



Politecnico di Torino

FACOLTÀ DI INGEGNERIA
Corso di Laurea in Ingegneria Civile

**Analisi sui dati di consumo e sulla distribuzione
dell'acqua potabile presso il Politecnico di Torino**

Candidato:
Alessandro Marengo
Matricola 251273

Relatore:
Fulvio Boano
Correlatore:
Francesco Laio

Sommario

Il presente elaborato di tesi si propone di analizzare i consumi di acqua potabile di un'utenza particolare qual è un'università, nello specifico il Politecnico di Torino, al fine di caratterizzare il profilo di prelievo dalla rete pubblica e di rappresentare i consumi delle utenze presenti all'interno dell'Ateneo.

Nella prima parte, viene eseguita un'analisi dettagliata relativa i valori di portata in ingresso al Politecnico di Torino, relativi alla sola Sede Centrale, rilevati dal sistema di monitoraggio esistente. In particolare, vengono analizzati i consumi a diverse scale temporali al fine di descrivere le variazioni di consumo relative ai diversi intervalli di tempo considerati. Inoltre, vengono stimati i valori di consumo pro capite a studente.

Nella seconda parte, viene effettuata la modellazione idraulica della rete interna di adduzione dell'acqua potabile, al fine di individuare le varie utenze presenti nell'Ateneo, definire la loro distribuzione spaziale, stimare i relativi consumi ed analizzare la distribuzione interna delle portate nelle varie condotte.

Indice

Elenco delle tabelle	III
Elenco delle figure	V
1 Introduzione	1
1.1 La disponibilità idrica mondiale	2
1.2 I consumi in Europa	4
1.3 La situazione in Italia	6
1.4 Consumi domestici	9
2 Metodologia	10
2.1 Reperimento dei dati	11
2.1.1 Planimetria	11
2.1.2 Rete interna di distribuzione	12
2.1.3 Dati di consumo	14
2.2 Metodi di analisi	15
2.2.1 Trattamento dei dati	15
2.2.2 Parametri di confronto	16
2.3 Modellazione idraulica	27
2.3.1 Gli elementi della rete	28
2.3.2 Algoritmo di analisi	33
2.3.3 Costruzione del modello	35
2.3.4 Dati di input	38
3 Risultati	45
3.1 Analisi dei consumi	45
3.1.1 Validazione dei dati	45
3.1.2 Serie storica delle portate	49
3.1.3 Andamento mensile	51
3.1.4 Andamento settimanale	57
3.1.5 Andamento giornaliero	62
3.1.6 Divisione tra consumo diurno e notturno	68

3.1.7	Dotazioni	73
3.1.8	Coefficienti di punta	79
3.2	Simulazione numerica	84
3.2.1	Scenario 1: Il giorno tipo - Distribuzione uniforme	84
3.2.2	Scenario 2: Il giorno tipo - Distribuzione variabile	92
3.2.3	Scenario 3: Giorno di massimo consumo	101
3.3	Proposte d'intervento	110
4	Conclusioni	114
A	Grafici integrativi	116
B	Network Epanet	156
	Bibliografia	178

