.

Come mostrato in Figura 4.36, la quota maggiore dei consumi di energia elettrica del campus di Fisciano è coperta con l'acquisto di energia dalla rete di distribuzione nazionale, superiore al 70% del fabbisogno energetico complessivo, quota che si è mantenuta pressoché stabile nel corso degli ultimi 5 anni, attestandosi intorno ad un valore medio di 10.677 MWh all'anno.

Per l'anno 2014 il consumo totale di energia elettrica dalla rete è stato pari a 11.199 MWh. Ciò ha significato per l'Ateneo una spesa di 2.324.667,00 €, con un costo medio di circa 21 centesimi di euro a kWh.

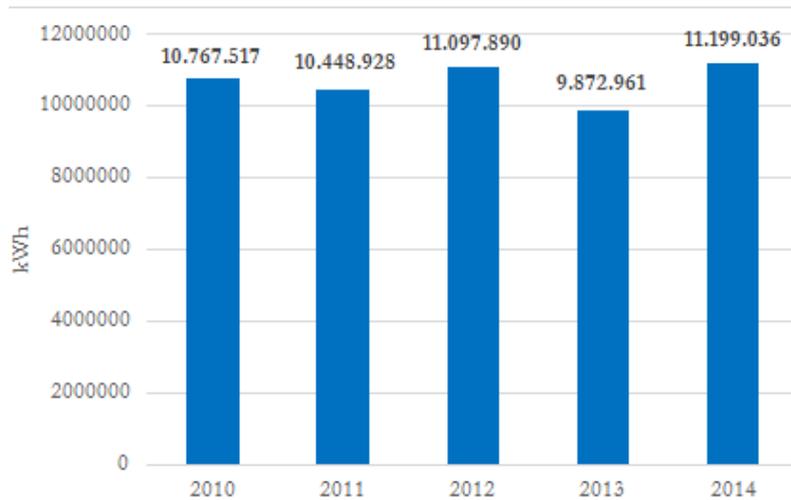


Figura 4.37 Energia elettrica acquistata dalla rete elettrica nazionale dal campus di Fisciano, anni 2010-2014

La quota di energia acquistata da rete mostra un andamento mensile molto regolare nel periodo analizzato, dall'anno 2010 al 2014 (Figura 4.37)

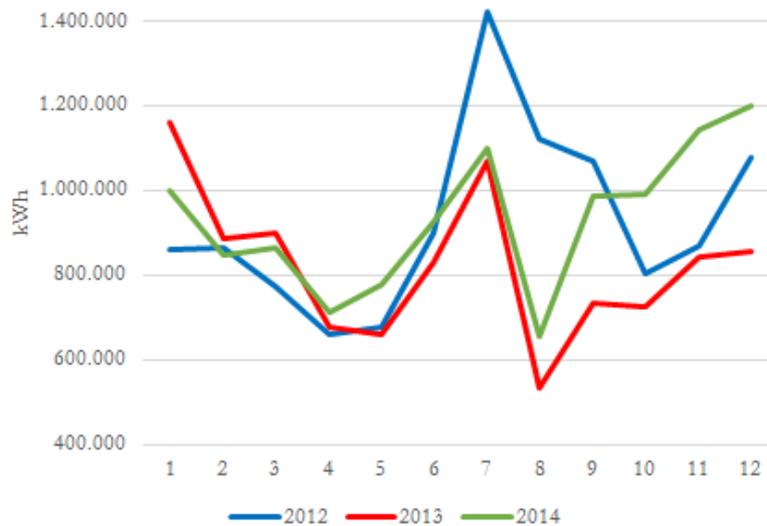


Figura 4.38 Energia elettrica acquistata dalla rete elettrica nazionale dal campus di Fisciano, anni 2010-2014

Si rileva, infatti, un innalzamento dei consumi da rete nei mesi di luglio, dicembre e gennaio, in parte a causa dell'attivazione del riscaldamento negli edifici, per alcuni dei quali è realizzato attraverso macchine elettriche e, in parte, nel mese di luglio, a causa dell'attivazione delle macchine frigorifere che provvedono al raffrescamento.

Queste tecnologie sono piuttosto energivore e al loro consumo si aggiunge anche quello delle unità di trattamento aria (UTA) e delle pompe utilizzate per il movimento dei fluidi termovettori della centrale termica e del cogeneratore.

Nei mesi di dicembre e di novembre dell'anno 2014 si registrano i maggiori consumi da rete a causa dell'interruzione per manutenzione della produzione di energia da cogeneratore

Il picco minimo dei consumi si verifica, analogamente a quanto accade per l'utilizzo delle altre risorse, nel mese di agosto, in cui le attività dell'Ateneo vengono sospese per 2 settimane.

A conferma del costante impegno nella ricerca di soluzioni energetiche a basso impatto ambientale, il campus di Fisciano copre parte del suo fabbisogno energetico attraverso due sistemi di produzione da fonti rinnovabili o assimilate: il solare fotovoltaico e la cogenerazione.

L'articolo 2 del D. Lgs. 28/2011 definisce come energia da fonti rinnovabili quella proveniente da *"fonti rinnovabili non fossili, vale a dire energia eolica, solare, aerotermica, geotermica, idrotermica e oceanica, idraulica, biomassa, gas di discarica, gas residuati dai processi di depurazione e biogas"*.

Nell'ambito di una più vasta azione di risparmio energetico, nel 2011 è stata attivata una centrale di generazione fotovoltaica di tipo distribuito a servizio dell'Ateneo di Salerno.

Per il campus di Fisciano, il parco fotovoltaico è suddiviso in 11 sezioni e fornisce una potenza complessiva di 1076,04 kW. Esso è costituito per la quasi totalità da pannelli installati sulle superfici di copertura degli edifici, ad eccezione dell'impianto ad inseguimento biassiale della potenza di 200 kW, ubicato nei pressi del rettorato e costituito da 21 inseguitori, ognuno dei quali è composto da 12 pannelli fotovoltaici (Figura 4.39).



Figura 4.39 Inseguitori solari biassiali nel campus di Fisciano

Gli impianti di produzione sono tutti collegati alla rete di bassa tensione del campus mediante i quadri generali di edificio, in modo tale da far confluire l'energia elettrica prodotta e non consumata nell'edificio stesso nell'anello di media tensione. Eventuali surplus di potenza vengono veicolati verso la rete di distribuzione.

Recentemente è stato effettuato un intervento di ampliamento della potenza del parco fotovoltaico di 281 kW, portando la potenza di picco totale a 1357,04 kW grazie all'installazione di circa 850 nuovi pannelli fotovoltaici.

La produzione da fotovoltaico nel 2014 ha coperto circa il 7% del fabbisogno energetico del campus; con il recente ampliamento dell'impianto, tale percentuale dovrebbe salire al 9%.

Ovviamente, i mesi più produttivi sono quelli estivi, durante i quali i moduli fotovoltaici sono sottoposti ad un maggiore irraggiamento.

I vantaggi derivanti dall'utilizzo di tale tecnologia, oltre che ambientali per la mancata emissione di gas a effetto serra, sono anche di tipo economico:

- consumo dell'energia auto-prodotta, con conseguente risparmio;
- immissione in rete e vendita dell'energia in esubero ad una tariffa sottoposta ad aggiornamento trimestrale da parte dell'AEEG;
- accesso a forme di incentivazione.

Per quanto attiene la cogenerazione, il sistema a servizio del campus di Fisciano è costituito da due moduli a combustione interna alimentati a gas metano di cilindrata pari a 29.200 cm³ comprendenti scambiatori termici per il recupero di calore.

L'impianto di cogenerazione, in servizio dal 2009, ha una potenza elettrica di circa 1 MW e una potenza termica di 1,2 MW. L'energia elettrica prodotta è destinata alle necessità del campus, mentre quella termica è in parte trasmessa alla rete di teleriscaldamento e in parte utilizzata dagli impianti termici a servizio della piscina coperta. Recentemente tale impianto è stato convertito in impianto di trigenerazione grazie all'installazione di un assorbitore a bromuro di litio che, una volta in funzione, provvederà al raffrescamento della biblioteca tecnico-scientifica nei mesi estivi.

Inoltre, è prevista la realizzazione di un ulteriore impianto trigenerativo dalla potenza di 900 kW elettrici e circa 1000 kW termici, la cui produzione andrà ad integrare quella attuale. Più nello specifico, l'energia elettrica prodotta sopperirà al fabbisogno delle strutture del campus, mentre quella termica, come per l'impianto già in uso, sarà utilizzata in parte per altre utenze termiche nelle vicinanze dell'impianto (mensa e residenze universitarie) e per la parte rimanente per il teleriscaldamento a servizio del campus.

Durante l'anno 2014, il cogeneratore ha prodotto un quantitativo di energia elettrica pari al 21% dei consumi totali del campus.

È da evidenziare, comunque, che i dati sul consumo totale del campus di Fisciano non comprendono i consumi di energia elettrica della Mensa e delle residenze universitarie perché non a disposizione dell'Ufficio Sistemi Elettrici di Ateneo.

Tramite rilievi effettuati con apposite apparecchiature ai quadri elettrici, l'Ufficio Sistemi elettrici di Ateneo ha determinato, attraverso un processo di "*reverse engineering*", il peso percentuale della potenza assorbita da ogni edificio in relazione alla potenza totale.

Utilizzando tali dati, è stato possibile definire i consumi elettrici dei singoli edifici all'interno del campus, ripartendoli tra le strutture per tipologia di attività (Figura 4.40).

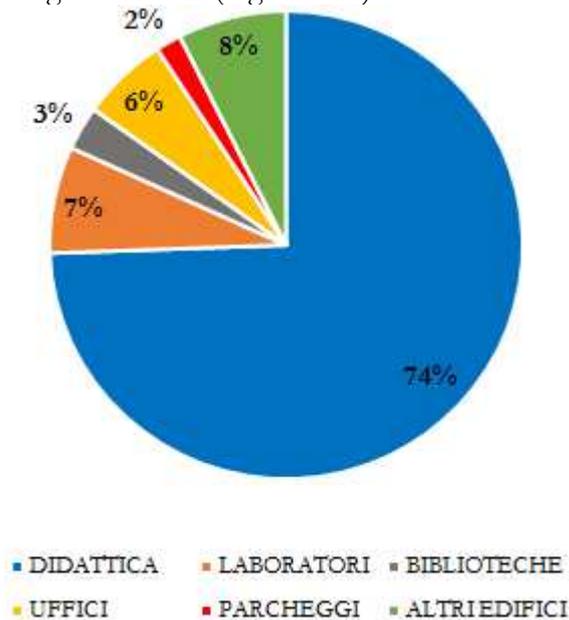


Figura 4.40 Ripartizione percentuale dei consumi elettrici tra le diverse strutture raggruppate per tipologia di attività

La quota principale di energia elettrica è utilizzata dagli edifici dedicati prevalentemente alla didattica, che rappresentano la maggioranza in termini di superficie (con una superficie di 145.983 m² su un totale di 220.444 m²) ed ospitano al loro interno diverse tipologie di spazi: aule, laboratori, studi docenti e uffici.

Consumi significativi derivano anche dai laboratori pesanti (Meccanica, Strutture, Geotecnica, Idraulica e Chimica), principalmente a causa dell'utilizzo di macchinari dalle elevate potenze elettriche e dagli uffici, che utilizzano circa il 6% del fabbisogno energetico.

Valutando i consumi elettrici ripartiti per funzione e per metro quadro di superficie, gli edifici più energivori risultano i laboratori pesanti, seguiti dalla categoria denominata "altri edifici", in cui rientrano anche la piscina coperta e l'Aula Magna, che necessitano di elevati carichi energetici, come mostrato di seguito in Figura 4.41.

Nello specifico, i laboratori pesanti fanno registrare un consumo medio di 184,78 kWh/m², più del doppio di quello degli edifici destinati ad

attività didattiche, pari in media ad 81 kWh/m². Gli edifici con il minor consumo specifico a metro quadrato sono i parcheggi coperti e le due biblioteche.

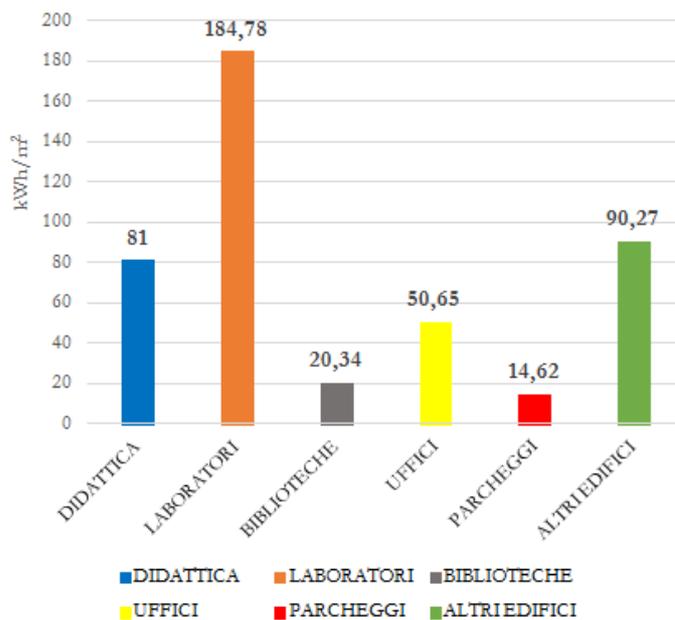


Figura 4.41 Consumi degli edifici aggregati per funzioni per m² di superficie

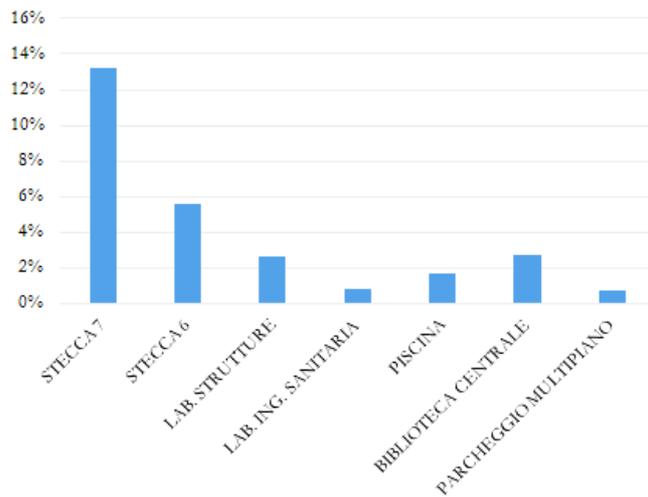


Figura 4.42 Peso percentuale della potenza assorbita da alcuni edifici del campus

I consumi elettrici del campus possono essere anche distinti, in base alla destinazione d'uso finale, tra:

- illuminazione: energia elettrica utilizzata per illuminare gli edifici;
- condizionamento: energia elettrica utilizzata per il raffrescamento degli edifici (gruppi frigo);
- forza motrice: energia elettrica consumata per tutti gli altri usi (tra cui riscaldamento e macchine dei laboratori).

La ripartizione percentuale tra le varie componenti evidenzia la netta preponderanza della forza motrice, come risulta dalla Figura 4.43, riportata di seguito.

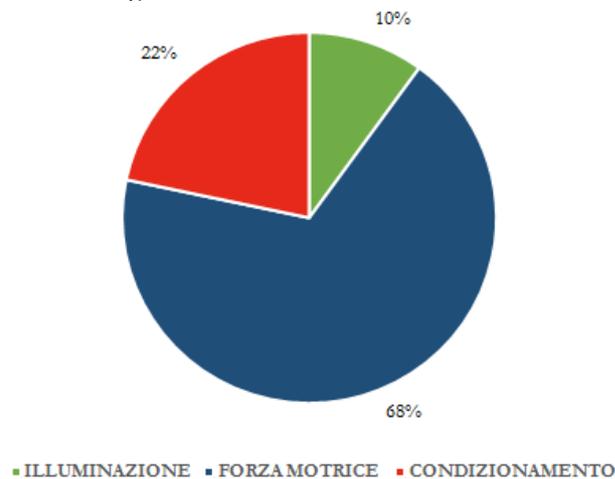


Figura 4.43 Peso percentuale della potenza assorbita da alcuni edifici del campus,

Per consentire un confronto con strutture analoghe, sono stati stimati il consumo specifico totale di energia elettrica per unità di superficie e per studente.

Facendo riferimento a dati relativi all'anno 2014, noto il consumo complessivo di energia elettrica (15.591.626 kWh) e la superficie totale degli edifici presenti nel campus (220.444 m²), si ottiene un consumo specifico di energia per superficie pari a 71 Kwh/m² /anno

Nel secondo caso, invece, il dato di consumo energetico va rapportato con il numero di studenti iscritti a corsi di laurea ubicati nel campus di Fisciano nell'anno 2014 (33.260 studenti), da cui si ottiene il consumo specifico di energia per studente di 469 kWh/studente /anno.

Il confronto tra i dati di consumo energetico del campus di Fisciano con quelli di altri Atenei non è banale, sia per la mancanza di dati, sia perché molti studi di letteratura riguardano strutture collocate in regioni aventi caratteristiche climatiche molto differenti.

Molti sono i fattori che esercitano un'influenza diretta sui consumi, tra cui le condizioni climatiche rappresentano uno di quelli di maggior rilievo, condizionando l'entità dei consumi per riscaldamento e raffrescamento, o le differenti tipologie costruttive degli edifici, le fonti energetiche adoperate ed il relativo mercato, la superficie, il tipo di servizi offerti ed il grado di efficienza energetica raggiunto.

Ciascun fattore incide sui consumi in maniera autonoma: per esempio, un valore medio specifico per le università canadesi è di 2,04 GJ/m² per unità di superficie e di 49 GJ/studente (Natural Resources Canada's Office of Energy Efficiency, 2007), con una notevole variabilità tra le diverse regioni del Canada, come risulta dal grafico riportato di seguito (Figura 4.44).

Energy intensity (G.J/student), universities, 2003

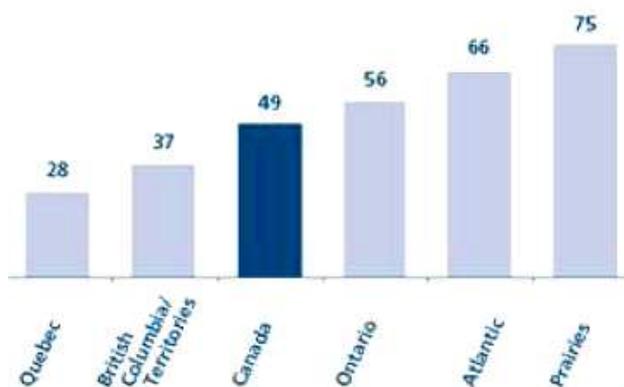


Figura 4.44 Consumo energetico specifico per studente tra le università del Canada (Natural Resources Canada's Office of Energy Efficiency, 2007)

Alla National Autonomous University of Mexico (UNAM) di Città del Messico, che ha un'area edificata di 0,2 km² distribuita su circa 7,2 km² ed un nucleo storico centrale, la Città Universitaria, dichiarato Patrimonio dell'Umanità dall'UNESCO, è stato condotto uno studio sui consumi elettrici e sulle relative emissioni di gas serra (Escobedo et al., 2013).

Sulla base di dati ricavati da energy audits appositamente effettuati, è stato stimato un indicatore del consumo di energia per uso finale per metro quadrato di superficie in relazione a diverse categorie di edifici ed attrezzature, distinte in base alla funzione: il dato di consumo ottenuto, moltiplicato per la superficie delle strutture, ha fornito il valore di consumo elettrico.

La ripartizione per usi finali riportata in Figura 4.45 evidenzia che alla UNAM l'illuminazione rappresenta il 33% dell'uso totale di energia, seguita dal raffreddamento, che assorbe circa il 17% dei consumi, dall'uso di apparecchiature speciali (15%), attrezzature informatiche, climatizzazione, riscaldamento degli ambienti (0,4%).