Elenco delle tabelle

1.1	Volumi pro capite immessi in rete ed erogati nelle reti comunali di distribuzione dell'acqua potabile, perdite totali (fonte: Istat, censimento delle acque per uso civile, anno 2015)	7
1.2	Ripartizione dei consumi domestici (fonte: Nuvole e sciacquoni, G. Conte, 2008)	9
2.1	Acqua fatturata per uso civile/domestico nel 2016, dati Istat	17
2.2	Consumo pro capite medio in Italia, dati Istat	17
2.3	Fabbisogni delle utenze civili (fonte: Acquedotti - Guida alla progettazione, V. Milano, 2016)	18
2.4	Fabbisogni in edifici pubblici e istituti collettivi (fonte: Acquedotti - Guida alla progettazione, V. Milano, 2016)	18
2.5	Fabbisogni per tipi di industria (fonte: Acquedotti - Guida alla progettazione, V. Milano, 2016)	19
2.6	Dotazione al variare della popolazione (fonte: Piano d'Ambito della regione Puglia, settembre 2002)	19
2.7	Perdite idriche totali nell'anno 2016, dati Istat	20
2.8	Valori del coefficiente di punta mensile (fonte: Acquedotti - Guida alla progettazione, V. Milano, 2016)	23
2.9	Valori del coefficiente di punta orario $\alpha_{h,i}$ (fonte: Acquedotti - Guida alla progettazione, V. Milano, 2016)	25
2.10	Formule di perdita di carico nelle tubazioni (con perdite di carico espresse in piedi e portata in piedi cubici per secondo)	31
2.11	Coefficienti di scabrezza per tubi nuovi	31
3.1	Esempi di valori anomali	47
3.2	Volumi totali, numero di giorni rilevati e portate medie nei vari anni	49
3.3	Risultati della suddivisione nell'anno 2015	54
3.4	Consumi nella settimana lavorativa tipo dell'anno 2015	59
3.5	Valori orari di consumo nel giorno tipo dell'anno 2015	64
3.6	Valori medi di prelievo suddivisi per tipologia di giorno	69
3.7	Valori medi di prelievo suddivisi per tipologia di giorno	72
3.8	Valori di dotazione nei periodi didattici - Anno 2015	77
3.9	Valori dei coefficienti di punta $K_{m,i}$	79

3.10	Valori dei coefficienti di punta massimi K_m	81
3.11	Valori del coefficiente di punta K_g	81
3.12	Valori del coefficiente di punta giornaliero K_g , diviso per tipologia di giorno	82
3.13	Valori del coefficiente di punta orario K_h	83
3.14	Valori di portata nel giorno tipo lavorativo del 2018	86
3.15	Valori utilizzati di domanda idrica	86
3.16	Consumi stimati nei bagni a maggior afflusso	95
3.17	Valori stimati di consumo per ogni gruppo di servizi igienici	95
3.18	Valori di portata nel giorno di massimo consumo del 2018	102
3.19	Risultati dello scenario 3	106
3.20	Risultati scenario 3 - Nodi pressione negativa	106
A.1	Risultati della suddivisione dell'anno 2009	117
A.2	Risultati della suddivisione dell'anno 2010	117
A.3	Risultati della suddivisione dell'anno 2011	118
A.4	Risultati della suddivisione dell'anno 2012	119
A.5	Risultati della suddivisione dell'anno 2013	120
A.6	Risultati della suddivisione dell'anno 2014	121
A.7	Risultati della suddivisione dell'anno 2015	122
A.8	Risultati della suddivisione dell'anno 2016	123
A.9	Risultati della suddivisione dell'anno 2017	124
A.10	Risultati della suddivisione dell'anno 2018	125
A.11	Risultati della suddivisione dell'anno 2019	126

Elenco delle figure

1.1	Risorse totali di acqua rinnovabile pro capite espresse in m ³ (fonte: WWAP con dati dal database FAO AQUASTAT http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm)	3
1.2	Utenza finale dell'acqua potabile (fonte: Treccani, elaborazione grafica con dati del Pacific institute)	4
1.3	Consumo giornaliero medio in Europa (fonte: Commissione Europea)	5
1.4	Costo medio in Europa per metro cubo di acqua (fonte: International water association, 2013)	5
1.5	Perdite idriche totali per provincia (fonte: Istat, censimento delle acque per uso civile, anno 2015)	8
2.1	Planimetria Politecnico di Torino (fonte: Geoportale della regione Piemonte)	11
2.2	Posizione degli allacci all'acquedotto - Cittadella	12
2.3	Posizione degli allacci all'acquedotto - Sede Centrale	13
2.4	Collegamento alla rete dell'acquedotto - Sede Centrale	13
2.5	Andamento mensile delle portate (fonte: elaborazione grafica con dati da Acquedotti - Guida alla progettazione, V. Milano, 2016) . .	22
2.6	Andamento orario delle portate nei due casi (fonte: elaborazione grafica con dati da Acquedotti - Guida alla progettazione, V. Milano, 2016)	24
2.7	Consumi a Napoli il 26 gennaio 2020 (fonte: Abc Acqua Bene Comune di Napoli, 2020	26
2.8	Unità di misura utilizzate da Epanet	36
2.9	Modello geometrico della rete di adduzione dell'acqua potabile . . .	39
2.10	Time pattern assegnato al reservoir	42
2.11	Modello geometrico della rete di adduzione dell'acqua potabile . . .	44
3.1	Esempio di valori anomali ricadenti nel primo caso	46
3.2	Esempio di valori anomali ricadenti nel secondo caso	48
3.3	Andamento delle portate dal 1 gennaio 2009 al 23 luglio 2019	50
3.4	Andamento dei consumi nell'anno 2015	52
3.5	Andamento dei consumi nell'anno 2015	54
3.6	Andamento dei consumi nel mese di ottobre dell'anno 2015	57

3.7	Andamento dei consumi nella settimana lavorativa tipo dell'anno 2015	58
3.8	Andamento dei consumi nel mese di agosto dell'anno 2015	59
3.9	Andamento dei consumi nel mese di agosto dei vari anni	60
3.10	Andamento dei consumi nella settimana centrale di ottobre 2015	62
3.11	Andamento dei consumi nel giorno tipo dell'anno 2015	63
3.12	Andamento dei consumi nel giorno tipo lavorativo nei vari anni	65
3.13	Andamento dei consumi nel giorno tipo sessione nei vari anni	66
3.14	Andamento dei consumi nel giorno tipo festivo nei vari anni	67
3.15	Consumi diurni e notturni nell'anno 2015 - Lavorativo	69
3.16	Consumi diurni e notturni nell'anno 2015 - Sessione esami	70
3.17	Consumi diurni e notturni nell'anno 2015 - Festivo	71
3.18	Andamento dell'occupazione e del consumo - Anno 2015	74
3.19	Andamento dell'occupazione e del consumo - Anno 2015	75
3.20	Andamento della dotazione idrica - Anno 2015	77
3.21	Andamento della dotazione idrica - Anno 2015	78
3.22	Andamento della dotazione idrica - Periodo 2013 - 2019	78
3.23	Giorno tipo lavorativo 2018, portata in l/min	85
3.24	Time pattern assegnato ai laboratori	87
3.25	Time pattern assegnato ai servizi igienici	87
3.26	Risultati scenario 1 - Ore 15:00	89
3.27	Andamento delle portate nei link P2 e P7 - Scenario 1	90
3.28	Andamento delle portate nei link P73 e P145 - Scenario 1	90
3.29	Maglia interna della rete	91
3.30	Andamento delle portate nei link P81, P86, P88 e P107 - Scenario 1	91
3.31	Valori della portata unitaria per apparecchio sanitario (fonte: norme prEN 806)	93
3.32	Portate di progetto in funzione delle portate totali (fonte: norme prEN 806)	93
3.33	Time pattern assegnato ai laboratori	97
3.34	Andamento delle portate nei link P2 e P7 - Scenario 2	98
3.35	Andamento delle portate nei link P73 e P145 - Scenario 2	98
3.36	Andamento delle portate nei link P81, P86, P88 e P107 - Scenario 2	99
3.37	Risultati scenario 2 - Ore 15:00	100
3.38	Giorno di massimo consumo, portata in l/min	101
3.39	Time pattern assegnato ai laboratorio di massimo consumo	103
3.40	Andamento delle portate nei link P2 e P7 - Scenario 3	104
3.41	Andamento delle portate nei link P73 e P145 - Scenario 3	105
3.42	Risultati nodo 63 scenario 3 - Ore 15:00	107
3.43	Risultati nodo 131 scenario 3 - Ore 15:00	108
3.44	Distribuzione spaziale dei nodi di laboratorio analizzati	109
3.45	Punti di installazione dei misuratori di portata	111
A.1	Andamento dei consumi nell'anno 2009	116