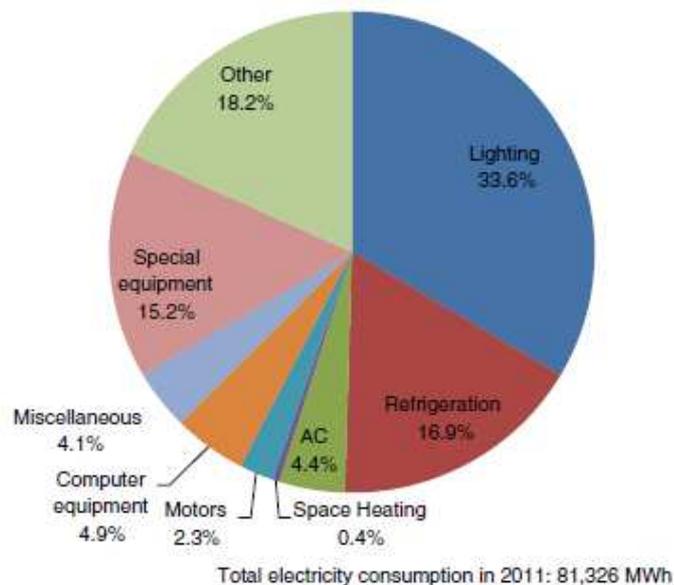


Figura 4.45 Consumo energetico per usi finali nella Città Universitaria (Escobedo et al., 2013)

Un confronto tra i valori di intensità energetica (consumo energetico specifico) per unità di superficie, calcolati in studi di letteratura per differenti strutture universitarie, evidenzia la grande variabilità dei risultati ottenuti, raffrontati in termini complessivi in Tabella 4.5.

Nel caso della UNAM, sono stati inclusi i consumi di elettricità, LPG e diesel, ma non quelli degli impianti sportivi.

	US Educational Buildings (USEIA 2008).	Argentina (Filippin 2000)	Slovenia (Butala and Novak, 1999)	Messico (Escobedo et al., 2013)
Intensità energetica per unità di superficie (MJ/m ²)	943,10	276,8-847,4	349,2-1.252,8	297,60

Tabella 4.5 Confronto tra intensità energetiche per unità di superficie di strutture universitarie in diversi studi di letteratura

In effetti, ciò che emerge complessivamente dall'analisi energetica in strutture complesse è che i consumi non sono correlati esclusivamente all'estensione della superficie o al numero di utenti, ma vengono influenzati, in maniera anche determinante, da una serie di fattori: una struttura può continuare ad espandersi e, contemporaneamente, riuscire a ridurre i propri consumi attraverso politiche di risparmio energetico.

Il D.Lgs. 192/05 (Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia) definisce come unico indicatore prestazionale energetico il "Fabbisogno di energia primaria", che consente di sommare più flussi e/o vettori energetici.

L'**energia primaria** è definibile come il potenziale energetico presentato da vettori e fonti energetiche non rinnovabili nella loro forma naturale (quando non hanno ancora subito alcuna conversione o processo di trasformazione).

Infatti, i prodotti energetici estratti o ricavati direttamente da risorse naturali si definiscono **fonti di energia primaria**, mentre quelli derivanti da una trasformazione delle fonti di energia primaria sono **fonti di energia secondaria** (ENEA, 2016).

Il risparmio di energia primaria, conseguito nel campus di Fisciano attraverso il ricorso a fonti alternative, è stato valutato in tonnellate equivalenti di petrolio utilizzando i fattori di conversione stabiliti dalla normativa.

Per la conversione in TEP dell'energia elettrica prodotta, si è utilizzato il fattore di conversione fornito dall'AEEG con la Delibera 3/2008.

Per l'energia termica prodotta è stato impiegato un coefficiente di rendimento medio del parco termico italiano pari all'85%, mentre, per il computo dell'energia primaria consumata con la combustione di

metano, si fa riferimento alla relazione riportata dalla Circolare MISE 12/2014.

Il Potere Calorifico Inferiore (PCI) del metano, dichiarato dal fornitore, è pari a 9,59 kWh/Sm³.

L'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico è pari a:

$$E_{PR} = 215,06 \text{ TEP}$$

Nel caso dell'impianto di cogenerazione, l'energia primaria risparmiata è costituita da una quota positiva, inerente alla produzione elettrica e termica, e da una negativa, dovuta alla combustione di metano.

$$E_{PR} = 74,82 \text{ TEP}$$

L'energia primaria risparmiata annualmente grazie all'utilizzo dell'impianto fotovoltaico e del cogeneratore risulta, pertanto, pari a 289,88 TEP, valore che rappresenta circa il 10% dei consumi totali di energia primaria per la fornitura elettrica del 2014, 2915 TEP, ipotizzando che tutta l'energia elettrica consumata sia stata acquistata da rete.

Per determinare le emissioni di CO₂ evitate grazie al ricorso ad energia prodotta da fonti rinnovabili, sono state distinte quattro quote di emissioni:

1. Emissioni evitate con la produzione elettrica del PARCO FOTOVOLTAICO (E_F)

Sono determinate attraverso il prodotto dell'energia generata dall'impianto fotovoltaico per il fattore di emissione dipendente dal mix di produzione elettrica nazionale. Quest'ultimo è fornito dal rapporto "Fattori di emissioni di CO₂ e sviluppo fonti rinnovabili nel settore elettrico" (ISPRA 212/2015) ed è posto pari a 554,5 grammi di CO₂ per ogni kWh prodotto.

$$E_F = 637,72 \text{ tCO}_2$$

2. Emissioni evitate con la produzione elettrica del COGENERATORE (E_{EC})

Come per la produzione fotovoltaica, sono valutate attraverso il prodotto dell'energia elettrica da cogenerazione per il corrispondente fattore emissivo ISPRA.

$$E_{EC} = 1.797,97 \text{ tCO}_2$$

3. Emissioni evitate con la produzione termica del COGENERATORE (E_{TC})

Vengono calcolate come prodotto della quantità di energia termica generata dal cogeneratore per il fattore di emissione dipendente dal mix termico nazionale. In merito a quest'ultimo, è stato utilizzato un fattore fornito da dati IEA del 2008, pari a 217,0 grammi di CO_2 emessi per ogni kWh termico prodotto.

$$E_{TC} = 332,76 \text{ tCO}_2$$

4. Emissioni PRODOTTE DAL CONSUMO DI METANO DEL COGENERATORE (E_M)

Derivano dal prodotto del volume di combustibile utilizzato dal cogeneratore per il suo fattore di emissione. Nel caso di gas metano, si immettono in atmosfera 1,956 tonnellate di CO_2 ogni 1000 Standard m^3 di gas combusto (dati ISPRA 2015).

$$E_M = 1.628,80 \text{ tCO}_2$$

Dalla somma delle quattro quote, in cui le emissioni evitate sono computate con il segno positivo e quelle prodotte con il segno negativo, si ottiene la quantità di anidride carbonica non immessa in atmosfera grazie al ricorso alla produzione energetica da fotovoltaico e cogenerazione:

$$\text{Emissioni di CO}_2 \text{ evitate} = E_F + E_{EC} + E_{TC} - E_M$$

$$E = 1139,65 \text{ tCO}_2$$

Il valore complessivo di 1139,65 tCO_2 si riferisce alle emissioni evitate rispetto a quelle che sarebbero state immesse in atmosfera (un totale di 8645 tCO_2) se l'energia elettrica utilizzata dal campus di Fisciano fosse stata interamente acquistata dalla rete di distribuzione nazionale.

4.1.3.1 Criticità ed ipotesi di miglioramento delle prestazioni

L'Università di Salerno, negli ultimi anni, ha investito in progetti che hanno permesso di ridurre i consumi totali e soddisfare parte del fabbisogno energetico in maniera "pulita".

Nel corso del 2015, per aumentare l'efficienza energetica degli edifici, riducendone i consumi, sono stati effettuati numerosi interventi, i cui risultati dovrebbero essere già apprezzabili nel computo dei consumi annuali:

- riqualificazione dell'illuminazione interna: gli interventi effettuati hanno portato il coefficiente di efficienza energetica degli impianti di illuminazione artificiale dalla classe D alla classe B. Inoltre, le varie installazioni sono dotate di un sistema di supervisione e controllo in tempo reale che permetterà la regolazione automatica del flusso luminoso attraverso una serie di sensori. Il risparmio stimato da tale intervento è di almeno del 30% rispetto ai consumi attuali;
- riqualificazione degli infissi: l'intervento ha previsto la sostituzione degli infissi più datati con nuovi infissi a trasmittanza inferiore ($1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$), con l'obiettivo di una significativa riduzione dei consumi energetici per la climatizzazione degli edifici (riscaldamento e condizionamento). A seguito di questo intervento, è previsto un risparmio del 7% sui consumi attuali di energia termica;
- riqualificazione dell'illuminazione esterna: l'intervento di sostituzione dei sistemi di illuminazione esterna del campus con lampade a tecnologia led comporterà un risparmio stimato di almeno il 30% rispetto ai consumi attuali;
- sostituzione dei gruppi frigo: tale azione si è resa necessaria a causa degli alti consumi per il condizionamento estivo degli edifici, anche a causa dell'utilizzo di gruppi di refrigerazione ormai obsoleti, che non operano più nelle condizioni di massimo rendimento. Nell'ambito di tale intervento, è stata prevista anche la sostituzione dei gruppi di pompaggio a servizio dei circuiti della centrale di teleriscaldamento.

Nel complesso, il settore energetico è quello in cui maggiori sono stati gli interventi di efficientamento apportati nel corso degli ultimi anni,

anche grazie agli strumenti di indirizzo legislativo e di finanziamento disponibili.

Gli stati membri dell'Unione Europea, infatti, si sono impegnati per il conseguimento degli obiettivi 20/20/20: taglio del 20% delle emissioni dei gas a effetto serra, aumento del 20% dell'uso dell'energia rinnovabile e taglio del consumo energetico attraverso un aumento del 20% dell'efficienza energetica.

Il Fondo Europeo per l'Efficienza Energetica (European Energy Efficiency Fund) punta a supportare gli obiettivi dell'Unione Europea, al fine di promuovere un mercato basato su energia sostenibile e protezione climatica. L'EEEF è un'innovativa partnership pubblico-privato indirizzata all'attenuazione dei cambiamenti climatici attraverso misure di efficienza energetica e mediante l'utilizzo di energia rinnovabile negli stati membri dell'Unione Europea, che prevede il finanziamento, a tassi di mercato, di progetti di efficienza energetica, di energia rinnovabile a scala ridotta e di trasporto urbano pulito in Enti municipali, locali e regionali e in società pubbliche e private operanti per conto dei suddetti enti.

A livello italiano, per il miglioramento delle prestazioni energetiche degli immobili della pubblica amministrazione centrale, è stata prevista la predisposizione di un programma d'interventi di riqualificazione energetica e, tra l'altro, l'istituzione di un Fondo Nazionale per l'efficienza energetica per la concessione di garanzie e l'erogazione di finanziamenti destinati ad interventi di efficienza energetica realizzati anche attraverso forme di partenariato pubblico-privato, società di progetto e/o di scopo appositamente costituite.

Ciò lascia spazio ad ulteriori margini di miglioramento: nonostante i risultati soddisfacenti raggiunti in termini di risparmio e produzione, il cospicuo fabbisogno energetico del campus risulta ancora difficile da soddisfare nei periodi di punta.

4.1.4 Atmosfera

Il termine “aria ambiente” o “outdoor” indica l’aria esterna, ad esclusione di quella presente nei luoghi di lavoro e negli ambienti domestici e pubblici (aria indoor), che ha proprie specificità e, limitatamente ai luoghi di lavoro, normativa dedicata.

L’aria cui si fa riferimento è quella presente nello strato inferiore dell’atmosfera terrestre, denominato troposfera: si tratta dell’aria a diretto contatto con la superficie terrestre.

La qualità dell’aria è un tema cruciale nei sistemi complessi, sia per l’ambiente che per la salute pubblica.

Si definisce “inquinante” qualsiasi sostanza presente nell’aria ambiente che può avere effetti dannosi sulla salute umana o sull’ambiente. Gli inquinanti primari sono immessi in atmosfera dalle attività antropiche o dalle sorgenti naturali, attraverso processi chimico-fisici che avvengono in atmosfera e possono successivamente trasformarsi in altre sostanze, dette inquinanti secondari (ad es., l’ozono troposferico).

Tra le attività che determinano maggiori emissioni sono i trasporti, la produzione di energia elettrica da combustibili fossili, i processi industriali, la distribuzione dei carburanti e dei combustibili, il riscaldamento degli edifici, le attività agricole e l’allevamento, l’utilizzo di vernici e solventi. Al cuore di quasi tutti i processi con cui gli inquinanti vengono immessi in atmosfera vi è l’energia, la sua produzione, la sua trasformazione e il suo utilizzo.

La domanda di energia è strettamente legata alle esigenze di un sistema economico basato sul paradigma del consumo. In tale contesto un importante fattore, peraltro comune a tutti i Paesi sviluppati ed emergenti, è la costante crescita dell’utilizzo di energia elettrica.

In Italia la maggior parte della produzione energetica proveniva, fino a qualche anno fa, da impianti termoelettrici alimentati con combustibili fossili e, in minor misura, biomasse. Nell’ultimo decennio, al fine di ridurre la dipendenza dalle fonti fossili e a causa del crescente aumento delle concentrazioni di inquinanti atmosferici, sono diventate prioritarie le iniziative di promozione della produzione energetica da fonti rinnovabili.

L’Italia ha mostrato negli ultimi anni uno sviluppo notevole delle fonti rinnovabili nel settore elettrico. Secondo i dati TERNA le fonti rinnovabili hanno raggiunto nel 2013 il 38,6% della produzione lorda

nazionale. La stima delle emissioni provenienti dal parco termoelettrico per i singoli combustibili fossili con i rispettivi fattori di emissione, insieme alla valutazione della produzione elettrica “carbon free”, rappresentano elementi di conoscenza fondamentali per valutare gli effetti ambientali delle strategie di riduzione delle emissioni e di promozione delle fonti rinnovabili nel settore elettrico. L'Unione Europea ha fatto della lotta al cambiamento climatico una delle priorità del programma di interventi di cui è espressione la sua politica climatica.

Intorno alla metà degli anni '80 dall'agenzia Europea per l'Ambiente è stato lanciato il progetto CORINAIR (CORE INventory AIR emissions), finalizzato all'armonizzazione, la raccolta e l'organizzazione di informazioni coerenti sulle emissioni in atmosfera nella Comunità Europea. Il principale obiettivo della prima fase delle attività del progetto CORINAIR è stato la realizzazione di un inventario prototipo delle emissioni di ossidi di zolfo (SO_x), ossidi di azoto (NO_x) e composti organici volatili (COV) in otto principali settori di attività (combustione (centrali), raffinerie, combustione industriale, processi, evaporazione solventi, trasporti, natura), riferito all'anno 1985, da utilizzare come base scientifica per la definizione di politiche ambientali in materia di inquinamento atmosferico.

Il progetto ha anche sviluppato la nomenclatura NAPSEA (Nomenclature for Air Pollution Socio-Economic Activity) per i settori sorgente e la nomenclatura SNAP (Selected Nomenclature for Air Pollution) per le sorgenti emissive di settori, sub-settori e attività. (ANPA, Linee guida agli inventari locali di emissioni in atmosfera, 2001).

Dopo gli obiettivi previsti per il 2020 dal “Pacchetto Clima e Energia”, la Commissione Europea ha recentemente proposto nuovi obiettivi di riduzione delle emissioni atmosferiche da raggiungere entro il 2030: il 40% di riduzione delle emissioni totali rispetto al 1990, un incremento del 27% del consumo finale di energia da fonti rinnovabili e il risparmio del 30% di energia attraverso l'aumento dell'efficienza energetica.

Nonostante la riduzione delle emissioni, i livelli di alcuni inquinanti in Italia sono molto elevati, in particolare nelle grandi aree urbane, dove è massima l'antropizzazione del territorio ed i livelli di inquinanti, così come è più elevata l'esposizione della popolazione agli inquinanti atmosferici.

Destano allarme soprattutto i livelli del materiale particolato

aerodisperso (misurato, secondo norma, nei tagli granulometrici PM10 e PM2.5), di ozono troposferico, entrambi riconosciuti come i maggiori responsabili degli effetti sulla salute umana, e di biossido di azoto.

Per contribuire al raggiungimento di uno sviluppo sostenibile, negli strumenti di pianificazione e di programmazione ambientale e sanitaria è fondamentale la presenza e l'integrazione di competenze multidisciplinari sul tema dell'inquinamento atmosferico.

4.1.4.1 Qualità dell'aria ambiente

Lo stato della qualità dell'aria nelle aree urbane è determinato dal peso locale e regionale di diversi driver e fattori di pressione e dalle condizioni meteo-climatiche, che giocano un ruolo importante nel determinare i livelli dei vari inquinanti osservati. Nelle città il trasporto, seguito dal riscaldamento civile, è il driver principale.

Le recenti analisi del trend dell'inquinamento atmosferico in Italia (ISPRA, 2014) e in Europa (EEA, 2016) evidenziano negli ultimi 10 anni una sostanziale tendenza alla riduzione sia dell'inquinamento atmosferico in generale che, in particolare, dei livelli di PM10 e NO2.

La lenta riduzione dei livelli di PM10 e NO2 in Italia, coerente con il trend osservato in Europa nell'ultimo decennio, è il risultato della riduzione congiunta delle emissioni di particolato primario e dei principali precursori del particolato secondario (ossidi di azoto, ossidi di zolfo, ammoniaca).

L'andamento generalmente decrescente delle emissioni è dovuto principalmente alla forte penetrazione del gas naturale sul territorio nazionale in sostituzione di combustibili come carbone e olio, all'introduzione dei catalizzatori nei veicoli, all'adozione di misure volte al miglioramento dei processi di combustione nella produzione energetica e di tecniche di abbattimento dei fumi. Tuttavia, continuano a verificarsi superamenti del valore limite giornaliero del PM10 in molte aree urbane e, per quanto riguarda l'NO2, del limite annuale, nelle stazioni di monitoraggio collocate in prossimità di importanti arterie stradali traffico veicolare (ISPRA, 2016).

La valutazione dello stato della qualità dell'aria ambiente, regolata dalle direttive europee 2008/50/CE e 2004/107/CE e, a livello italiano, dal D. Lgs. 155/2010 e s.m.i., rappresenta l'indispensabile fase conoscitiva per individuare gli interventi necessari in via prioritaria e per monitorare gli effetti delle azioni intraprese.

La misurazione, unico strumento previsto prima della cosiddetta “direttiva madre” in materia di valutazione e gestione della qualità dell’aria ambiente (Direttiva 96/62/CE), è accompagnata da altri strumenti quali la compilazione di inventari delle emissioni e le modellazioni.

In generale, le sorgenti emissive possono essere classificate in diverse tipologie sulla base di più criteri:

- la modalità di funzionamento;
- la dislocazione spaziale sul territorio;
- la loro forma per una trattazione a fini modellistici.

In base alle modalità di funzionamento le sorgenti si possono distinguere in continue e discontinue.

Rientrano nel primo gruppo le fonti le cui emissioni sono caratterizzabili da una certa regolarità, continuità (per esempio grossi impianti come centrali termoelettriche o inceneritori) o periodicità (gli impianti di riscaldamento). Viceversa, appartengono al secondo gruppo le sorgenti che emettono in modo intermittente e senza alcuna periodicità (impianti di verniciatura, fonderie di metalli).