A.2	Andamento dei consumi nell'anno 2010	117
A.3	Andamento dei consumi nell'anno 2011	118
A.4	Andamento dei consumi nell'anno 2012	119
A.5	Andamento dei consumi nell'anno 2013	120
A.6	Andamento dei consumi nell'anno 2014	121
A.7	Andamento dei consumi nell'anno 2015	122
A.8	Andamento dei consumi nell'anno 2016	123
A.9	Andamento dei consumi nell'anno 2017	124
A.10	Andamento dei consumi nell'anno 2018	125
A.11	Andamento dei consumi nell'anno 2019	126
A.12	Andamento dei consumi nel giorno tipo dell'anno 2009	127
A.13	Andamento dei consumi nel giorno tipo dell'anno 2010	127
A.14	Andamento dei consumi nel giorno tipo dell'anno 2011	128
A.15	Andamento dei consumi nel giorno tipo dell'anno 2012	128
A.16	Andamento dei consumi nel giorno tipo dell'anno 2013	129
A.17	Andamento dei consumi nel giorno tipo dell'anno 2014	129
A.18	Andamento dei consumi nel giorno tipo dell'anno 2015	130
A.19	Andamento dei consumi nel giorno tipo dell'anno 2016	130
A.20	Andamento dei consumi nel giorno tipo dell'anno 2017	131
A.21	Andamento dei consumi nel giorno tipo dell'anno 2018	131
A.22	Andamento dei consumi nel giorno tipo dell'anno 2019	132
A.23	Consumi diurni e notturni nell'anno 2009 - Lavorativo	133
A.24	Consumi diurni e notturni nell'anno 2009 - Sessione esami	133
A.25	Consumi diurni e notturni nell'anno 2009 - Festivo	134
A.26	Consumi diurni e notturni nell'anno 2010 - Lavorativo	134
A.27	Consumi diurni e notturni nell'anno 2010 - Sessione esami	135
A.28	Consumi diurni e notturni nell'anno 2010 - Festivo	135
A.29	Consumi diurni e notturni nell'anno 2011 - Lavorativo	136
A.30	Consumi diurni e notturni nell'anno 2011 - Sessione esami	136
A.31	Consumi diurni e notturni nell'anno 2011 - Festivo	137
A.32	Consumi diurni e notturni nell'anno 2012 - Lavorativo	137
A.33	Consumi diurni e notturni nell'anno 2012 - Sessione esami	138
A.34	Consumi diurni e notturni nell'anno 2012 - Festivo	138
A.35	Consumi diurni e notturni nell'anno 2013 - Lavorativo	139
A.36	Consumi diurni e notturni nell'anno 2013 - Sessione esami	139
A.37	Consumi diurni e notturni nell'anno 2013 - Festivo	140
A.38	Consumi diurni e notturni nell'anno 2014 - Lavorativo	140
A.39	Consumi diurni e notturni nell'anno 2014 - Sessione esami	141
A.40	Consumi diurni e notturni nell'anno 2014 - Festivo	141
A.41	Consumi diurni e notturni nell'anno 2015 - Lavorativo	142
A.42	Consumi diurni e notturni nell'anno 2015 - Sessione esami	142
A.43	Consumi diurni e notturni nell'anno 2015 - Festivo	143

A.44 Consumi diurni e notturni nell'anno 2016 - Lavorativo	143
A.45 Consumi diurni e notturni nell'anno 2016 - Sessione esami	144
A.46 Consumi diurni e notturni nell'anno 2016 - Festivo	144
A.47 Consumi diurni e notturni nell'anno 2017 - Lavorativo	145
A.48 Consumi diurni e notturni nell'anno 2017 - Sessione esami	145
A.49 Consumi diurni e notturni nell'anno 2017 - Festivo	146
A.50 Consumi diurni e notturni nell'anno 2018 - Lavorativo	146
A.51 Consumi diurni e notturni nell'anno 2018 - Sessione esami	147
A.52 Consumi diurni e notturni nell'anno 2018 - Festivo	147
A.53 Consumi diurni e notturni nell'anno 2019 - Lavorativo	148
A.54 Consumi diurni e notturni nell'anno 2019 - Sessione esami	148
A.55 Consumi diurni e notturni nell'anno 2019 - Festivo	149
A.56 Andamento dell'occupazione e del consumo - Anno 2013	150
A.57 Andamento dell'occupazione e del consumo - Anno 2014	150
A.58 Andamento dell'occupazione e del consumo - Anno 2014	151
A.59 Andamento dell'occupazione e del consumo - Anno 2015	151
A.60 Andamento dell'occupazione e del consumo - Anno 2015	152
A.61 Andamento dell'occupazione e del consumo - Anno 2016	152
A.62 Andamento dell'occupazione e del consumo - Anno 2016	153
A.63 Andamento dell'occupazione e del consumo - Anno 2017	153
A.64 Andamento dell'occupazione e del consumo - Anno 2017	154
A.65 Andamento dell'occupazione e del consumo - Anno 2018	154
A.66 Andamento dell'occupazione e del consumo - Anno 2018	155
A.67 Andamento dell'occupazione e del consumo - Anno 2019	155

Capitolo 1

Introduzione

Oramai è sotto gli occhi di tutti che nel mondo è in atto il fenomeno del cambiamento climatico. L'acqua costituisce l'elemento principale di percezione degli effetti del cambiamento climatico. Forti precipitazioni concentrate in brevi periodi caratterizzati anche da improvvise alluvioni lampo, che si verificano nell'intero periodo che intercorre tra l'inizio dell'estate e il tardo autunno. Questi fenomeni sempre più intensi causano notevoli danni ad un territorio sempre più vulnerabile e inadatto a rispondere naturalmente a queste tipologie di eventi.

In Italia basti pensare all'anno 2017, in cui la siccità estiva ha causato il deterioramento dello stato dei principali bacini idrografici italiani quali Po, Adige, Arno e Tevere, le cui portate hanno fatto segnare diminuzioni di circa il 40% rispetto al trentennio 1981-2010^[1]. Le rare precipitazioni che hanno interessato il nostro paese, hanno fatto segnare un valore del 22% in meno rispetto alla media, decretando il 2017 come il secondo anno più secco dal 1961, dopo il 2001. Non sono mancati nemmeno gli eventi di precipitazione di estrema entità, registrando valori di 120 mm/h nella provincia di Livorno e 110 mm/h in provincia di Roma, registrati il 10 e 11 settembre. Le temperature elevate, che si sono protratte a lungo nel tempo, hanno reso il giugno del 2017 il mese più caldo degli ultimi 150 anni. In uno scenario mondiale caratterizzato dal surriscaldamento globale, è previsto un aumento delle carenze di acqua soprattutto nei paesi del Mediterraneo^[2]. A tutto ciò, si aggiunge anche la responsabilità dell'uomo nella gestione delle risorse idriche. Basti pensare che, in Italia, il 41,4%^[3] del volume di acqua potabile immesso in rete non raggiunge l'utente finale, venendo disperso nell'ambiente a causa del pessimo stato delle reti di distribuzione.

Oltre ad un'azione di riduzione e successivo azzeramento delle emissioni climalteranti, sono necessarie strategie di risparmio e di efficienza nell'uso dell'acqua. È inoltre necessario, modificare il nostro rapporto quotidiano con l'ambiente e con l'acqua, partendo dalla consapevolezza che l'acqua è un bene comune a disposizione sempre più limitata.

1.1 La disponibilità idrica mondiale

Il 71% della superficie terrestre è occupata dall'acqua^[4], per un volume totale stimato in 1 360 000 000 km³. Di questo 71% ben il 97% è formato da acqua salata, mentre solo il 3% costituisce l'acqua dolce. Quest'ultima è presente in differenti forme:

- per il 69% è presente sotto forma di calotte glaciali e ghiacciai, con più dei 2/3 di quest'ultimi localizzati in pochi ghiacciai quali l'Antartide e la Groenlandia che costituiscono quindi, la principale riserva di acqua dolce presente sulla Terra;
- il 30% è presente come acqua sotterranea, ottenuta dal processo di infiltrazione delle acque meteoriche, costituisce la principale fonte di approvvigionamento per l'acqua ad uso potabile;
- il restante 1% è presente sotto forma di acque superficiali, così suddivise:
 - 2% nei fiumi;
 - 11% negli stagni;
 - 87% nei laghi.