Per quanto concerne la dislocazione spaziale, le sorgenti si suddividono in fisse o mobili a seconda che la loro posizione sia costante o variabile nel tempo. Le sorgenti mobili, a loro volta, sono suddivise in localizzate, distribuite o diffuse (D.M. 20/05/1991).

Un’ulteriore classificazione delle sorgenti ne comporta la ripartizione per tipologia di inquinante e processo.

In base alla forma, le sorgenti vengono distinte:

- puntuali. Vengono così definite le sorgenti che possono essere assimilate a un punto esattamente localizzato nello spazio, solitamente costituite da singoli impianti.
- lineari. Questa particolare categoria viene introdotta quando è possibile approssimare una sorgente ad una linea ed esprimere le emissioni in funzione della lunghezza di un tratto, come nel caso di strade, ferrovie, rotte navali o aeree. In particolare, nel caso dei trasporti, sono disponibili metodologie di calcolo abbastanza complesse che, perciò, vengono generalmente implementate all’interno di specifici modelli matematici.
- areali. Rientrano in questa categoria tutte le sorgenti che emettono in misura inferiore alle soglie stabilite per la

definizione di sorgente puntuale e quelle sorgenti che, pur avendo caratteristiche tali da poter essere considerate puntuali o lineari, risultano non identificate come tali. Le emissioni da sorgenti areali vanno necessariamente stimate statisticamente sulla base del dato di attività riferito a tutta l'area considerata e del fattore di emissione.

In mancanza di dati in riferimento ad uno specifico inquinante è necessario ricorrere ad un altro approccio, che effettua la stima sulla base di un indicatore che caratterizza l'attività della sorgente e di un fattore di emissione, specifico del tipo di sorgente, di processo industriale e della tecnologia di depurazione adottata.

Questo metodo si basa su una relazione lineare fra l'attività della sorgente e l'emissione che, a livello generale, può essere ricondotta alla seguente equazione:

$$E_i = A \times FE_i$$

dove:

E_i = emissione dell'inquinante i (t/anno);

A = indicatore dell'attività (ad es. quantità prodotta, consumo di combustibile);

FE_i = fattore di emissione dell'inquinante i , che individua la quantità specifica d'inquinante emesso in funzione dell'unità di misura dell'indicatore utilizzato (ad es. g/t prodotta, kg/kg di solvente, g/abitante).

La validità di questa stima dipende dalla precisione dei "fattori di emissione", tanto maggiore quanto più si scende nel dettaglio dei singoli processi produttivi, utilizzando specifici fattori di emissione caratteristici della tipologia impiantistica.

In particolare, per le sorgenti lineari, tipicamente sistemi di trasporto, occorre individuare le principali arterie di comunicazione ed applicare specifici metodi di calcolo per la stima delle emissioni.

Ad esempio, su scala provinciale, rientrano in questa categoria le emissioni attribuibili alle tratte autostradali ed alle principali vie di collegamento, mentre il traffico cittadino si può considerare come sorgente di emissioni diffuse. Nel caso di inventari urbani, invece, vengono generalmente considerate come areali le emissioni attribuibili al traffico presente nelle vie secondarie di scorrimento interquartiere.

4.1.4.2 Emissioni da traffico veicolare

Tra le emissioni di inquinanti atmosferici, quelle connesse ai fenomeni di mobilità di merci e persone costituiscono la parte complessivamente predominante, mentre, com'è noto, tra le diverse modalità di trasporto quella su strada rappresenta la maggior sorgente di inquinamento per quasi tutte le sostanze prese in considerazione nell'inventario CORINAIR.

La consistente domanda di mobilità di persone e merci su strada, infatti, rende rilevante il problema dell'inquinamento da trasporti stradali, soprattutto in considerazione dell'impatto sulle aree urbane, relativamente ad inquinanti quali il monossido di carbonio, i composti organici volatili (in particolare benzene), gli ossidi di azoto ed il particolato; inoltre, il contributo alle emissioni di gas serra risulta particolarmente gravoso per le emissioni di anidride carbonica.

Pur essendo in atto una graduale sostituzione dei vecchi veicoli in favore degli ultimi modelli, dotati delle più recenti tecnologie di abbattimento delle emissioni, la crescita del parco circolante, delle relative percorrenze e dei consumi hanno come conseguenza una produzione di emissioni che contribuisce in modo consistente al totale delle emissioni nazionali. Dall'analisi della serie storica dei dati sul trasporto emerge una costante crescita della domanda di mobilità e del contributo del traffico stradale dal 1990 al 2007, mentre nel 2008 si assiste ad una decrescita.

Il settore del trasporto stradale produce un forte contributo alle emissioni totali nazionali.

E' stato analizzato il contributo dell'inquinamento dovuto al settore dei trasporti stradali in relazione alle altre fonti emissive presenti sul territorio nazionale per gli inquinanti monossido di carbonio, composti organici volatili non metanici (il metano derivante dal trasporto stradale ha un peso esiguo rispetto al totale emesso sul territorio nazionale dagli altri macrosettori di attività, in particolare agricoltura e trattamento e smaltimento rifiuti), ossidi di azoto, materiale particolato inferiore ai 10 µm ed ai 2,5 µm ed anidride carbonica, con riferimento all'inventario comunicato nel 2010.

Il grafico riportato di seguito, in Figura 4.46, evidenzia il peso della componente emissiva da trasporti stradali per i predetti inquinanti sul totale delle emissioni, in relazione ai contributi emissivi degli altri macrosettori.

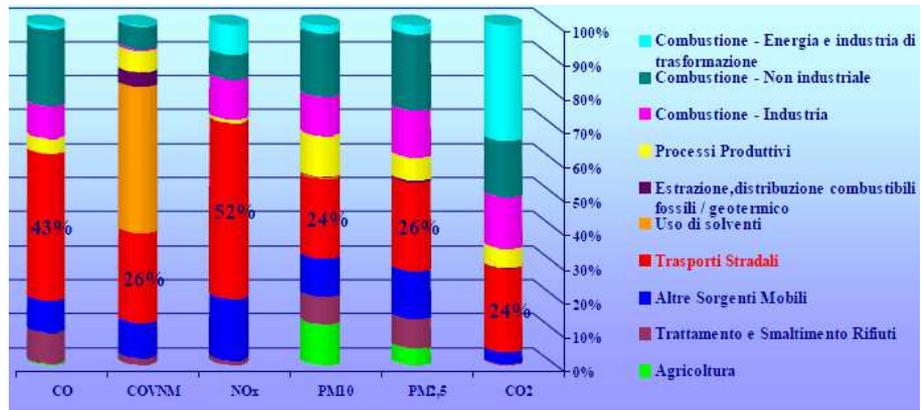


Figura 4.46 Contributo percentuale del settore dei trasporti stradali alle emissioni nazionali nel 2008 (ISPRA, 2010)

E' evidente la preponderanza delle emissioni provenienti dai trasporti stradali rispetto al resto delle attività presenti sul territorio nazionale per il monossido di carbonio, gli ossidi di azoto ed il particolato; il contributo alle emissioni totali di composti organici volatili non metanici ed anidride carbonica, comunque consistente, rimane inferiore, nel caso dei primi, a quello proveniente dall'uso dei solventi e nel caso dell'anidride carbonica a quello derivante dalla combustione nel settore energetico e nell'industria di trasformazione.

La valutazione delle pressioni generate sull'aria ambiente dalle emissioni di una o più fonti inquinanti, riferite ad una certa area, richiede la stima complessiva delle emissioni, data dalla somma di tutte le categorie di emissioni presenti sul territorio.

Una stima, su scala locale, delle emissioni riconducibili al campus principale dell'Ateneo salernitano richiede la valutazione dei fattori di pressione che agiscono nel complesso sul comparto aria: principalmente, il traffico veicolare afferente al campus e le sorgenti di combustione stazionaria per produzione energetica.



Figura 4.47 Valutazione schematica delle pressioni generate sull'aria ambiente dalle emissioni da traffico veicolare.

Nel caso del traffico veicolare, per effettuare una stima delle emissioni prodotte dai veicoli circolanti nel campus di Fisciano, è necessario conoscere, oltre alle peculiarità fisiografiche delle aree interessate, le caratteristiche quantitative e qualitative del parco auto di riferimento attraverso una valutazione preliminare del sistema di trasporto.

I principali attori della mobilità interna al campus sono gli studenti. L'identificazione del cosiddetto "bacino di influenza" richiede, pertanto, una quantificazione degli studenti, individuati in termini di numero di iscritti, e l'individuazione della loro provenienza territoriale, dal momento che il dato numerico non è sufficiente a definire l'influenza esercitata dall'Università salernitana.

Infatti, mentre il bacino di utenza rappresenta una componente prettamente numerica, il bacino di influenza individua il "peso" relativo dell'utenza del campus di Fisciano rispetto al totale della popolazione residente: da esso dipende, quindi, il bacino di utenza.

Nel 1999 il gruppo di Ricerca di Trasporti, del Dipartimento di Ingegneria Civile, ha avviato uno studio per caratterizzare l'accessibilità del campus di Fisciano e la domanda di mobilità indotta.

Un'analisi dell'offerta di trasporto ha evidenziato che, non essendo servito da rete ferroviaria, i trasporti da e verso il campus sono esclusivamente su gomma, sia in modalità individuale che collettiva.

Si definisce:

- trasporto individuale quello per cui l'utente utilizza un mezzo proprio per spostarsi dal luogo di origine, accollandosi tutti i costi del viaggio.

Questa modalità è sicuramente favorita, nel caso in esame, dalla presenza del Raccordo Autostradale Salerno - Avellino, ma soprattutto dalla disponibilità di una vasta area di parcheggio, non soggetta a tariffe, che non determina ulteriori disutilità per gli utenti, oltre ai costi di viaggio e allo stress;

- trasporto collettivo quello grazie al quale l'utente usufruisce di autobus di linea sia pubblici che privati.

L'analisi della domanda, effettuata attraverso conteggi dei veicoli e del numero di passeggeri sui mezzi di trasporto ha definito l'universo degli utenti del sistema, le relative stratificazioni temporali, l'andamento orario della domanda.

La base dati ottenuta, integrata ed aggiornata nel 2002, ha consentito di condurre un'analisi prettamente descrittiva delle caratteristiche della domanda: origine dello spostamento, modalità di trasporto, costi, tempi, disponibilità di sistemi alternativi di trasporto, caratteristiche socioeconomiche dello studente.

Riguardo al trasporto individuale, il conteggio delle auto in ingresso e in uscita dal campus di Fisciano nell'arco di una giornata è stato effettuato durante un periodo di punta (mesi di ottobre-novembre), concomitante con lo svolgimento dei corsi universitari del primo semestre, su 12 ore attività, dalle 7:30 alle 19:30, suddividendole in intervalli di rilevazione di 15 minuti (Figura 4.48).



Figura 4.48 Andamento giornaliero delle auto in ingresso ed in uscita

Dal grafico riportato in figura si rileva che gli ingressi, per un valore di circa 9.000 auto in entrata, sono concentrati, come prevedibile, nella fascia diurna e riguardano un numero di studenti pari approssimativamente a 10.000 unità.

Gli arrivi hanno valori significativi già dalle 7:45, con oltre 200 auto in ingresso in quindici minuti: è possibile identificare tra le 8:00 e le 11:00 la concentrazione dei fenomeni di punta, che si concretizzano in una domanda entrante di circa 1.000-1.200 persone e in oltre 5.000 veicoli in ingresso, pari al 59% del totale.

Nelle altre fasce orarie la domanda si stabilizza su valori costanti, per poi ridursi lentamente a partire dalle 16:00, fascia oraria in cui la domanda entrante si attesta su un valore medio di 800 persone/ora.

Per le uscite, invece, l'andamento presenta valori di picco più bassi, distribuiti in quattro intervalli di tempo distinti.

Un primo picco di uscite si ha tra le 10:30 e le 10:45 con circa 300 auto, il secondo tra le 12:30 e le 13:45, quando si susseguono valori superiori a 250 auto per 15 minuti.

Successivamente, si rileva una diminuzione delle uscite fino al terzo periodo di punta, tra le 16:30 e le 16:45, e analogamente, fino al massimo di giornata di 398 auto in uscita tra le 18:30 e le 18:45.

Il numero dei veicoli in uscita è inferiore a quello degli ingressi, perché alcuni, presumibilmente, erano ancora presenti nel campus all'interruzione del conteggio.

Per caratterizzare l'utenza, nelle tabelle seguenti sono stati distinte le auto in ingresso e in uscita tra quelle attribuibili agli studenti, che rappresentano la maggioranza (quasi il 65%), e le altre, appartenenti a personale docente, tecnico amministrativo e ad eventuali visitatori.

N° auto	auto totali	auto studenti	altri
entrate	8687	5560	3127
uscite	8543	5619	2924

Tabella 4.6 Numero di auto in ingresso ed in uscita divise tra studenti e altri

% auto	% studenti	% altri
entrate	64.0	36.0
uscite	65.8	34.2

Tabella 4.7 Ripartizione percentuale delle auto in ingresso ed in uscita tra studenti e altri

Quanto alla ripartizione modale, nell'area di studio l'indagine ha distinto due realtà differenti: il sistema "Salerno – Università" ed il sistema "Area di Studio Extraurbana (*A.S.E.*) – Università". La città di Salerno, oltre a fornire una rilevante aliquota di domanda entrante, pari al 26% del totale, è collegata con il complesso universitario mediante un servizio di trasporto pubblico di tipo urbano ad alta frequenza.

Il sistema "Area di studio extraurbana – Università" è invece caratterizzato da molti comuni con aliquote di domanda inferiori al 5% del totale e da un servizio tipicamente ad orario e variamente cadenzato lungo l'arco della giornata.

La scelta della modalità di trasporto è estremamente variabile a seconda del contesto geografico esaminato. In Tabella 4.8 sono riportate le ripartizioni modali per gli utenti appartenenti al sistema "Salerno – Università" ed al sistema "*A.S.E.* – Università".

Modo di trasporto	Risultati aggregati		
	Tutto	SA	<i>A.S.E.</i>
Auto conducente	29%	26%	31%
Auto passeggero	10%	7%	10%
Car-pool	24%	23%	26%
Bus	36%	44%	33%
TOTALE (utenti)	-	2.531	7.314

Tabella 4.8 Ripartizione modale al variare del sistema territoriale

Gli utenti appartenenti ai bacini esterni alla città di Salerno utilizzano meno i mezzi di trasporto pubblico e ricorrono maggiormente al passaggio occasionale (Auto passeggero) oppure al Car-pool. L'utenza salernitana, invece, avendo a disposizione un servizio di trasporto pubblico presumibilmente più efficiente e sempre disponibile nel corso della giornata, si mostra più propensa ad utilizzare la modalità di trasporto pubblico ed il Car-pool.

In assenza di dati sulla mobilità universitaria aggiornati all'attualità, si è ipotizzato ancora valido l'esito dell'indagine del 2002.

I dati relativi alla distribuzione della popolazione residente in Campania sono stati ricavati dal portale web ufficiale ISTAT, mentre quelli sulla

popolazione studentesca, ricavati dalla Rilevazione del MIUR sull'istruzione Universitaria, fanno riferimento agli anni accademici dal 2009/2010 al 2015/2016.

Nella valutazione dell'utenza di riferimento sono stati considerati soltanto gli iscritti residenti nelle province della regione Campania, sia perché rappresentano la maggioranza (gli studenti residenti in altre regioni corrispondono a circa il 5% del totale), sia perché è ipotizzabile che essi abbiano una temporanea residenza in aree limitrofe al campus, non influenzando, pertanto, in maniera significativa la mobilità da e verso l'Università.

Esaminando la ripartizione percentuale degli iscritti per provenienza tra le province campane, si rileva che la maggior parte viene dalla provincia di Salerno, mentre il secondo maggiore apporto è fornito da Avellino e Napoli, seguite da Benevento e Caserta (Figura 4.49).

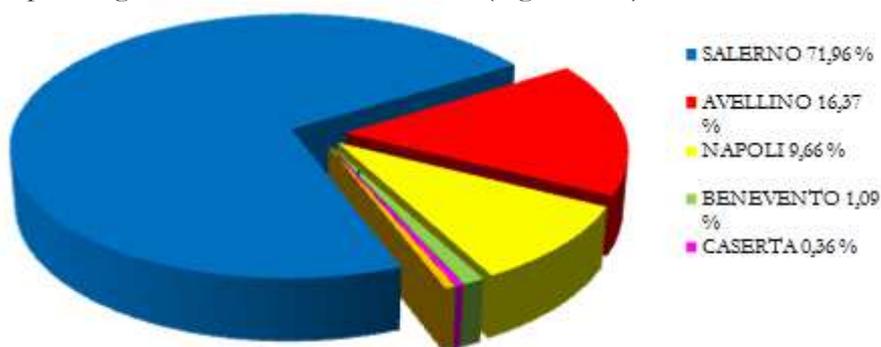


Figura 4.49 Ripartizione degli studenti nel campus di Fisciano per provincia di provenienza (MIUR)

Il traffico veicolare produce emissioni in atmosfera che possono essere distinte, in base all'origine, in:

- emissioni allo scarico (PM10, NO_x, CO, SO₂, COV);
- emissioni da abrasione, dovute all'abrasione di freni, pneumatici o asfalto (PM10);
- emissioni evaporative (composti organici volatili che evaporano dal carburante).

Le emissioni allo scarico si stimano con metodologie e dati statistici diversi a seconda del grado di dettaglio richiesto.

Nel caso del traffico veicolare, dettagliando la formula più generale, si avrà:

$$E = N^{\circ}_{\text{veicoli}} * P * FE$$

in cui:

E = emissione allo scarico di un dato inquinante (kg);

$N^{\circ}_{\text{veicoli}}$ = numero di veicoli;

P = percorrenza media (in km)

FE = fattore di emissione corrispondente all'inquinante selezionato (g/km).

Il fattore di emissione (FE) esprime il valore medio (su base temporale e spaziale) che lega la quantità di inquinante rilasciato in atmosfera con l'attività responsabile dell'emissione.

Sono disponibili fattori di emissione “medi” ottenuti dagli inventari delle emissioni su ampi territori.

I fattori di emissione medi relativi al trasporto stradale sono calcolati rispetto ai km percorsi ed ai consumi, in riferimento sia al dettaglio delle tecnologie che all'aggregazione per settore e combustibile, ed elaborati sia a livello totale che per distinte condizioni di marcia: ambito urbano, extraurbano ed autostradale.

Nel nostro caso, sono stati utilizzati i valori della banca dati dei fattori di emissione medi relativi al trasporto stradale Sinanet, Rete del Sistema Informativo Nazionale Ambientale, che si basa sulle stime effettuate ai fini della redazione dell'inventario nazionale delle emissioni in atmosfera.

Effettuare una stima delle emissioni da traffico veicolare prodotte dai veicoli circolanti nel campus di Fisciano richiede di :

- determinare la consistenza del parco veicolare di riferimento;
- individuare i fattori di emissione specifici;
- stimare la percorrenza media dei veicoli costituenti il parco veicolare individuato.

Per la caratterizzazione del parco auto circolante è stato adoperato il database dell'Automobile Club d'Italia (Annuario statistico e “Autoritratto”, relativi all'anno 2014), avente ad oggetto la rappresentazione del parco veicolare italiano, con dati nazionali e provinciali.

I veicoli, suddivisi per categoria, alimentazione e per un carattere specifico che ne individua la potenza – cilindrata per le autovetture ed i motocicli, peso complessivo per i veicoli merci, posti per gli autobus –

vengono classificati dalla Motorizzazione in base alla Direttiva antinquinamento rispettata. Qualora questo dato non sia disponibile in archivio, i veicoli vengono classificati a seconda dell'epoca di fabbricazione in una griglia che ricalca sostanzialmente i periodi di conformità obbligatoria alle Direttive promulgate dall'Unione Europea che hanno via via ridotto i limiti massimi delle emissioni allo scarico in fase di omologazione.