La risorsa idrica non risulta però distribuita in maniera uniforme nelle varie aree della Terra. In particolare, il 64,5% delle risorse idriche rinnovabili mondiali sono distribuite in soli 13 paesi^[5]: Brasile (14,9%), Russia (8,2%), Canada (6%), Stati Uniti (5,6%), Indonesia (5,2%), Cina (5,1%), Colombia (3,9%), India (3,5%), Perù (3,5%), Congo (2,3%), Venezuela (2,2%), Bangla Desh (2,2%), Myanmar (1,9%).

Come testimoniato dalla figura 1.1, dove si riporta la disponibilità di acqua pro capite espressa in m³, questa disomogeneità causa delle situazioni di stress idrico in certi paesi, mentre in altri addirittura, si raggiunge il livello di assoluta scarsità dell'acqua.

Secondo le stime^[6], l'attuale domanda idrica si attesta sui 4600 km³ all'anno, mentre nel 2050 si calcolano all'incirca 5500-6000 km³, causando un aumento che varia dal 20-30%.

Le cause dell'aumento di domanda sono da ricercarsi nella crescita demografica, dello sviluppo economico e dal cambiamento dei modelli di consumo, per citarne alcuni.

Tra il 2017 e il 2050 si stima una crescita demografica mondiale che, dagli attuali 7,7 miliardi di persone, cresce fino ad attestarsi intorno ai 9,4 e i 10,2 miliardi, dei quali più dei 2/3 vivranno nelle città. La maggior parte della crescita è prevista per il continente africano, con un aumento di 1,3 miliardi, seguito da quello asiatico con un incremento di 0,75 miliardi. A peggiorare la situazione, come evidenziato in figura 1.1, queste regioni coincidono con quelle in condizioni peggiori come livello

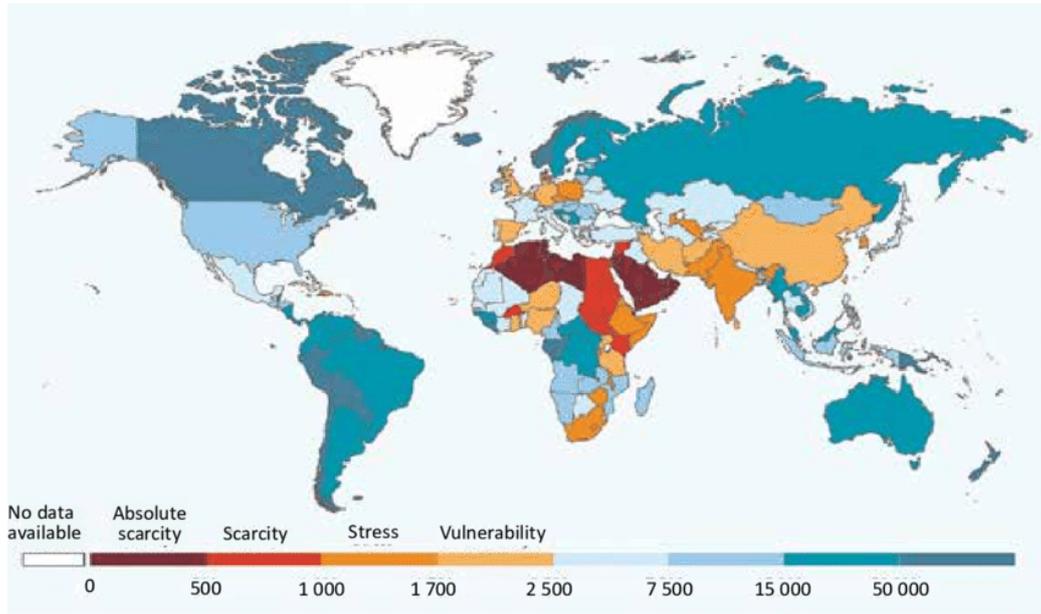


Figura 1.1: Risorse totali di acqua rinnovabile pro capite espresse in m^3 (fonte: WWAP con dati dal database FAO AQUASTAT <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm>)