In base ai risultati dell'analisi relativa alla provenienza degli studenti, si è ragionevolmente ipotizzata un'analoga ripartizione delle auto per provincia di origine, facendo riferimento ai dati sulle caratteristiche del parco auto della provincia di Salerno per l'anno 2014.

Ai fini del calcolo delle emissioni, pertanto, il parco veicolare circolante nel campus, che si è ipotizzato costituito esclusivamente da auto ed autobus, è stato ripartito in classi proporzionalmente alla composizione percentuale del parco veicolare della provincia di Salerno.

Le classi previste distinguono le autovetture in base alla tipologia di alimentazione, alla cilindrata e alla classe Euro.

Dalla Figura 4.50 si può osservare, ad esempio, la suddivisione delle auto in base ai diversi tipi di carburante utilizzato (benzina, gpl, metano e gasolio).

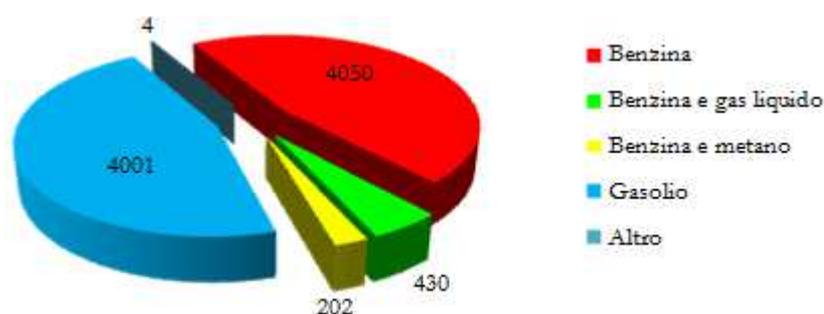


Figura 4.50 Numero di autovetture nel campus di Fisciano distinte per alimentazione

Come anticipato, il sistema di trasporto collettivo a servizio della sede di Fisciano è rappresentato unicamente da un servizio di trasporti su gomma di tipo urbano ed extraurbano effettuato mediante autobus.

Per la stima delle emissioni generate dal trasporto pubblico, si è fatto riferimento al numero di corse presenti nel periodo di maggiore

frequenza, calcolandone il totale, riferito sia al percorso di andata che a quello di ritorno.

In particolare, si è attribuito un autobus ad ogni corsa di andata e ritorno, e, nel caso in cui il numero delle corse di andata fosse diverso da quello di ritorno, si è considerato il maggiore tra i due.

Analogamente alle autovetture, l'ACI fornisce la ripartizione del parco veicolare anche per gli autobus, distinti per uso (pubblico, privato, noleggio e altri usi), alimentazione e categoria Euro.

Nella provincia di Salerno risultano complessivamente 2331 autobus circolanti, di cui il 98,7% alimentato a gasolio: si è, dunque, ipotizzato questo tipo di alimentazione per tutti gli autobus circolanti nel campus di Fisciano, suddivisi in categorie in base alla classe Euro, secondo la composizione percentuale del parco veicolare provinciale, come rappresentato in Figura 4.51.

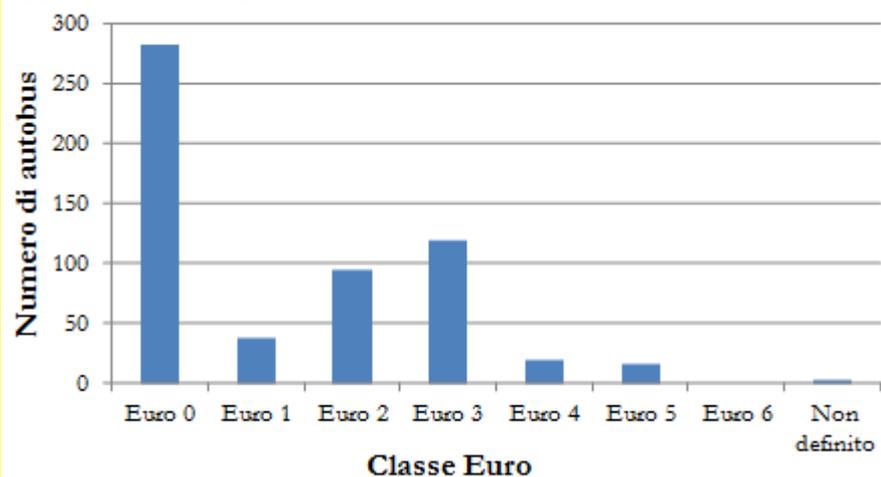


Figura 4.51 Autobus a gasolio distinti per classe Euro

Note le caratteristiche quantitative e qualitative del parco veicolare, sono state stimate le percorrenze medie dei veicoli all'interno dal campus di Fisciano, distinguendo tra autobus e automobili: la lunghezza del percorso medio ipotizzato è di 2 km per gli autobus, tutti diretti verso il Terminal, e di 3,5 km per le autovetture, considerando differenti possibili alternative ed un incremento dell'itinerario percorso dalle auto per la ricerca del parcheggio.

Il traffico veicolare è stato schematizzato come una sorgente emissiva di tipo areale coincidente con la superficie complessiva del campus,

viste le caratteristiche della viabilità e del traffico, più simili al caso di un quartiere urbano che di una rete stradale

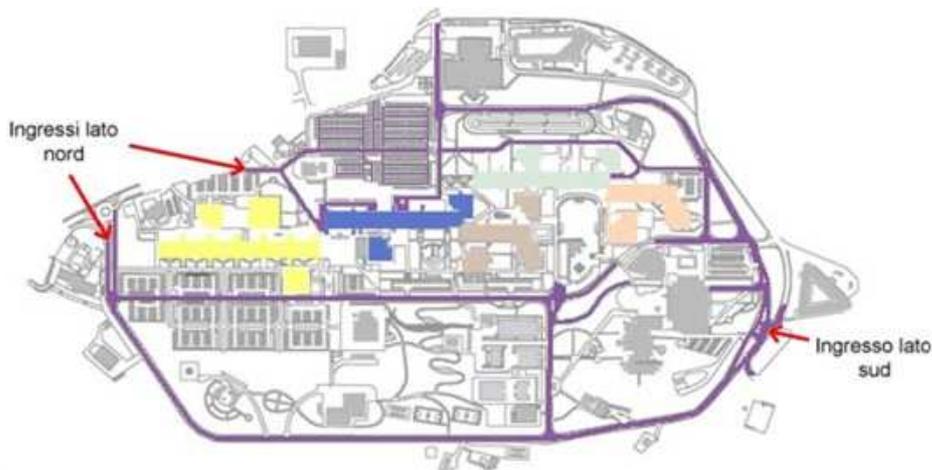


Figura 4.52 Ingressi e viabilità del campus di Fisciano

Tra gli inquinanti da considerare in un inventario bisogna distinguere tra quelli ubiquitari, normati a livello nazionale, per quanto concerne la qualità dell'aria (D. Lgs. 155/2010 e s.m.i.) e quelli emessi da particolari attività, che in generale dipendono da specificità inerenti all'area oggetto di indagine e dalle finalità dell'inventario.

La stima delle emissioni in atmosfera, in questo caso, è stata effettuata con riferimento agli inquinanti normati ritenuti più significativi, visto il complesso dei settori emissivi analizzati e le relative caratteristiche:

- Monossido di Carbonio (CO);
- Biossido di Carbonio (CO₂);
- Ossidi di Azoto (NO_x);
- PM2.5;
- PM10.

Le emissioni giornaliere degli inquinanti selezionati sono state calcolate, a vantaggio di sicurezza, con riferimento allo scenario descritto nell'analisi di mobilità, relativo agli esiti di un'indagine condotta in un periodo di punta, con la massima affluenza dell'utenza universitaria.

Nell'ipotesi conservativa adottata, si è scelto di considerare le condizioni di massima affluenza costanti nel corso dell'anno, senza

4. Il campus universitario di Fisciano come esempio di struttura complessa

utilizzare un coefficiente riduttivo per tener conto dei periodi di minore afflusso veicolare.

Dal dato emissivo giornaliero calcolato si è ricavato quello annuale, riferito ad un numero medio di giorni lavorativi (250 giorni) e, quindi, di attività del campus.

I valori complessivi delle emissioni da traffico veicolare, per autoveicoli ed autobus, sono riepilogati di seguito nella Tabella 4.9.

INQUINANTE	EMISSIONE giornaliera (kg)	EMISSIONE annua (kg)
CO	164,74	41.185
CO2	8.252,91	2.063.227,50
NO _x	38,79	9.697,50
PM2,5	2,06	515,00
PM10	2,30	575,00

Tabella 4.9 Emissioni giornaliere ed annue di inquinanti da traffico veicolare nel campus

4.1.4.3 Emissioni da produzione energetica

La stima delle emissioni viene effettuata in modo diversificato a seconda della tipologia delle sorgenti:

- per le sorgenti puntuali, è possibile riportare direttamente il dato di emissione. In mancanza di dati in riferimento, si possono effettuare delle stime sulla base di un opportuno fattore di emissione;
- per le sorgenti lineari e areali le emissioni sono stimate su base territoriale utilizzando l'approccio generale precedentemente illustrato.

Per le sorgenti lineari, generalmente sistemi di trasporto, occorre individuare le principali arterie di comunicazione ed applicare specifici metodi di calcolo per la stima delle emissioni.

Ad esempio, su scala provinciale, è possibile far rientrare in questa categoria le emissioni attribuibili alle tratte autostradali ed alle principali vie di collegamento e considerare invece il traffico cittadino come emissioni diffuse. Nel caso di inventari urbani, invece, vengono generalmente considerate come areali le emissioni attribuibili al traffico presente nelle vie secondarie di scorrimento interquartiere. La stima complessiva delle emissioni riferite ad una certa area è data dalla somma di tutte le categorie di emissioni presenti sul suo territorio.

La presenza di numerose tipologie di sorgente – un numero ampliatosi notevolmente nel corso degli anni - ha portato alla necessità di elaborare delle codifiche che ne permettessero una classificazione univoca. Per questa ragione, nell'ambito del progetto europeo CORINAIR è stata adottata una nomenclatura unica ed uguale per tutti, detta SNAP (Selected Nomenclature for Air Pollution).

Tale classificazione si basa sulla ripartizione delle attività antropiche e naturali responsabili di emissioni in atmosfera di inquinanti monitorati in undici macrosettori.

Nel 2001 l'UNECE (United Nations Economic Commission for Europe) ha sviluppato un nuovo sistema di classificazione delle sorgenti, chiamato NFR (Nomenclature For Reporting), per la redazione degli inventari annuali delle emissioni, stabilendo una correlazione con altri sistemi, tra cui quello SNAP, che ha avuto grande diffusione.

La classificazione NFR viene utilizzata dagli inventari IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) e nella versione 2016

della EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook, la guida tecnica per la redazione degli inventari nazionali delle emissioni.

Il sistema NFR è stato elaborato su basi socio-economiche, considerando i raggruppamenti che ne conseguono come il metodo più semplice ed efficace ai fini della descrizione delle emissioni e della semplificazione dell'uso dell'inventario. In altre parole, la classificazione SNAP è più vicina al livello tecnico, con suddivisioni che tengono conto delle tecnologie e dei metodi di stima, mentre la NFR è più vicina ai decisori politici.

I macrosettori nel formato NFR, riportati di seguito in tabella 4.10, sono:

1. Energia;
2. Processi industriali;
3. Uso di solventi e altri prodotti;
4. Agricoltura;
5. Uso del suolo;
6. Rifiuti.

Il macrosettore 1 - "Energia" comprende emissioni da sorgenti stazionarie e mobili: tutte le combustioni in caldaie, forni, turbine e motori a combustione interna, sia per la produzione di energia che per il riscaldamento residenziale e industriale, e, non ultimo, il trasporto su strada. In questo macrosettore sono inclusi anche gli aerei, le ferrovie, la navigazione, le torce nell'industria. Esso ricopre i macrosettori SNAP 1 (produzione di energia), 2 (combustione non industriale), 3 (combustione nell'industria), 7 (trasporto su strada), 8 (altre sorgenti mobili e macchinari) e parte del 9 (rifiuti).

Il macrosettore 1 comprende, tra l'altro, attività di combustione con una potenza termica ≤ 50 MWt (*Small combustion*), essenzialmente sorgenti ed impianti in scala ridotta rispetto a quelli del macrosettore "Energia e industria di trasformazione", nei seguenti ambiti:

- 1.A.4.a — Commerciale/istituzionale;
- 1.A.4.b — Residenziale;
- 1.A.4.c — Agricoltura/forestale;
- 1.A.5.a — Altro (combustione stazionaria).

SECTOR	ACTIVITY DATA	SOURCE
1 Energy		
1A1 Energy Industries	Fuel use	Energy Balance - Ministry of Economic Development Major national electricity producers European Emissions Trading Scheme
1A2 Manufacturing Industries and Construction	Fuel use	Energy Balance - Ministry of Economic Development Major National Industry Corporation European Emissions Trading Scheme
1A3 Transport	Fuel use Number of vehicles Aircraft landing and take-off cycles and maritime activities	Energy Balance - Ministry of Economic Development Statistical Yearbooks - National Statistical System Statistical Yearbooks - Ministry of Transportation Statistical Yearbooks - Italian Civil Aviation Authority (ENAC) Maritime and Airport local authorities
1A4 Residential-public-commercial sector	Fuel use	Energy Balance - Ministry of Economic Development
1B Fugitive Emissions from Fuel	Amount of fuel treated, stored, distributed	Energy Balance - Ministry of Economic Development Statistical Yearbooks - Ministry of Transportation Major National Industry Corporation
2 Industrial Processes	Production data	National Statistical Yearbooks- National Institute of Statistics International Statistical Yearbooks-UN European Emissions Trading Scheme European Pollutant Release and Transfer Register Sectoral Industrial Associations
3 Solvent and Other Product Use	Amount of solvent use	National Environmental Publications - Sectoral Industrial Associations International Statistical Yearbooks - UN
4 Agriculture	Agricultural surfaces Production data Number of animals Fertilizer consumption	Agriculture Statistical Yearbooks - National Institute of Statistics Sectoral Agriculture Associations
5 Land Use, Land Use Change and Forestry	Forest and soil surfaces Amount of biomass Biomass burnt Biomass growth	Statistical Yearbooks - National Institute of Statistics State Forestry Corps National and Regional Forestry Inventory Universities and Research Institutes
6 Waste	Amount of waste	National Waste Cadastre - Institute for Environmental Protection and Research National Waste Observatory

Tabella 4.10 Principali indicatori di attività e sorgenti nella classificazione NFR (EEA 2016)

Le emissioni da produzione energetica del campus di Fisciano rientrano nel macrosettore 1 NFR, precisamente nel sotto-settore *Small combustion*, categoria 1.A.4.a.i, corrispondente, nella classificazione SNAP, al Macrosettore 2 – Combustione non industriale, settore 020100, relativo ad Impianti commerciali ed istituzionali, di categoria 020103 (caldaie con potenza termica < 50 MW).

Per la stima delle emissioni si è fatto riferimento ai metodi e ai dati richiesti dalla EMEP/EEA Guidebook (EEA, 2016), nel capitolo relativo alla categoria NFR *Small combustion*.

Nella metodologia utilizzata, le emissioni inquinanti sono divise in settori, raggruppate in relazione a processi e sorgenti, ed ogni settore comprende singole categorie e subcategorie.

I metodi per la valutazione delle emissioni sono differenziati rispetto al livello di complessità metodologica (*Tiers*) adoperato: usualmente sono proposti tre *Tiers*, dal più semplice al più accurato, che richiede dati ed analisi più complessi.

Individuate le attività in base al macrosettore di appartenenza, è necessario distinguerle tra puntuali ed areali.

Le principali sorgenti emissive da produzione energetica del campus, la centrale termica e l'impianto di cogenerazione, possono essere ricondotte a sorgenti di tipo puntuale.

Le emissioni sono state calcolate in riferimento agli inquinanti potenzialmente presenti in base al tipo di attività (Tabella 4.11) e al combustibile utilizzato (gas naturale).

Activity	Source releases													
	PM (TSP)	PM ₁₀	PM _{2.5}	Black Carbon (BC)	Oxides of sulphur	Oxides of nitrogen	Oxides of carbon	Hydrogen chloride, fluoride	Volatile organic compounds	Metals (excluding mercury and cadmium) and their compounds	Mercury, cadmium	PAH	Dioxins, PCB, HCB	Ammonia
Commercial / institutional plants	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Residential plants	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Agriculture / forestry	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	

Tabella 4.11 Inquinanti potenzialmente emessi in impianti di piccola combustione per tipologia di attività (EEA 2016)

Noti i consumi annui di combustibile, il valore del P.C.I. del gas naturale utilizzato ed il rendimento medio degli impianti (caldaie e cogeneratore), è stata calcolata l'energia prodotta, che rappresenta l'indicatore di attività rispetto a cui sono forniti i fattori di emissione per gli specifici inquinanti.

I valori dei fattori di emissione utilizzati nel calcolo sono tabellati nella EMEP/EEA Guidebook versione 2016 in riferimento al codice della categoria di sorgente NFR.

Nello specifico, si riporta in Tabella 4.12 un estratto della tabella contenente i fattori di emissione, riferiti al primo livello metodologico (Tier 1).

Tier 1 default emission factors					
	Code	Name			
NFR Source Category	1.A.4.a.i 1.A.4.c.i 1.A.5.a	Commercial / institutional: stationary Agriculture / forestry / fishing: Stationary Other, stationary (including military)			
Fuel	Gaseous Fuels				
Not applicable	PCB, HCB				
Not estimated	NH ₃				
Pollutant	Value	Unit	95% confidence interval		Reference
			Lower	Upper	
NO _x	74	g/GJ	46	103	*
CO	29	g/GJ	21	48	*
NM _{VO} C	23	g/GJ	14	33	*
SO _x	0.67	g/GJ	0.40	0.94	*
TSP	0.78	g/GJ	0.47	1.09	*
PM ₁₀	0.78	g/GJ	0.47	1.09	*
PM _{2.5}	0.78	g/GJ	0.47	1.09	*

* average of Tier 2 EFs for commercial/institutional gaseous fuel combustion for all technologies
The TSP, PM10 and PM2.5 emission factors have been reviewed and it is unclear whether they represent filterable PM or total PM (filterable and condensable) emissions

Tabella 4.12 Fattori di emissione per sorgenti di categoria NFR 1.A.4.a/c, 1.A.4.a alimentate con combustibili gassosi, Tier 1 (EEA 2016)

Dai calcoli effettuati risultano i valori di emissioni annue di inquinanti da produzione energetica, riportati in Tabella 4.13:

Sorgente	Emissione annua NO _x (kg)	Emissione annua CO (kg)	Emissione annua PM _{2,5} (kg)	Emissione annua PM ₁₀ (kg)
CT Fisciano	1.832,911	718,303	19,319	19,319
Cogeneratore	2.070,443	811,390	21,823	21,823

Tabella 4.13 Emissioni annue da combustione stazionaria per produzione energetica nel campus di Fisciano

4.1.4.4 Stima della dispersione in atmosfera e ricaduta al suolo

Per analizzare e valutare la dispersione degli inquinanti nell'ambiente emessi, è possibile ricorrere a modelli matematici in grado di simulare in modo semplificato, attraverso equazioni e algoritmi, sia i fenomeni di dispersione che di trasformazione chimico-fisica delle sostanze inquinanti in atmosfera.

Tramite l'applicazione di tali modelli è possibile simulare la concentrazione in aria degli inquinanti emessi dalla sorgente, per ogni ora del dominio di tempo considerato sul territorio circostante la sorgente.

Le concentrazioni simulate presso ciascun recettore sono elaborate per calcolare i parametri sintetici da confrontare con i limiti di qualità dell'aria vigenti.

I risultati del modello possono essere rappresentati graficamente mediante una mappa, sulla quale sono tracciate le linee isovalore della grandezza scelta per la rappresentazione.

In generale, i modelli matematici per la qualità dell'aria possono essere suddivisi, in funzione dell'approccio analitico adottato, circa le modalità di trattazione delle proprietà di un fluido in fluidodinamica:

- **modelli di dispersione deterministici**, che si propongono di ricostruire in maniera quantitativa i fenomeni che determinano l'evoluzione spazio-temporale della concentrazione degli inquinanti in atmosfera;
- **modelli di dispersione stocastici**, che prevedono le concentrazioni non in base a relazioni di causa-effetto, ma analizzando, con tecniche statistiche di varia complessità, la struttura del processo spazio-temporale sottostante ai dati rilevati nel passato da una rete di monitoraggio (di qualità dell'aria o meteorologica).

Per quanto riguarda i modelli deterministici, è possibile distinguere due approcci per la modellazione della dispersione turbolenta in atmosfera:

- **approccio euleriano**, che descrive la concentrazione delle specie rispetto ad un volume di controllo inserito in un sistema di coordinate fisso;
- **approccio lagrangiano**, che descrive i cambiamenti di concentrazione rispetto al fluido in movimento.

I modelli euleriani possono essere distinti in analitici (gaussiani e a puff), a box e a griglia, mentre quelli lagrangiani in modelli a traiettoria o a particelle (Figura 4.53).

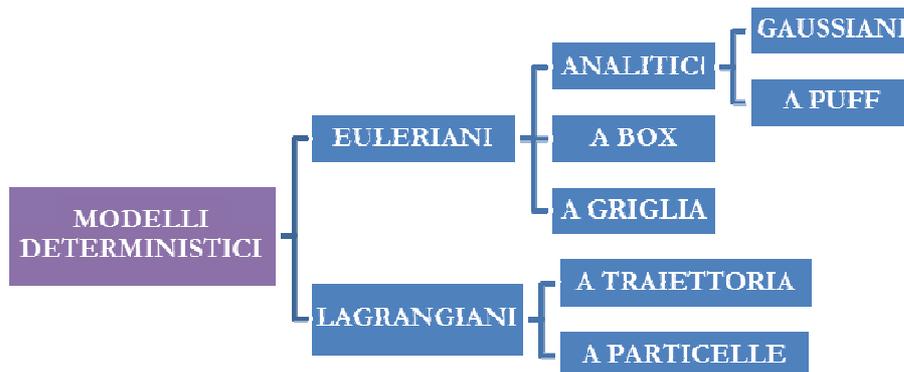


Figura 4.53 Classificazione dei modelli matematici per lo studio degli inquinanti (Finzi et al., 2001)

In particolare, i **modelli gaussiani** appartengono alla famiglia dei modelli analitici, basati sull'integrazione, in condizioni semplificate, dell'equazione generale di trasporto e diffusione. Essi sono in grado di descrivere l'andamento al suolo della concentrazione sottovento dovuta ad una sorgente continua puntiforme, ipotizzando per la dispersione una legge di tipo gaussiano. Sono modelli di facile utilizzo, perché adottano una serie di semplificazioni restrittive: stazionarietà e omogeneità delle condizioni meteorologiche, velocità orizzontale del vento non nulla nella direzione del vento e mediamente nulla sul piano ortogonale ad essa, terreni piani, assenza di trasformazioni chimiche.

I **modelli analitici a puff**, invece, rappresentano un'estensione dei modelli gaussiani e permettono di ricostruire la dispersione degli inquinanti in condizioni non omogenee e non stazionarie. Il valore della concentrazione in un punto è ottenuto tramite somma dei contributi delle concentrazioni dei vari puff all'interno del dominio, ricordando che la dispersione per ciascuno di essi segue sempre una legge di tipo gaussiano.

La scelta dello strumento modellistico da utilizzare è legata alle caratteristiche del problema da affrontare, che viene definito attraverso:

- scala spaziale, distinguendo tra microscala, scala locale, mesoscala, scala regionale e scala globale;

- scala temporale, distinguendo tra applicazioni *long-term* (mesi-anni) per la valutazione di effetti di esposizione cumulata o *short-term* (ore-giorni) per lo studio di episodi critici;
- dominio, distinguendo, in ordine di complessità crescente, tra tipologie di terreni da piani a complessi o tra domini urbani e rurali;
- inquinanti, distinguendo tra gas, aerosol e particolato o se si tratti di inerti o reattivi;
- meteorologia, valutando l'effetto del trasporto ad opera di campi di vento e della diffusione turbolenta sulla dispersione degli inquinanti in atmosfera;
- sorgenti emissive, distinte tra puntuali, lineari o areali e volumetriche;
- regime, distinguendo tra condizioni costanti dei fenomeni da riprodurre o condizioni evolutive, se variabili nel tempo.

Il caso delle emissioni del campus universitario di Fisciano è un problema di scala locale (la scala spaziale è dell'ordine delle decine di chilometri) su un terreno complesso, che richiede un'applicazione di tipo *long-term*, con modelli in grado di considerare le emissioni di sorgenti di tipo puntuale e areale in regime non stazionario e con campi meteorologici complessi.

I modelli a puff sono particolarmente indicati in condizioni di terreno complesso ed in presenza di condizioni meteorologiche ed emissive evolutive, ricostruendo opportunamente la struttura tridimensionale del campo di vento e della turbolenza.

Si è utilizzato CALPUFF, un modello di dispersione gaussiano non stazionario a *puff*, che simula la diffusione di inquinanti attraverso il rilascio di una serie continua di sbuffi, seguendone la traiettoria in base alle condizioni meteorologiche, ed è in grado di riprodurre il trasporto, la trasformazione e la deposizione di inquinanti in condizioni meteorologiche variabili non omogenee e non stazionarie.

La modellazione è stata effettuata con il software Maind Model Suite Calpuff, programma di gestione del modello CALPUFF di Earth Tech inc., sviluppato con l'obiettivo di rendere agevole la gestione di un modello complesso, che richiede dati meteo climatici, geofisici ed emissivi.

Gli elementi di un progetto di calcolo per CALPUFF sono:

- dominio, contenente la descrizione del dominio di calcolo e dei vari reticoli che lo definiscono (dominio di calcolo, dominio meteorologico, dominio di salvataggio) e la lista dei recettori discreti;
- inquinanti, la lista degli inquinanti utilizzati nel progetto;
- dati meteo, i dati meteorologici utilizzati nel calcolo;
- sorgenti emissive, la lista delle sorgenti emissive utilizzate nel progetto, suddivise in sorgenti puntiformi, sorgenti areali, sorgenti volumetriche e gruppi di linee di produzione;
- visualizzatore, che visualizza gli elementi presenti nel progetto;
- calcolo, che effettua i calcoli e visualizza la lista dei calcoli effettuati consentendone l'esame.

Il modello CALPUFF utilizza tre domini innestati tra loro:

- il dominio meteorologico è il più grande e rappresenta il dominio dove sono presenti i dati calcolati da *CALMET* se presenti;
- il dominio di calcolo è contenuto nel dominio meteorologico e rappresenta il dominio dove vengono effettuati i calcoli;
- il dominio di salvataggio dei dati è contenuto nel dominio di calcolo e può essere reso più denso utilizzando un fattore di *nesting* (annidamento).

I dati relativi ai campi meteorologici tridimensionali, acquisiti esternamente, sono stati ottenuti attraverso il preprocessore *CALMET*, in riferimento alla regione individuata e al periodo temporale selezionato, l'anno 2015. Le caratteristiche principali del dominio meteorologico richiesto sono:

- dimensioni orizzontali totali: 20 km x 20 km;
- risoluzione orizzontale (dimensioni griglia): $dx = dy = 1000$ m;
- risoluzione verticale (quota livelli verticali): 0-20-50-90-110-290-410-990-2010-2990-4010 m sul livello del suolo.

L'importazione dei dati meteo ha comportato anche l'acquisizione dell'orografia delle celle del reticolo del dominio meteorologico, non modificabile, a differenza di quello di calcolo e di campionamento, che vengono impostati dall'utente.

La selezione del dominio di calcolo è molto importante: un dominio troppo limitato rischia di nascondere effetti importanti, mentre un dominio troppo vasto e un fattore di *nesting* alto producono tempi di calcolo e dimensione dei file di output elevati, che possono rendere difficoltosa la successiva analisi dei risultati.

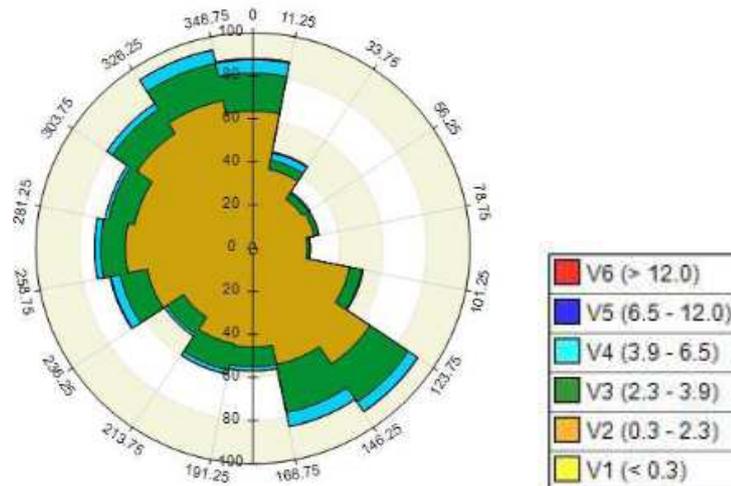


Figura 4.54 Grafico della rosa dei venti per il dominio richiesto (MAIND, 2016)

Il dominio di calcolo, assunto coincidente con quello di campionamento, e' stato fissato di dimensioni 4x4 km ed è rappresentato di seguito, in Figura 4.54, con un rettangolo di colore rosso con origine in OR; la risoluzione delle celle del reticolo è stata incrementata con un fattore di *nesting* pari a 4.

Sono stati considerati tre recettori, scelti in relazione alla tipologia di utenza: i due lotti di residenze universitarie, realizzati uno all'interno dell'area del campus e l'altro all'esterno del perimetro universitario, e l'Asilo nido aziendale, ubicato nel centro abitato di Fisciano.

Nella lista degli inquinanti da includere nella modellazione sono stati inseriti quelli di maggior rilevanza, considerata la tipologia e le caratteristiche delle sorgenti: NO_x, CO, PM₁₀, PM_{2.5}.

Nella modellazione delle sorgenti emissive il traffico veicolare è stato considerato una sorgente areale di superficie coincidente con l'area del campus (il poligono individuato dai vertici v1 - v6 in Figura 4.55) e la Centrale termica ed il Cogeneratore sono stati trattati come sorgenti puntuali (CT e CG).

Esse sono state individuate sia in termini di caratteristiche fisiche che emissive.



Figura 4.55 Dominio di calcolo e sorgenti di emissione nel campus di Fisciano

Come esposto precedentemente, per le emissioni da traffico veicolare si è adottata un'ipotesi conservativa: sono state ritenute costanti nel corso dell'anno e pari ai valori calcolati in un periodo di punta, nonostante la netta diminuzione dell'affluenza nei periodi di interruzione delle attività didattiche determini certamente una riduzione dei valori emissivi.

Le emissioni da combustione per produzione energetica, discontinue, sono state valutate separatamente per la centrale termica e per l'impianto di cogenerazione, che hanno periodi e regimi di funzionamento differenti, pur essendo alimentati entrambi a gas naturale.

La centrale termica, infatti, composta da 5 caldaie, di cui una ausiliaria, è attiva dal 1 novembre al 15 aprile, dal lunedì al venerdì con il 100% di attività nella fascia oraria 8-12 e, approssimativamente, con il 50% in quella 12-17.

L'impianto di cogenerazione invece, è attivo tutto l'anno, tutti i giorni della settimana, con un regime di attività all'incirca pari al 100% della potenzialità nella fascia oraria 8-18 e pari al 50 % nelle restanti ore.

Si è scelto di creare un apposito file di controllo, in cui sono riportati di ora in ora i valori stimati delle emissioni variabili, per tutti i giorni dell'anno, per ciascuna delle sorgenti emissive e degli inquinanti selezionati.

Ciò ha richiesto una schematizzazione dei regimi di funzionamento mensili, giornalieri ed orari delle sorgenti e dei differenti valori emissivi. Sono stati utilizzati dati sulle caratteristiche fisiche ed emissive delle sorgenti di combustione (geometria del camino, velocità e temperatura dei fumi, portata massica e concentrazione di inquinanti) ricavati da precedenti attività di campionamento.

I risultati della modellazione possono essere rappresentati graficamente su mappe su cui sono riportate le isolinee di concentrazione per ciascuno degli inquinanti considerati nel modello di calcolo di diffusione in atmosfera.

L'elaborazione dei risultati ottenuti dal modello è stata effettuata con il postprocessore MMS RunAnalyzer, che consente di esportare l'immagine delle isolinee su Google Earth, georeferenziando l'immagine e di effettuare una verifica del rispetto dei limiti normativi.

A titolo esemplificativo, si riporta in Figura 4.56 la mappa con le isolinee di concentrazione degli NOx sul dominio di calcolo considerato, esportata su Google Earth.

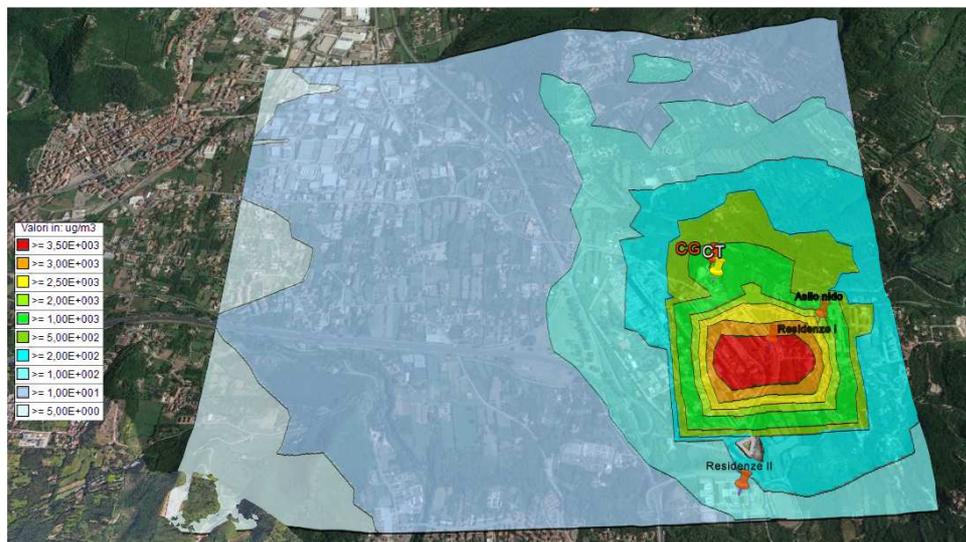


Figura 4.56 Isolinee di concentrazione degli ossidi di azoto

Il confronto tra i valori di concentrazione restituiti dalla modellazione ed i limiti di legge stabiliti dal D. Lgs. 155/2010 e s.m.i. in riferimento agli inquinanti NO_x, CO, PM_{2.5} e PM₁₀ evidenzia che i valori emissivi ottenuti dalla modellazione non determinano superamento dei limiti di legge.

Gli esiti della modellazione effettuata sono coerenti con i risultati di un monitoraggio della qualità dell'aria nel campus universitario di Fisciano effettuato nell'anno 2012 .

Le postazioni di monitoraggio, selezionate considerando le principali sorgenti di inquinamento presenti all'epoca per valutarne l'influenza sui parametri monitorati, sono state collocate in maniera da racchiudere l'intera area del campus (Figura 4.57):

- IDAR01 (*Laboratorio SEED*)
- IDAR02 (*C.U.S.*)
- IDAR03 (*Parcheeggio Multipiano*)
- IDAR04 (*I lotto Residenze universitarie*)



Figura 4.57 Postazioni di monitoraggio

In accordo con le direttive nazionali ed europee, il monitoraggio è stato condotto tenendo conto degli inquinanti da rilevare e della strumentazione adeguata a tal fine.

In Tabella 4.14 sono riportati i parametri monitorati.

Tipologia	Parametro	Unità di misura
Parametri atmosferici	CO	mg/m ³
	NO	µg/m ³
	NO ₂	µg/m ³
	NO _x	µg/m ³
Polveri	PM10	µg/m ³
	PM2.5	µg/m ³

Tabella 4.14 Parametri atmosferici monitorati

Dall'attività di monitoraggio è risultato che le concentrazioni di inquinanti rilevate sono tutte entro i limiti stabiliti dalla normativa.

In particolare, i valori di monossido di carbonio hanno presentato una variabilità molto limitata, rientrando nel limite normativo, pari a 10 mg/m³.

I valori medi di CO rilevati in ciascuna postazione durante il periodo di campionamento sono risultati inferiori al limite imposto dalla normativa di circa un ordine di grandezza.

Il biossido di azoto ha mostrato una variazione temporale dell'andamento delle concentrazioni delle medie giornaliere differente per le quattro postazioni. I valori rispettano i limiti di legge: 200 µg/m³ è il limite di concentrazione della media oraria massima giornaliera imposto dalla normativa per il biossido di azoto. I valori medi raggiungono al massimo la metà del limite fissato.

Dall'analisi dei dati relativi al PM10 si evince che, per tutte e quattro le postazioni, il limite normativo di 50 µg/m³ non è mai stato superato.

Soltanto le concentrazioni di particolato PM2.5 registrate nella postazione IDAR01 sono risultate particolarmente elevate, a causa dell'interferenza dovuta alla presenza di una centrale di betonaggio, attualmente non più in esercizio.

4.1.4.5 Criticità ed ipotesi di miglioramento delle prestazioni

Dalla modellazione della diffusione in atmosfera degli inquinanti indotti dalla presenza del campus di Fisciano, legati al traffico veicolare ed alla combustione per produzione energetica, emerge il rispetto dei limiti di legge fissati dal D.Lgs. 155/2010 e s.m.i. .

Le emissioni da produzione energetica, pur rappresentando l'aliquota principale del totale annuo prodotto dal campus non rappresentano un elemento di criticità, anche in considerazione del crescente ricorso da parte dell'Ateneo salernitano a fonti di approvvigionamento energetico alternative e rinnovabili: oltre ad un costante investimento per incrementare l'installazione di impianti fotovoltaici e solari termici, sono stati realizzati i primi impianti geotermici a bassa entalpia.

Inoltre, il progresso delle tecnologie per l'abbattimento primario (in camera di combustione) e secondario degli inquinanti prodotti e gli obblighi normativi nazionali e regionali sempre più stringenti imposti alle fonti emmissive lasciano sperare che il contributo inquinante di questo settore sia in progressiva diminuzione.

Sorgente	Emissione annua NOx (kg)	Emissione annua CO (kg)	Emissione annua PM2,5 (kg)	Emissione annua PM10 (kg)
CT Fisciano	1.832,911	718,303	19,319	19,319
Cogeneratore	2.070,443	811,390	21,823	21,823

Tabella 4.15 Valori emissivi annui da sorgenti di combustione stazionaria per produzione energetica

Per la stima su scala locale delle emissioni inquinanti dei veicoli circolanti nel campus principale dell'Università di Salerno, è stato utilizzato un approccio *bottom-up*, che ha permesso di stimare le emissioni, note una serie di informazioni circa le caratteristiche della mobilità legata al campus, la composizione del parco veicolare circolante e le percorrenze medie.

I risultati ottenuti sono riportati di seguito nella Tabella 4.16.