di stress idrico e con un aumento di popolazione la situazione non può che peggiorare. Attualmente, in tutto il mondo, circa la metà della popolazione mondiale, 3,6 miliardi di persone, vivono in aree con potenziale scarsità idrica per almeno un mese all'anno che, considerata la crescita demografica, nel 2050 sono destinati ad aumentare. Si stima che il 73% delle persone soggette a questo fenomeno viva in Asia.

In media ogni persona consuma oggi un volume d'acqua doppio rispetto a quanto consumava nel 1900, con un incremento che, dal 1980, si attesta al ritmo dell'1% annuo.

La maggior parte del prelievo di acqua dolce viene destinata al settore agricolo, circa il 70%, il 18% all'industriale mentre il 12% per i consumi domestici. Si noti, in figura 1.2, come il settore agricolo costituisca il principale utilizzo soprattutto nelle regioni più povere, a discapito del settore industriale che in Europa diventa il settore con maggior utilizzo. L'utilizzo a maggiore crescita, si stima essere quello dell'uso domestico. I maggiori incrementi, si dovrebbero registrare in Africa e Asia, dove si prevede un aumento di tre volte del consumo, mentre in America centrale e meridionale dovrebbero raddoppiare, principalmente grazie allo sviluppo dei servizi di distribuzione dell'acqua negli insediamenti urbani.

Dal 2010, si è registrata la tendenza ad utilizzare sempre di più le acque sotterranee per l'agricoltura, con un aumento di circa $800 m^3$ all'anno, causando una notevole riduzione delle risorse sotterranee nel mondo. Affiancandolo all'aumento

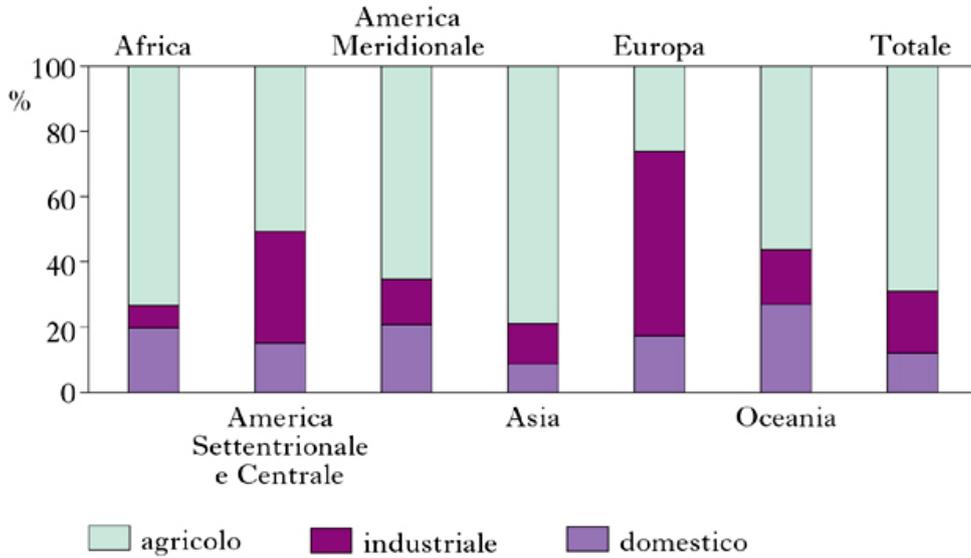


Figura 1.2: Utenza finale dell'acqua potabile (fonte: Treccani, elaborazione grafica con dati del Pacific institute)

della popolazione che comporterà un maggiore utilizzo del suolo per l'agricoltura, si prevede per il 2050 un aumento di circa il 39% dei prelievi da acque sotterranee. Si consideri che un terzo dei più estesi sistemi di acque sotterranee, si trova già in stato di sofferenza.