Sorgente	Inquinante	Emissione annua (kg)
Traffico veicolare	CO	41.185,00
	CO2	2.063.227,50
	NOX	9.697,50
	PM2,5	515,00
	PM10	575,00

Tabella 4.16 Valori emissivi annui da traffico veicolare

Dalla ripartizione dei valori annui stimati tra le due sorgenti emissive considerate, automobili ed autobus, riportati a seguire in Tabella 4.17, emerge che il trasporto individuale ha un peso molto rilevante, in termini di emissioni inquinanti, rispetto ai mezzi per il trasporto collettivo: il contributo delle auto risulta nettamente preponderante, probabilmente anche per la composizione del parco veicolare circolante nel campus, costituito in prevalenza da automobili.

Inquinante	Emissione giornaliera (kg)	Emissioni auto (kg)	Emissioni autobus (kg)	% emissione auto
CO	164,74	159,36	5,38	96,73%
CO2	8252,91	8248,05	4,86	99,94%
NOX	38,79	21,99	16,8	56,69%
PM2,5	2,06	1,40	0,66	67,96%
PM10	2,30	1,60	0,70	69,57%
Totale	8.460,80	8.432,40	28,40	99,66%

Tabella 4.17 Valori emissivi giornalieri e annui da traffico veicolare, distinti tra auto e autobus

Una delle principali criticità riscontrate è l'inadeguatezza dell'offerta di trasporto pubblico locale, che determina il ricorso di numerosi utenti a mezzi di trasporto autonomo, con un conseguente incremento delle pressioni ambientali da traffico veicolare sul comparto atmosfera.

Da un lato, l'insufficienza dell'offerta di trasporto collettivo richiederebbe un potenziamento dei collegamenti con l'Ateneo, incrementando il numero di mezzi e di linee disponibili: attualmente

solo il 21% dei Comuni campani è servito da una linea diretta di collegamento con l'Università.

D'altra parte, sarebbe opportuno provvedere ad un ammodernamento del parco veicolare degli autobus della Regione Campania, di cui il 68% è di categoria inferiore a Euro 4, quindi particolarmente inquinante.

Per quanto riguarda le possibili strategie di mobilità sostenibile, possibili interventi sulla domanda ricorrendo al *car-pooling* o al *car-sharing*, in modo da ridurre il numero di auto con il solo conducente a bordo. Un'altra possibilità è quella di ridurre la tariffazione del trasporto pubblico locale, strategia già presa in considerazione dalla Regione Campania per l'anno accademico in corso, per sostenere la mobilità degli studenti residenti in Campania, sotto precise condizioni.

All'interno del complesso universitario la direzione intrapresa è quella di incrementare la pedonalità, rendendo alcune aree limitate al traffico dei soli utenti autorizzati ed installando alcune rastrelliere per incrementare lo sviluppo della mobilità ciclistica.

Uno studio di area vasta condotto dal gruppo di ricerca di Trasporti in merito alle pressioni ambientali generate dal sistema di trasporto a servizio del campus di Fisciano ha evidenziato che il "peso" delle emissioni prodotte dal traffico veicolare da e verso l'Università, espresso in tonnellate all'anno di CO₂eq, rappresenta lo 0,11%, del totale regionale e l'11% di quelle della città di Salerno.

Inoltre, il contributo dell'Università degli Studi di Salerno, in termini di emissioni di PM10, rappresenta il 6% del totale riferito alla città di Salerno, con un consumo, in tonnellate equivalenti di petrolio, pari al 12% di quello della città capoluogo.

Rapportando le dimensioni del capoluogo, che si estende su un'area di circa 60 km², con un numero di residenti pari a circa 135.000, con quelle del campus, che ha una superficie complessiva di 1,2 km² e circa 13.700 pendolari, le emissioni relative al Campus di Fisciano non appaiono trascurabili, se si ragiona su scala maggiore.

Di seguito, in figura 4.57, si riporta una delle mappe tematiche delle emissioni inquinanti costruite tenendo conto dei contributi di tutti i Comuni attraversati dal traffico pendolare per l'Università: quella relativa ai valori di CO₂eq (in tonnellate/anno).

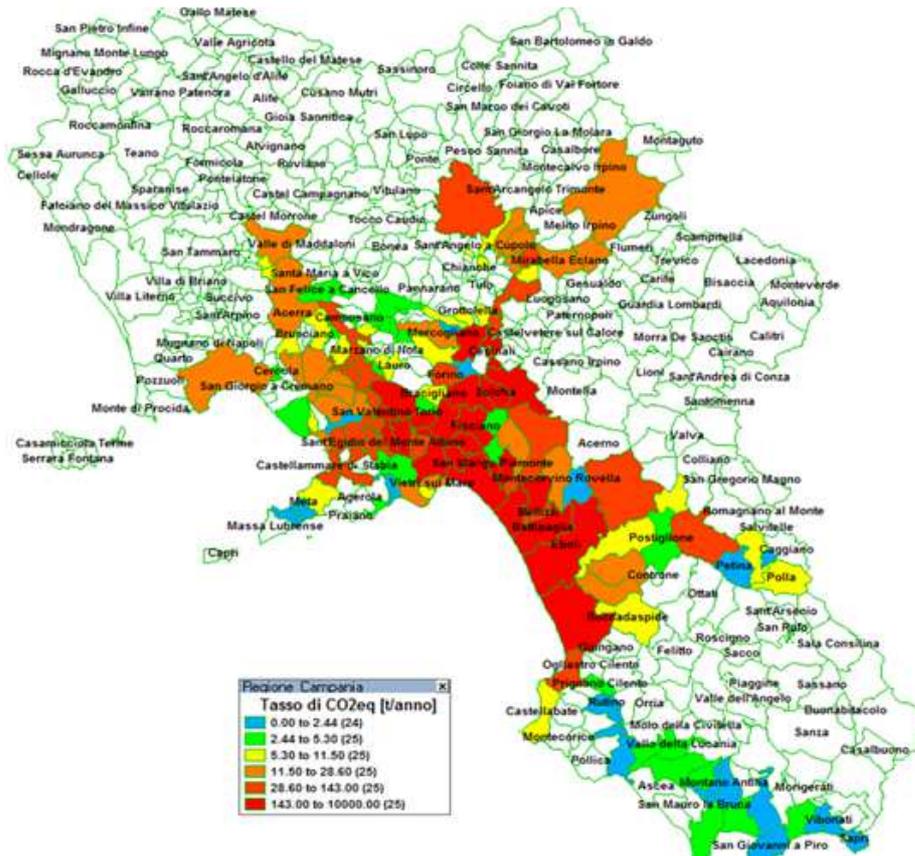


Figura 4.58 Valori di CO₂eq prodotto dal traffico pendolare per l'Università per i vari Comuni attraversati

5 GESTIONE SOSTENIBILE DI UNA STRUTTURA COMPLESSA

L'attività di campo effettuata con l'acquisizione e l'elaborazione dei dati e la valutazione delle variabili del sistema campus, quale esempio di struttura complessa, è stato il passaggio preliminare alla selezione degli indicatori più adatti ad evidenziare le pressioni ambientali esercitate e ad attestare il livello di sostenibilità, nell'ambito di una proposta metodologica mirata ad un miglioramento continuo delle performance ambientali complessive.

La necessità di reperire l'informazione, di filtrarla eliminando ridondanze, di presentare i dati in modo semplice ma accurato, di visualizzarli per ottenere un alto impatto informativo sono gli obiettivi da raggiungere attraverso lo "strumento" degli indicatori.

La metodologia elaborata, attraverso l'individuazione delle criticità e degli elementi sui cui intervenire, si propone l'obiettivo di fornire un supporto decisionale in una strategia ciclica di verifica dei risultati conseguiti e formulazione di nuovi traguardi.

Infatti, se le relazioni causa/effetto costituiscono l'essenza della metodologia proposta, la sua applicazione iterativa si concretizza attraverso un processo di tipo "PDCA" (acronimo di *Plan-Do-Check-Act*, "Pianificare - Fare - Verificare - Agire").

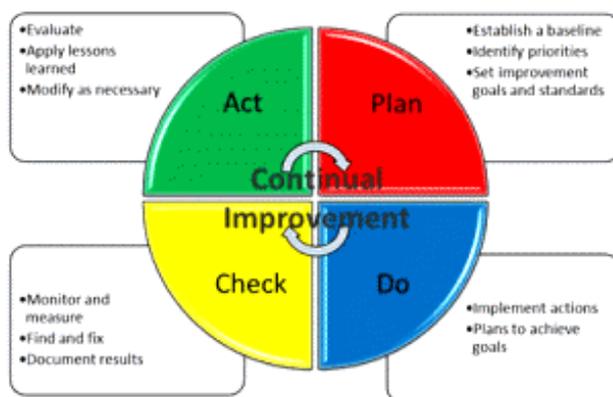


Figura 5.1 Ciclo del PDCA o di Deming (ISO 14001 Certification)

5.1 METODOLOGIA DI VALUTAZIONE DELLE PRESTAZIONI AMBIENTALI

L'approccio metodologico seguito è incentrato sulla dimensione ambientale della sostenibilità.

La metodologia formulata si compone di quattro fasi, così strutturate:

- la prima fase prevede un ampio inquadramento teorico del contesto generale.

Nella definizione della struttura concettuale vanno analizzate le informazioni ambientali e la relativa organizzazione, per migliorarne utilizzo e modalità di gestione, provando a superare i *gap* nell'analisi e nella valutazione;

- la seconda fase è la principale, incentrata sugli indicatori: definiti i criteri di selezione, si individuano quelli idonei a caratterizzare la sostenibilità ambientale di un sistema complesso, suddivisi per tematica.

Gli indicatori proposti sono stati presi in considerazione in base alla rilevanza, all'accuratezza, alle caratteristiche tecniche e metodologiche e alla rilevabilità, distinguendo tra quelli concretamente rilevabili e quelli popolabili in futuro o da approfondire, in quanto necessitano ulteriori approfondimenti metodologici, politici, di contesto o di altro genere;

- la terza fase è quella in cui gli indicatori selezionati vanno "specializzati" per il sistema in esame, in funzione dell'utenza e delle peculiari caratteristiche da considerare.

Nello specifico, il processo di specializzazione è stato guidato tanto da considerazioni teoriche, quanto dalla opportunità e dalla effettiva disponibilità di dati: da un lato, si è curata la coerenza tra gli indicatori selezionati, in modo da evitare esiti di valutazione discordanti e, dall'altro, il *trade off* tra l'impegno richiesto per la rilevazione ed il contributo informativo fornito dal parametro .

Data la parzialità dell'informazione fornita da un indicatore, in alcuni casi, si è presa in considerazione l'opportunità di affiancarne altri per completare l'analisi dell'aspetto in esame o la possibilità di valutarne il *trend* attraverso dati riferiti ad esercizi precedenti;

- nella quarta ed ultima fase, infine, l'applicazione del set di indicatori consente di valutare le prestazioni ambientali,

determinando una *baseline* di raffronto per i livelli prestazionali raggiunti dalla struttura, oggetto in seguito di analogo procedimento valutativo.

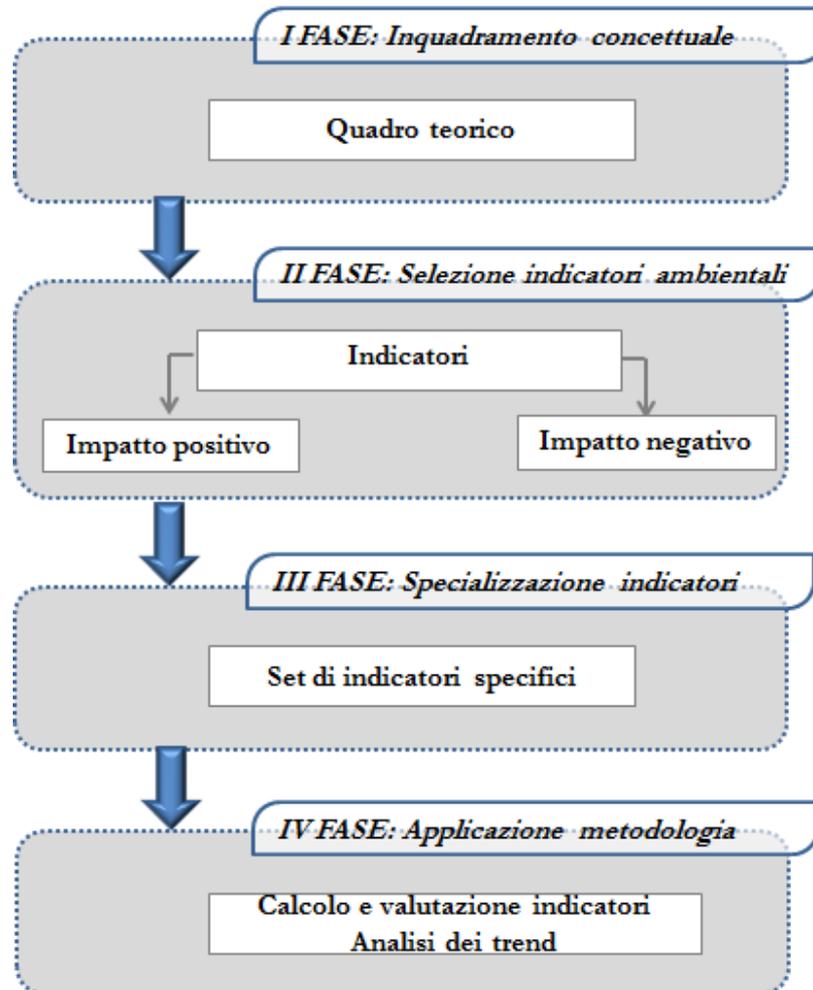


Figura 5.2 Metodologia di valutazione delle performance ambientali di una struttura complessa

La metodologia prevede che venga effettuato annualmente il calcolo del valore di ciascuno degli indicatori, specializzati per il caso in esame, in base all'ipotesi di aggiornamento annuale dei dati utilizzati.

La valutazione della “direzione” di ogni indicatore, intesa come indicazione di una pressione o di un impatto positivo o negativo consente di assegnare ad esso un simbolo grafico.

I tre principali criteri per la selezione di un indicatore, secondo la OECD (1993), sono la rilevanza della policy, la validità analitica e la misurabilità.

Pertanto, gli indicatori, individuati attraverso un censimento tra quelli proposti da autorevoli fonti italiane ed internazionali (ISPRA, ARPA/APPA, SNPA, EEA, OECD), sono stati presi in considerazione sulla base della rilevanza, dell’accuratezza e delle caratteristiche tecniche metodologiche.

Gli indicatori esaminati afferiscono alle principali tematiche o sub-tematiche ambientali, con riferimento, in particolare, a quelli censiti dal Sistema Nazionale per la Protezione Ambientale allo scopo di formulare di un unico *core set* nazionale attraverso la disamina di tutti gli indicatori utilizzati per descrivere lo stato dell’ambiente (SNPA, 2017). Essi sono distinti in base a tematiche e sub tematiche ambientali di afferenza e, in termini di rilevanza, tra quelli considerati implementabili da “subito”, basati su dati provenienti da fonti certe o uniche e condivise e quelli popolabili nell’immediato futuro, rilevanti, ma che necessitano di approfondimenti metodologici o strutturali.

Il percorso logico seguito per la costruzione del set di indicatori ha comportato, in primis, l’individuazione di quelli uguali o simili per nome o per descrizione e scopo, realizzando uno studio comparativo delle metodologie di definizione di ciascuno di essi.

In dettaglio, le informazioni esaminate sono state:

1. Nome dell’indicatore;
2. Tematica ambientale, cioè comparto specifico di riferimento dell’indicatore (ad esempio, Atmosfera);
3. Sotto-tematica, cioè specifico argomento afferente al comparto ambientale di riferimento dell’indicatore (ad esempio, Qualità dell’aria);
4. Descrizione dell’indicatore, ovvero definizione di dettaglio dell’indicatore che si intende popolare: modalità di costruzione, spiegazione dei contenuti;
5. Scopo, cioè finalità prioritarie per cui si è scelto l’indicatore;
6. Eventuali obiettivi fissati dalla normativa, cioè target o limiti stabiliti in base a riferimenti normativi relativi all’indicatore considerato;

7. DPSIR, ovvero individuazione della specifica componente, tra quelle dello schema DPSIR, rappresentata dall'indicatore;
8. Descrizione della metodologia di elaborazione dell'indicatore;
9. Unità di misura dell'indicatore;
10. Copertura temporale;
11. Copertura spaziale;
12. Fonte dei dati di base utilizzati per popolare l'indicatore;
13. Periodicità di aggiornamento dei dati utilizzati per l'attribuzione del valore specifico dell'indicatore.

Analisi e risultati della ricognizione effettuata hanno portato ad individuare, tra quelli esaminati, i 41 indicatori ritenuti maggiormente rilevanti ed effettivamente applicabili, in quanto formulati con gli stessi criteri metodologici e concretamente popolabili, grazie alla effettiva disponibilità di dati da fonti certe o condivise .

Gli indicatori selezionati, specializzati rispetto al campus universitario di Fisciano, sono riportati a seguire nel quadro sinottico di riepilogo (Tabella 5.1), in cui le informazioni sono organizzate secondo una struttura gerarchica su tre livelli: matrice, tema, indicatore.

Per ciascuna matrice ambientale considerata (atmosfera, idrosfera, rifiuti), la prima colonna riporta la tematica specifica, che identifica le diverse finalità informative dell'indicatore (ad esempio, la matrice atmosfera è suddivisa in qualità dell'aria, emissioni e strategie di riduzione), che è riportato nella colonna a seguire, con le relative unità di misura.

Ogni tema comprende uno o più indicatori ambientali selezionati per rappresentare, in modo sintetico ed esplicativo, uno o più aspetti legati al tema in oggetto.

A ciascun indicatore, una volta disponibili, saranno associate una o più elaborazioni dei dati che esplicitano, in forma tabellare e grafica, lo stato dell'indicatore stesso.

Comparto/tematica e sub tematica	Indicatore	Unità di misura
Atmosfera		
Qualità ambiente dell'aria	Esistenza e integrazione di un sistema di valutazione della qualità dell'aria ambiente con attività annua di monitoraggio	Classi di qualità ↓ a) b) c)
	Numero di superamenti dei valori limite (riferiti a soglie di concentrazione stabilite) per determinati inquinanti atmosferici	N° di superamenti del valore di riferimento normativo per ciascun inquinante di riferimento
Qualità dell'aria indoor	Esistenza e integrazione di un sistema di valutazione della qualità dell'aria indoor con attività annua di monitoraggio	Classi di qualità ↓ a) b) c)
Emissioni	Emissioni di gas serra (GHG) complessive	tonnellate di CO ₂ eq
	Emissioni di gas serra (GHG) per produzione energetica	tonnellate di CO ₂ eq
	Produzione di CO ₂ per studente	Kg di CO ₂ / studente
Strategie per la riduzione delle emissioni	Esistenza e integrazione di sistemi e tecnologie per la riduzione delle emissioni	Classi di qualità ↓ a) b) c)
Acqua		
Consumi idrici	Consumo idrico annuo	m ³ / anno

Comparto/tematica e sub tematica	Indicatore	Unità di misura
	Consumo idrico specifico per studente	l / studente * d
	Consumo idrico specifico per superficie complessiva di piano	l / m ² * d
Qualità/sostenibilità delle fonti di approvvigionamento	Consumo idrico annuo da rete di distribuzione	Classi di qualità (% sul consumo totale) ↓ a) b) c)
	Consumo idrico annuo da pozzi	Classi di qualità (% sul consumo totale) ↓ a) b) c)
	Consumo annuo di acque di recupero (acque piovane e/o acque grigie)	Classi di qualità (% sul consumo totale) ↓ a) b) c)
Qualità rete di distribuzione	Stato di conservazione della rete di distribuzione	Classi di qualità (% sul consumo totale) ↓ a) b) c)
	Esistenza ed integrazione di sistemi di rilevazione automatica consumi (misuratori di portata) per edificio	Classi di qualità (% sul totale edifici) ↓ a) b)

Comparto/tematica e sub tematica	Indicatore	Unità di misura
		c)
	Esistenza ed integrazione di sistemi di telecontrollo per monitoraggio rete	Classi di qualità ↓ a) b) c)
Strategie di risparmio della risorsa	Integrazione di sistemi e tecnologie per il risparmio idrico	Classi di qualità ↓ a) b) c)
Rifiuti		
Produzione di rifiuti	Produzione annua di rifiuti solidi urbani o assimilabili	tonnellate / anno
	Produzione annua di RSU o assimilabili per utente	kg / studente * anno
	Produzione annua di rifiuti speciali (non pericolosi e pericolosi)	tonnellate / anno
Raccolta differenziata	Percentuale annua di raccolta differenziata	%
	RD annua carta	%
	RD annua plastica	%
	RD annua organico	%
Trattamento dei rifiuti	Quantità di rifiuti urbani sottoposti a trattamento in loco sul totale della produzione annua (ad es., mediante compostaggio di comunità)	%

Comparto/tematica e sub tematica	Indicatore	Unità di misura
Strategie per la riduzione ed il recupero	Esistenza ed integrazione di politiche di riduzione alla fonte	Classi di qualità ↓ a) b) c)
	Esistenza ed integrazione di sistemi di trattamento o di recupero	Classi di qualità ↓ a) b) c)
Energia		
Risorse energetiche	Consumo energetico totale (energia elettrica e climatizzazione, da fonti rinnovabili e non)	TEP
	Consumo finale di energia elettrica (per funzione o per usi finali)	%
	Consumo energetico specifico per unità di superficie	kWh /m ² * d
	Consumo energetico specifico per studente	kWh /studente * d
	Quota di consumo energetico totale soddisfatta da fonti rinnovabili	%
Strategie di risparmio della risorsa	Integrazione di sistemi e tecnologie per il risparmio energetico	Classi di qualità ↓ a) b) c)
Mobilità e trasporti		

Comparto/tematica sub tematica e	Indicatore	Unità di misura
Mobilità locale trasporto passeggeri e	Percentuale di utenti che utilizzano sistemi di trasporto pubblico	%
Mobilità sostenibile	Esistenza o integrazione di politiche e di strategie di mobilità sostenibile (ad es., servizi di bike sharing, car sharing o car pooling)	Classi di qualità ↓ a) b) c)
Geosfera		
Uso del suolo	Superfici edificate sulla superficie totale del sistema	Classi di qualità (%) ↓ a) b) c)
	Aree di attrezzature sportive per studente	Classi di qualità (m ² di attrezzature sportive per studente) ↓ a) b) c)
	Aree a verde per studente	Classi di qualità (m ² di aree verdi per studente) ↓ a) b) c)
Certificazioni ambientali volontarie	Integrazione di Certificazioni ambientali volontarie	Si / No

Comparto/tematica sub tematica	Indicatore	Unità di misura
Promozione e diffusione della cultura ambientale		
Comunicazione informazione ambientale	Adozione e integrazione politiche di comunicazione e informazione ambientale di Ateneo	Classi di qualità ↓ a) b) c)

Tabella 5.1 Indicatori specializzati per il campus di Fisciano, distinti per tematiche

Ciascuno degli indicatori proposti è stato definito attraverso una scheda identificativa, contenente una serie di informazioni dettagliate, composta di due parti: una descrittiva, relativa ai **metadati**, i dati di origine delle informazioni relative alla costruzione dell'indicatore, e l'altra di popolamento, che riporta i dati utilizzati per popolarlo, in un numero variabile di rappresentazioni (sotto forma di grafici/tabelle/carte tematiche) delle serie storiche di dati disponibili.

Le informazioni sui metadati, fondamentali per la corretta lettura ed interpretazione delle elaborazioni, sono state organizzate schematicamente nella scheda indicatore: tema o comparto ambientale di riferimento, sub-tematica, nome e descrizione dell'indicatore, descrizione della metodologia di elaborazione, fonte dei dati di base e periodicità di aggiornamento, categoria DPSIR, stato e trend dell'indicatore.

Sembra il caso di riportare una nota a margine circa questi ultimi due aspetti della scheda tipo del generico indicatore.

Lo schema DPSIR è un utile strumento di supporto nelle attività di *reporting* ambientale, in quanto consente di porre in relazione di causalità i diversi elementi che entrano in gioco nella descrizione di un fenomeno o di un processo, ovvero, più in generale, di una problematica ambientale (*policy issue* o *key environmental problem*). Non sempre, però, un elemento utile a descrivere più di una problematica gioca lo stesso ruolo nelle diverse relazioni di causalità in cui può essere inserito o, in altri termini, non sempre è associabile alla stessa categoria DPSIR.

Quanto alla valutazione dell'indicatore, nella scheda ne è richiesta una dello stato attuale, riferita al raggiungimento degli obiettivi fissati, ed una

del trend del fenomeno descritto, desumibile dall'andamento temporale dei valori assunti dall'indicatore.

Lo **stato attuale** viene rappresentato graficamente mediante le "icone di Chernoff" (le cosiddette "faccine"), una tecnica di visualizzazione utilizzata per illustrare in maniera semplificata le tendenze nei dati multidimensionali:

-  stato attuale positivo: l'indicatore rispetta il valore obiettivo di riferimento;
-  stato attuale non definito o incerto: l'indicatore non può essere confrontato con un valore obiettivo di riferimento, oppure sono presenti situazioni diverse, che non permettono di formulare un giudizio complessivo;
-  stato attuale negativo: l'indicatore non rispetta il valore obiettivo di riferimento.

Il **trend** indica l'evoluzione temporale dell'andamento tendenziale del valore dell'indicatore, rappresentato mediante icone colorate:

-  trend in miglioramento;
-  trend stabile o incerto: può indicare un andamento costante o variabile, ma non definito, oppure la mancanza di disponibilità di una serie storica o l'impossibilità di confronto con dati pregressi;
-  trend in peggioramento.

La scheda tipo, che fornisce in modo sintetico tutte le informazioni necessarie alla comprensione dei contenuti espressi dagli indicatori, viene riportata di seguito.

SCHEMA INDICATORE

METADATI

DEFINIZIONE DELL'INDICATORE	
Nome dell'indicatore	
Area tematica prevalente	
Sub area tematica interessata	

DESCRIZIONE/MOTIVAZIONE DELL'INDICATORE / CARATTERISTICHE INDICATORE	
<i>Descrizione dell'indicatore</i>	
Descrivere sinteticamente l'indicatore.	
<i>Scopo</i>	
Specificare le finalità prioritarie dell'indicatore selezionato, quali, ad esempio: strumento utile per comprendere le correlazioni tra fenomeni locali (o tra quelli locali e globali); per valutare gli impatti delle attività umane, identificare e analizzare i cambiamenti/problemi/rischi ambientali; permettere comparazioni tra differenti strutture; supportare processi decisionali e politiche ambientali; anticipare problemi e promuovere l'adozione di strategie; valutare le azioni intraprese e monitorare la loro efficacia.	
<i>Riferimenti Normativi</i>	
Riportare i riferimenti normativi internazionali, europei, nazionali e/o regionali rispetto ai quali l'indicatore in questione si contestualizza.	
<i>Obiettivi fissati dalla normativa</i>	
Riportare gli eventuali obiettivi previsti dagli accordi internazionali, dalle norme europee e nazionali che possono essere monitorati attraverso l'indicatore prescelto.	

<i>DPSIR</i>
Si lascia all'esperienza specialistica del compilatore l'attribuzione all'indicatore della categoria DPSIR, con il suggerimento di scegliere, nel caso di più possibilità, quella prevalente, oppure di assegnare una categoria multipla (esempio: D/P o P/S, etc.)

QUALIFICAZIONE DATI
<i>Fonte dei dati</i>
Selezionare la fonte dei dati di base utilizzati per popolare l'indicatore
<i>Unità di misura dei dati</i>
Selezionare una o più voci da un apposito "menù", dove è riportato l'elenco delle principali unità di misura per le grandezze dimensionali, nonché le notazioni convenzionali già impiegate nel <i>reporting</i> .
<i>Accessibilità dei dati di base</i>
Specificare la modalità di reperimento dei dati, cercando di rendere tracciabile tale processo

QUALIFICAZIONE INDICATORE
<i>Descrizione della metodologia di elaborazione dell'indicatore</i>
Riportare una descrizione sintetica, ma esaustiva, della metodologia applicata per elaborare l'indicatore (non il dato di base), sia essa un semplice calcolo (percentuale, pesi), un'equazione, un metodo statistico o una procedura costituita da più fasi differenti.
<i>Copertura temporale</i>
Indicare il periodo di riferimento della serie storica degli indicatori.
<i>Periodicità di aggiornamento</i>
Scegliere le opzioni che caratterizzano la periodicità di aggiornamento dell'indicatore

<input type="checkbox"/> Decennale	
<input type="checkbox"/> Triennale	
<input type="checkbox"/> Biennale	
<input type="checkbox"/> Annuale	
<input type="checkbox"/> Semestrale	
<input type="checkbox"/> Mensile	
<input type="checkbox"/> In tempo reale	
<input type="checkbox"/> Occasionale	
<input type="checkbox"/> Variabile	
<input type="checkbox"/> Non definibile	
<i>Stato e Trend</i>	
Selezionare l'icona rappresentativa dello stato dell'indicatore:	
<input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/> Non definibile	<input type="checkbox"/> In miglioramento, nel caso in cui lo stato dei dati segni un avvicinamento agli obiettivi; <input type="checkbox"/> Indifferente, qualora si determini una situazione di non variazione o di lieve miglioramento; <input type="checkbox"/> In peggioramento, nel caso in cui il trend dei dati segni un allontanamento dagli obiettivi.
Criteri di assegnazione delle icone di <i>Chernoff</i>	
Riportare sinteticamente le motivazioni che hanno portato all'attribuzione della specifica "icona di <i>Chernoff</i> ", mettendo in luce le cause ed evidenziando eventuali correlazioni con i provvedimenti adottati. Qualora non sia possibile assegnare l'icona di Chernoff, spiegarne i motivi. Nel caso in cui l'icona di <i>Chernoff</i> sia assegnata allo stato e non al <i>trend</i> dell'indicatore, si chiede di esplicitarlo nel testo.	
Selezionare l'icona rappresentativa del trend dell'indicatore:	

<input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/> 	<input type="checkbox"/> trend in miglioramento; <input type="checkbox"/> trend stabile o incerto: può indicare un andamento costante o variabile, ma non definito, oppure la mancanza di disponibilità di una serie storica o l'impossibilità di confronto con dati pregressi; <input type="checkbox"/> trend in peggioramento.
<p>Criteri di assegnazione delle icone del trend</p> <p>Riportare sinteticamente le motivazioni che hanno portato all'attribuzione della specifica icona, mettendo in luce le cause del <i>trend</i> ed evidenziando eventuali correlazioni con i provvedimenti adottati.</p>	

Alcune delle principali informazioni contenute nella scheda tipo sono riepilogate in un quadro sinottico comprensivo di tutti gli indicatori selezionati, riportato a seguire in Tabella 5.2.

Altri elementi, come quelli relativi alla valutazione del valore attuale e del trend dell'indicatore o alla popolazione dei dati, verranno integrati all'atto dell'applicazione effettiva della metodologia proposta, attraverso i dati completi.

5. Gestione sostenibile di una struttura complessa

N	Tema ambientale	Sotto tema	Nome Indicatore	Descrizione	Fonte dei dati di base	Periodicità di aggiornamento
1	Atmosfera	Qualità dell'aria ambiente	Sistema di valutazione della qualità dell'aria ambiente	Esistenza e integrazione di un sistema di valutazione annua della qualità dell'aria con attività di monitoraggio	Monitoraggio	Annuale
2	Atmosfera	Qualità dell'aria ambiente	Numero di superamenti dei valori limite per determinati inquinanti atmosferici	N° di superamenti del valore di riferimento normativo per ciascun inquinante di riferimento	Monitoraggio	Annuale
3	Atmosfera	Qualità dell'aria indoor	Valutazione della qualità dell'aria indoor	Esistenza e integrazione di un sistema di valutazione annua della qualità	Monitoraggio	Annuale

N	Tema ambientale	Sotto tema	Nome Indicatore	Descrizione	Fonte dei dati di base	Periodicità di aggiornamento
				dell'aria indoor con attività di monitoraggio		
4	Atmosfera	Emissioni	Emissioni di gas serra (GHG) complessive	Emissioni complessive di gas serra		Annuale
5	Atmosfera	Emissioni	Emissioni di gas serra (GHG) per produzione energetica		Energy manager	Annuale
6	Atmosfera	Emissioni	Produzione di CO ₂ per studente		Amministrazione	Annuale
7	Atmosfera	Emissioni	Strategie per la riduzione delle emissioni	Esistenza ed integrazione di sistemi e tecnologie per la riduzione delle emissioni	Ufficio tecnico	Annuale
8	Idrosfera	Consumi idrici	Consumo idrico annuo	Consumo idrico annuo	Ufficio tecnico	Annuale

N	Tema ambientale	Sotto tema	Nome Indicatore	Descrizione	Fonte dei dati di base	Periodicità di aggiornamento
9	Idrosfera	Consumi idrici	Consumo idrico specifico per studente	Consumo idrico per studente al giorno da rete di distribuzione		Annuale
10	Idrosfera	Consumi idrici	Consumo idrico specifico per superficie complessiva di piano	Consumo per unità di superficie al giorno		Annuale
11	Idrosfera	Qualità/sostenibilità delle fonti di approvvigionamento	Consumo idrico annuo	Consumo idrico da rete di distribuzione		Annuale
12	Idrosfera	Qualità/sostenibilità delle fonti di approvvigionamento	Consumo idrico annuo da pozzi	Consumo idrico annuo da pozzi		Annuale
13	Idrosfera	Qualità/sostenibilità delle fonti di approvvigionamento	Consumo annuo acque di recupero (acque piovane e/o acque grigie)	Consumo annuo acque piovane e/o acque grigie		Annuale
14	Idrosfera	Qualità rete di distribuzione	Stato di conservazione rete di	Stato di conservazione rete di		Annuale

N	Tema ambientale	Sotto tema	Nome Indicatore	Descrizione	Fonte dei dati di base	Periodicità di aggiornamento
			distribuzione	distribuzione		
15	Idrosfera	Strategie di risparmio della risorsa	Esistenza sistemi automatici di rilevazione consumi (misuratori di portata) per edificio	Esistenza sistemi automatici di rilevazione consumi (misuratori di portata) per edificio		Annuale
16	Idrosfera	Strategie di risparmio della risorsa	Esistenza ed integrazione di sistemi di telecontrollo per monitoraggio rete	Esistenza ed integrazione di sistemi di telecontrollo per monitoraggio rete		Annuale
17	Idrosfera	Strategie di risparmio della risorsa	Diffusione di sistemi e tecnologie per il risparmio idrico	Diffusione di sistemi e tecnologie per il risparmio idrico		Annuale
18	Rifiuti	Produzione di rifiuti	Produzione annua di rifiuti solidi urbani o assimilabili	Produzione annua di rifiuti solidi urbani o assimilabili	Fondazione universitaria	Annuale

5. Gestione sostenibile di una struttura complessa

N	Tema ambientale	Sotto tema	Nome Indicatore	Descrizione	Fonte dei dati di base	Periodicità di aggiornamento
19	Rifiuti	Produzione di rifiuti	Produzione annua di RSU o assimilabili per utente	Produzione annua di RSU o assimilabili per utente	Fondazione universitaria	Annuale
20	Rifiuti	Produzione di rifiuti	Produzione annua di rifiuti speciali (non pericolosi e pericolosi)	Produzione annua di rifiuti speciali (non pericolosi e pericolosi)	Fondazione universitaria	Annuale
21	Rifiuti	Raccolta differenziata	Percentuale annua di raccolta differenziata	Percentuale annua di raccolta differenziata	Fondazione universitaria	Annuale
22	Rifiuti	Raccolta differenziata	RD annua carta	RD annua carta	Fondazione universitaria	Annuale
23	Rifiuti	Raccolta differenziata	RD annua plastica	RD annua plastica	Fondazione universitaria	Annuale
24	Rifiuti	Raccolta differenziata	RD annua acciaio e alluminio	RD annua acciaio e alluminio	Fondazione universitaria	Annuale
25	Rifiuti	Raccolta differenziata	RD annua organico	RD annua organico	Fondazione universitaria /ADiSU	Annuale
26	Rifiuti	Trattamento dei rifiuti	Quantità di rifiuti urbani sottoposti a	Quantità di rifiuti urbani sottoposti	ADiSU / Fondazione	Annuale

N	Tema ambientale	Sotto tema	Nome Indicatore	Descrizione	Fonte dei dati di base	Periodicità di aggiornamento
			trattamento in situ sul totale dei rifiuti urbani prodotti in un anno	a trattamento in situ sul totale dei rifiuti urbani prodotti in un anno	universitaria	
27	Rifiuti	Strategie per la riduzione ed il recupero	Esistenza ed integrazione di politiche di riduzione alla fonte	Formulazione di (nuove) politiche e strategie di riduzione alla fonte	Amministrazione	Annuale
28	Rifiuti	Strategie per la riduzione ed il recupero	Esistenza di sistemi di trattamento o di recupero		Fondazione universitaria	Annuale
29	Energia	Risorse energetiche	Consumo energetico totale (energia elettrica e climatizzazione, da fonti rinnovabili e non)		Ufficio tecnico	Annuale
30	Energia	Risorse energetiche	Consumo finale di energia elettrica (per		Ufficio tecnico	Annuale

N	Tema ambientale	Sotto tema	Nome Indicatore	Descrizione	Fonte dei dati di base	Periodicità di aggiornamento
			funzione o per usi finali)			
31	Energia	Risorse energetiche	Consumo specifico per superficie	Consumo energetico medio giornaliero per unità di superficie		Annuale
32	Energia	Risorse energetiche	Consumo specifico giornaliero per studente	Consumo energetico medio per studente		Annuale
33	Energia	Risorse energetiche	Quota di consumo energetico totale soddisfatta da fonti rinnovabili	% di energia da fonti rinnovabili sul consumo energetico totale	Ufficio tecnico	Annuale
34	Energia	Strategie di risparmio della risorsa	Sistemi e tecnologie per il risparmio energetico	Adozione ed integrazione di sistemi e	Ufficio tecnico	Annuale

N	Tema ambientale	Sotto tema	Nome Indicatore	Descrizione	Fonte dei dati di base	Periodicità di aggiornamento
				tecnologie di risparmio energetico		
35	Mobilità e trasporti	Mobilità locale e trasporto passeggeri	Percentuale di utenti che utilizzano sistemi di trasporto pubblico	Percentuale di utenti sul totale che utilizzano sistemi di trasporto pubblico		Annuale
36	Mobilità e trasporti	Mobilità sostenibile	Esistenza ed integrazione di servizi di car sharing o car pooling	Classi di qualità	Amministrazione	Annuale
37	Geosfera	Uso del suolo	Superficie edificata sulla superficie totale del sistema	%	Ufficio tecnico	Annuale
38	Geosfera	Uso del suolo	Aree di attrezzature sportive per studente	Classi di qualità (m ² di attrezzature sportive per utente)		Annuale
40	Geosfera	Uso del suolo	Aree a verde per studente	Classi di qualità (m ² di aree verdi)		Annuale

5. Gestione sostenibile di una struttura complessa

N	Tema ambientale	Sotto tema	Nome Indicatore	Descrizione	Fonte dei dati di base	Periodicità di aggiornamento
				per utente)		
41	Promozione e diffusione della cultura ambientale	Comunicazione e informazione ambientale	Integrazione e adozione di politiche di comunicazione e informazione ambientale di Ateneo	Classi di qualità	Amministrazione	Annuale

Dall'analisi effettuata in campo, emerge un problema piuttosto comune alle strutture complesse, la frammentarietà dei dati disponibili, dovuta alla mancanza di una strutturazione organica e sistematica dell'informazione.

Una visione superiore di coordinamento, che sovrintenda alla realizzazione di un *database* organizzato in modo da consentire una agevole disaggregazione della congerie di informazioni disponibili, rendendole utilizzabili in aggregazioni finalizzate a differenti scopi ed obiettivi di valutazione garantirebbe, tra l'altro, maggiore allineamento ed uniformità tra i diversi settori tematici analizzati.

Alcuni software di gestione patrimoniale, tra cui quello in uso nell'Ufficio tecnico di Ateneo, dispongono di applicazioni e moduli che, al fine di raggiungere obiettivi di efficienza ambientale o supportare un programmi di certificazione, consentono di effettuare valutazioni di sostenibilità sul campo, misurando gli indicatori delle prestazioni ambientali dell'organizzazione, attraverso l'identificazione di elementi ad alta priorità, il monitoraggio delle condizioni nel tempo e la produzione di report analitici dettagliati.

6 CONCLUSIONI

L'attività di ricerca svolta è stata incentrata sull'individuazione di un metodo di valutazione delle prestazioni ambientali di una struttura complessa, allo scopo di mitigare le pressioni e gli impatti legati alle molteplici attività svolte e conseguire un progressivo incremento in termini di sostenibilità globale.

Lo strumento per realizzare gli obiettivi proposti è stato individuato nell'applicazione di una metodologia di integrazione ed indirizzo delle politiche di gestione delle varie matrici ambientali in chiave sostenibile, mirata a razionalizzare l'uso di energia e risorse e minimizzare la produzione di rifiuti ed emissioni.

Tema centrale è il concetto di sostenibilità, non ancora racchiuso da una definizione normativa o scientifica esatta e condivisa, anche per la multidisciplinarietà e le numerose sfaccettature che lo contraddistinguono.

L'idea di sostenibilità appare, in qualche modo, figlia di quello "sviluppo sostenibile" ufficialmente riconosciuto, dal Rapporto Brundtland in poi, come la strategia da perseguire per garantire alle generazioni future la possibilità di soddisfacimento dei propri bisogni, arginando un regime economico sempre più aggressivo e diffuso, incentrato sul capitale e sul profitto.

Sono stati, perciò, ricostruiti innanzitutto i passaggi cruciali attraverso cui, dai primi movimenti ecologisti negli anni '60 ai summit e alle conferenze delle principali Organizzazioni internazionali, il concetto di sostenibilità è divenuto un nodo centrale dell'attività di pianificazione e programmazione dello sviluppo a livello globale.

Parallelamente, nel tratteggiare un quadro di riferimento generale, l'analisi della copiosa produzione scientifica ha evidenziato la multidisciplinarietà del tema, trattato diffusamente tanto nell'ambito delle scienze economiche e sociali, quanto da un punto di vista ambientale.

Trasversali, pertanto, risultano anche strumenti e metodologie di valutazione proposti: gli indicatori, sviluppati secondo inquadramenti e tipologie differenti, per garantire la possibilità di finalizzare al target di riferimento analisi e stime effettuate.

Un approfondimento dello stato dell'arte, attraverso una valutazione di sintesi delle proposte metodologiche e degli indicatori ambientali, generali o mirati a contesti specifici, si è rivelato imprescindibile passaggio preliminare ai fini dell'analisi di un sistema complesso, cui una realtà universitaria può essere assimilata.

La definizione di un set up sperimentale per il campus di Fisciano, assunto a modello di struttura complessa, ha comportato l'individuazione di una *baseline*, un livello di partenza, in termini di sostenibilità ambientale, attraverso l'analisi delle principali attività svolte e delle conseguenti pressioni sull'ambiente, con riferimento ai comparti più significativi: rifiuti, acqua, energia, atmosfera.

Una fase iniziale di raccolta ed elaborazione dati ha consentito una conoscenza sufficientemente approfondita dello status quo e delle variabili ambientali caratterizzanti, mettendo in luce elementi chiave, criticità e margini di miglioramento, consentendo di selezionare gli indicatori ambientali più adatti da utilizzare nella metodologia di valutazione e testarne l'efficacia.

La proposta metodologica è basata, infatti, sull'uso di un set di indicatori afferenti ai comparti ambientali trattati, finalizzato a mettere a fuoco le principali cause delle pressioni esercitate, i fattori chiave e le possibili strategie di riduzione, costituendo uno strumento di supporto alle scelte di programmazione e pianificazione verso approcci e politiche gestionali maggiormente sostenibili.

L'inquadramento metodologico scelto è incentrato sulla valutazione del profilo ambientale della sostenibilità, discostandosi da quelli tradizionalmente convergenti verso un'impostazione *triple bottom line*, onnicomprensiva rispetto ai "tre pilastri" della sostenibilità, per mettere a punto uno strumento efficace, ma più immediato in termini di caratteristiche e requisiti, ed un quadro di riferimento utile a definire un percorso di miglioramento svincolato da valutazioni di carattere complessivo, ovviamente indispensabili.

In effetti, molte delle metodologie e degli strumenti di valutazione proposti in letteratura mostrano un'impostazione teorico - concettuale molto articolata, di grande suggestione e profondità di analisi, tuttavia necessitano, in fase applicativa, di una molteplicità di dati, competenze e di una struttura organizzativa non comune a tutti i contesti: in particolare, nel caso di sistemi di scala medio-piccola, i mezzi necessari non sono sempre disponibili.

Si è cercato, invece, di individuare una modalità di monitoraggio delle prestazioni ambientali in grado di cogliere gli aspetti spaziali e di identificare i meccanismi di vulnerabilità nelle dinamiche dei processi, al fine di supportare l'azione amministrativa locale mediante l'uso di strumenti semplificati.

La scelta effettuata caratterizza la metodologia, rendendola particolarmente idonea ad un'applicazione sequenziale di valutazione delle prestazioni ambientali, piuttosto che come strumento comparativo tra differenti scenari, per obiettivi di confronto e di ranking.

L'obiettivo perseguito con questa attività di ricerca è stato, infatti, riuscire a "quantificare" l'avvicinamento o lo scostamento rispetto ad un modello di sostenibilità, assumendo come riferimento l'entità del cambiamento nel tempo e l'individuazione di tendenze e direzioni, piuttosto che di misure e valori assoluti.

Effettuare una classificazione tra strutture richiederebbe, da un punto di vista metodologico, di sintetizzare e fondere numerose informazioni, sotto forma di indicatori, in un unico indice, un rango complessivo, trasformando elementi complessi in più semplici.

La scelta di utilizzare un set di indicatori è stata dettata dall'incertezza e dalle difficoltà connesse alla formulazione di un solo indice multidimensionale, che, da un lato, prospetta il vantaggio di riepilogare fenomeni complessi attraverso un singolo parametro, consentendo una valutazione ed un confronto più immediato delle prestazioni analizzate, dall'altro, il rischio di una formulazione inesatta, che potrebbe determinare valutazioni errate o fuorvianti.

In effetti, le scelte metodologiche e l'inevitabile margine di soggettività di cui si dispone nel definire l'importanza di comparti differenti, attribuendo "pesi" a componenti eterogenee per giungere ad una valutazione complessiva, sollevano una serie di problemi tecnici, che, se non indirizzati correttamente, possono determinare interpretazioni inesatte o manipolazioni degli indicatori stessi.

Nondimeno, l'esame degli strumenti valutativi proposti dalla letteratura scientifica e dei risultati da essi forniti ha messo in luce le difficoltà di applicazione legate ad un approccio di tipo comparativo, dal momento che le valutazioni prodotte sono apparse molto influenzate dallo specifico contesto di analisi.

Condizioni climatiche, tipologie edilizie, fonti energetiche adoperate e caratteristiche peculiari, quali la superficie, il tipo di servizi offerti o il grado di efficienza energetica raggiunto determinano una tale

eterogeneità dei risultati da rendere necessario introdurre ulteriori 'indici' o parametri di normalizzazione, che finirebbero col rendere lo schema troppo complesso o di scarsa oggettività.

Tale difficoltà di comparazione si è evidenziata ancor di più quando si è provato ai confronti con altre strutture complesse (ospedali, villaggi turistici e così via), ognuna con una sua specificità.

L'ipotesi di inquadramento della proposta metodologica sotto il solo profilo ambientale, invece, la rende efficace ed agile nei processi valutativi, utile come strumento di supporto in un'attività di *decision making*, anche se legata all'effettivo contesto territoriale e strutturale in cui opera: la variazione delle "condizioni al contorno", degli *stakeholders* e delle caratteristiche strutturali influiscono sull'esito della valutazione prodotta.

Ulteriori, successivi affinamenti metodologici potrebbero consentire di constatare l'effettiva influenza di tale "soggettività" sulla valutazione, superando questo limite anche attraverso il confronto dei valori assunti, in cicli temporali differenti, dagli indicatori selezionati, che risulterebbero, in tal modo, sottoposti a loro volta ad un test di efficienza.

La necessità di disporre per almeno un triennio dei dati necessari, per individuare già in questa sede i margini di miglioramento conseguibili con l'applicazione della metodologia proposta, ha evidenziato una delle principali criticità emerse nel corso dell'attività di ricerca: la difficoltà di accesso ai dati locali e i limiti delle risorse disponibili per acquisire ed elaborare la parte sperimentale.

Alla possibilità di individuare numerosi indicatori delle condizioni di sostenibilità, infatti, fa da contraltare la complessità di questa operazione, date le differenti tipologie di indicatori, i diversi ambiti di declinazione del concetto di sostenibilità e, soprattutto, le sovrapposizioni tra gli stessi.

Queste considerazioni manifestano l'opportunità di ricorrere, per l'applicazione della proposta metodologica formulata, ad un sistema informativo di cui gli indicatori rappresentino parte essenziale, tanto per garantire la disponibilità e la sistematizzazione dei dati necessari per popolare gli indicatori, quanto per l'applicazione della valutazione.

Nel contesto analizzato, l'elemento che maggiormente appare fungere da traino nell'indirizzare politiche di efficienza e di sostenibilità è l'introduzione di disposizioni legislative cogenti o la disponibilità di

strumenti finanziari di supporto, che ne hanno determinato, negli anni, differenti gradi di sviluppo e diffusione tra i vari settori analizzati.

È evidente, per esempio, che, a differenza delle altre matrici esaminate nel caso di applicazione, molto è stato fatto ed è attualmente in programma in materia di energia, in termini di riduzione dei consumi e di efficientamento degli usi finali.

L'auspicabile sviluppo di una coscienza ambientale diffusa richiederebbe di affiancare ad un'attività di carattere tecnico-scientifico una parallela, mirata al coinvolgimento ed alla sensibilizzazione dell'utenza, come avviene da tempo nei contesti anglosassoni, in cui queste istanze sono più sentite e la cultura ambientale è maggiormente radicata.

Il ricorso a strumenti consolidati di supporto finanziario, da un lato, e, dall'altro, una maggiore e più diffusa consapevolezza dell'esigenza indifferibile di attuare politiche di sostenibilità, non per ragioni squisitamente etiche, ma per la tutela dell'ambiente e dello stesso bene comune, appare la via più immediata da percorrere nella direzione di futuri traguardi possibili.

BIBLIOGRAFIA

- Abdelalim A., O'Brien W., Shi Z., 2015. Visualization of energy and water consumption and GHG emissions: A case study of a Canadian University Campus. *Energy and Buildings*.
- ANPA - Unità Normativa Tecnica, ONR, 2001. Definizione di standard tecnici di igiene urbana. ANPA, Manuali e linee guida 6/2001.
- Armijo de Vega C., Ojeda Benítez S., Ramírez Barreto Ma. Elizabeth, 2003. Mexican educational institutions and waste management programmes: a University case study. *Resources, Conservation and Recycling*.
- Armijo de Vega C., Ojeda Benítez S., Ramírez Barreto Ma. Elizabeth, 2008. Solid waste characterization and recycling potential for a university campus. *Waste Management*.
- Arnautovic E., Svetinovic D., 2012. Value models for engineering of complex sustainable systems. *New Challenges in Systems Engineering and Architecting, Conference on Systems Engineering Research (CSER) 2012-St. Louis, MO - Procedia Computer Science*
- Bruntland, G.H., 1987. *Our common future*. World Commission on Environment and Development (WCED), Oxford paperbacks; Oxford University Press.
- Butala V, Novak P., 1999. Energy consumption and potential energy savings in old school buildings. *Energy and Buildings* (1999); 29:241–6.
- Cecchi, Traverso, Pavan, Bolzonella and Innocenti, 2003. Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes. Mata- Alvarez.
- Cucek L., Klemes J. J., Kravanja Z., 2012. A review of Footprint analysis tools for monitoring impacts on sustainability. *Journal of Cleaner Production* 34 (2012) 9-20.
- Diamond J. M., 2005. *Collapse: how societies choose to fail or succeed*. Viking Press.
- Escobedo A., Briceño S., Juarez H., Imaz M., Sheinbaum C. 2013. Energy consumption and GHG emission scenarios of a university campus in Mexico. *Energy for Sustainable Development* 18 (2014) 49-57.

-
- Environmental Studies Service Learning Program Campus Energy Team, 2004. University of Oregon Energy Project: Research, Education and Alternative Energy.
- Espinosa R.M., Turpin S., Polanco G., De laTorre A., Delfín I., Raygoza I, 2008. Integral urban solid waste management program in a Mexican university. *Waste Management*.
- Filippin C., 2000. Benchmarking the energy efficiency and greenhouse gases emissions of school buildings in central Argentina. *Build Environment*; (2000) 35:407–14.
- Finzi, Pirovano, Volta, 2011. *Gestione della qualità dell'aria*. Mc Graw-Hill.
- Floridi, M., Pagni, S., Falorni, S., Luzzati, T., 2011. An exercise in composite indicators construction: Assessing the sustainability of Italian regions. *Ecological Economics* 70 (2011) 1440–1447.
- Goudie D. D., 2009. *The emergent science of Engineering a Sustainable Urban Environment*. Water, Air & Soil Pollution: Focus.
- Hoekstra, A.Y., Hung, P.Q., 2002. *Virtual Water Trade: a quantification of virtual water flows between nations in relation to International Crop Trade*. Value of Water Research Report Series (No. 11), UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft, the Netherlands.
- Hoekstra A.Y., 2008. *Water Neutral: Reducing and Offsetting the Impacts of Water Footprints*. Value of water Research Report Series No. 28, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.
- Hoekstra, A.Y., 2009. Human appropriation of natural capital: a comparison of ecological footprint and water footprint analysis. *Ecological Economics* 68, 1963–1974.
- Høgevold, N.M., 2003. A corporate effort towards a sustainable business model: a case study from the Norwegian furniture industry. *Int. J. Oper. Prod. Management*. 23,392–400.
- ISPRA, 2015. *Rapporto rifiuti urbani Edizione 2015*.
- ISPRA, 2016. *Qualità dell'ambiente urbano – XII Rapporto (2016) Stato dell'Ambiente 67/16*.
- ISPRA, 2010. *Trasporto su strada - Inventario nazionale delle emissioni e disaggregazione provinciale - Rapporto 124/2010*
- Jørgensen A., Le Bocq A., Nazarkina L., Hauschild M., 2008. Methodologies for social life cycle assessment. *International Journal of Life Cycle Assessment* 2: 96–103
- Kuhn, Thomas S., 1962. *The Structure of Scientific Revolutions* (1st ed.). Chicago, IL: University of Chicago Press.

-
- Klein-Banai C., Theis T. L., 2011. An urban university's ecological footprint and the effect of climate change. *Ecological Indicators* 11 (2011) 857-860.
- Lambrechts W., Van Liedekerke L., 2014. Using ecological footprint analysis in higher education: Campus operations, policy development and educational purposes. *Ecological Indicators* 45 (2014) 402-406.
- Landolfo Pier Giorgio, Musmeci Fabio, 2013. Il compostaggio di comunità. *EAI Energia, Ambiente e Innovazione* 5/2013
- Li G.J., Wang Q., Gu X. W., Liu J.X., Ding Y., Liang G. Y, 2008. Application of the componential method for ecological footprint calculation of a Chinese University campus. *Ecological Indicators* 8 (2008) 75-78.
- Lombardini, G., 2016. Visioni della sostenibilità: Politiche ambientali e strumenti di valutazione. Franco Angeli
- Lozano R., 2006. A tool for a graphical assessment of sustainability in universities (GASU). *J. Clean. Prod* 14 (9-11), 963-972.
- Lozano R., Lukman R., Lozano F.J., Huising D., Lambrechts W., 2013. Declarations for sustainability in higher education: becoming better leaders, through addressing the university system. *Journal of Cleaner Production* 48, 10-19.
- Lukman R., Krajnc D., Glavic P., 2010. University ranking using research, educational and environmental indicators. *Journal of Cleaner Production*
- Mason I.G., Brooking A.K., Oberender A., Harford J.M, Horsley P.G., 2003. Implementation of a zero waste program at a university campus. *Resources, Conservation and Recycling*.
- Natural Resources Canada's Office of Energy Efficiency, 2007. Commercial and Institutional Consumption of Energy Survey Summary Report – June 2007.
- Olszak E., 2012. Composite indicators for a sustainable campus— Design rationale and methodology: The case of the Catholic Institute of Lille. *Ecological Indicators*.
- Oosthoek, J., Gills, B.K., 2005. Humanity at the crossroads: the globalization of environmental crisis. *Globalizations* 2, 283–291.
- Organisation for Economic Co-Operation And Development, 1993. *OECD Core Set of Indicators for Environmental Performance Reviews*.
- Plass N., & Kaltenecker I., 2007. Strategic and practical implications in decision making and planning for sustainability. *Indoor and Built Environment*, 16(3), 204-215. SAGE Journals.

Rees W., 1992. Ecological footprint and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out *Environ. Urban.* 4 (2), 121-130.

Stieglitz, J.E., Sen, A., Fitoussi, J.-P., 2009. Report by the Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress.

Tenuta P., 2009. *Indici e modelli di sostenibilità*. Franco Angeli.

UNEP/SETAC (2009). *Life Cycle Management: how business uses it to decrease Footprint, create opportunities and make value change*.

United Nations – Division for Sustainable Development (UNCED), 1992. Agenda 21.

US Energy Information Administration (USEIA). *Commercial building energy consumption survey 2003, energy end-uses; 2008 (Oct. Table E.2A)*.

Wackernagel M., Rees W. E., 1996. *Our ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*. New Society Publishers, Gabriola Island, British Columbia, Canada.

Wackernagel, M., Rees, W.E., 1997. Perceptual and structural barriers to investing innatural capital: economics from an ecological footprint perspective. *Ecol. Econ.* 20, 3–24.

Wackernagel, M., Onisto, L., Bello, P., Callejas Linares, A., Susana López Falfán, I., Méndez García, J., Guerrero Isabel Suárez, A., Guadalupe Suárez Guerrero, M., 1999. National natural capital accounting with the ecological footprint concept. *Ecol. Econ.* 29, 375–390.

Wackernagel, M., Lewan, L., Hansson, C.B., 1999. Evaluating the use of natural capital with the ecological footprint. *AMBIO* 28, 604–612.

Wieck A., Ness B., Schweizer-Ries P., Brand F. S., Farioli F., 2012. From complex systems analysis to transformational change: a comparative appraisal of sustainability science projects *Sustainability Science* (2012) 7 (Supplement 1) 5–24.

WWF, (World Wildlife Fund for Nature) (2002). *Living Planet Report*.

www.wwf.de.

www.footprintnetwork.org