1.2 I consumi in Europa

A livello europeo, vedasi figura 1.3, l'Italia si conferma, per distacco, il paese che consuma il maggior volume di acqua al giorno con 243 l, seguito da Bulgaria a 191 l e Croazia a 182 l. Il consumo italiano risulta nettamente sopra la media europea anche grazie ad una maggiore disponibilità idrica che spesso ne causa un maggior utilizzo. Un altro fattore che influenza fortemente il consumo, è senz'altro il prezzo dell'acqua, riportato in figura 1.4 per l'area europea. Il costo dipende fortemente dalla qualità dell'acqua prelevata, dalla tipologia di potabilizzazione, dallo stato degli impianti e delle reti idriche e gli investimenti necessari. L'Italia presenta un costo medio per metro cubo pari a 1,36 € attestandosi al minimo europeo, ma presentando una delle reti con la maggiore perdita e la maggiore necessità di interventi; il basso prezzo è associato, in questo caso, all'alta disponibilità di risorsa soprattutto proveniente da falde sotterranee che comportano una bassa necessità di potabilizzazione. Paesi come la Danimarca, con 6,75 € al metro cubo, il massimo in Europa, presentano anche valori di consumo molto bassi. Il prezzo in questo caso, è causato dagli alti costi per potabilizzare l'acqua.

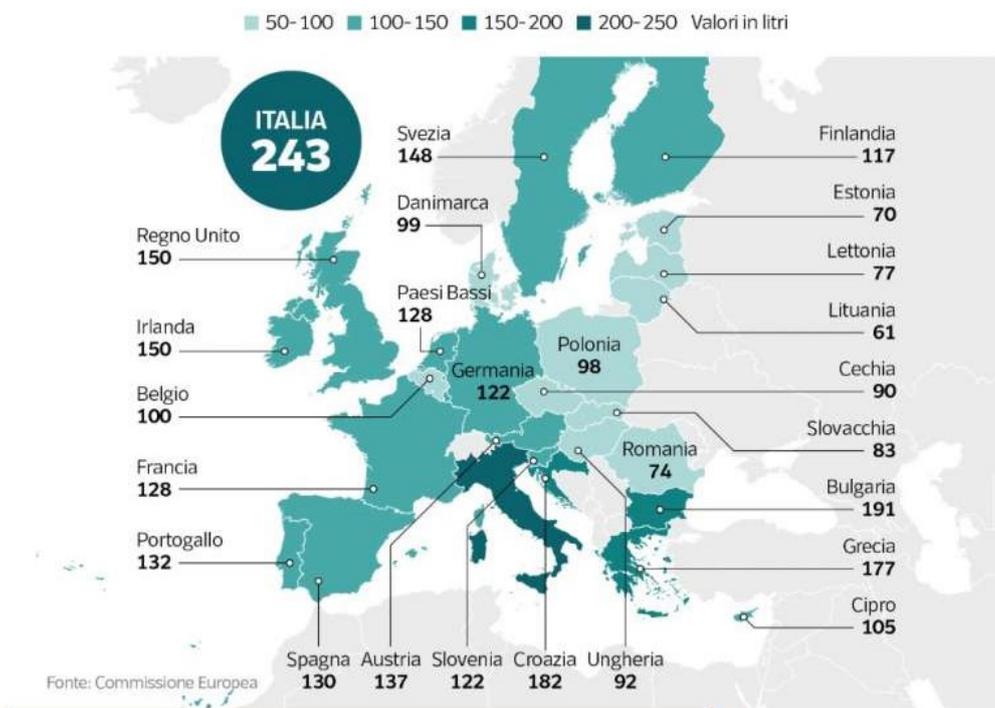


Figura 1.3: Consumo giornaliero medio in Europa (fonte: Commissione Europea)

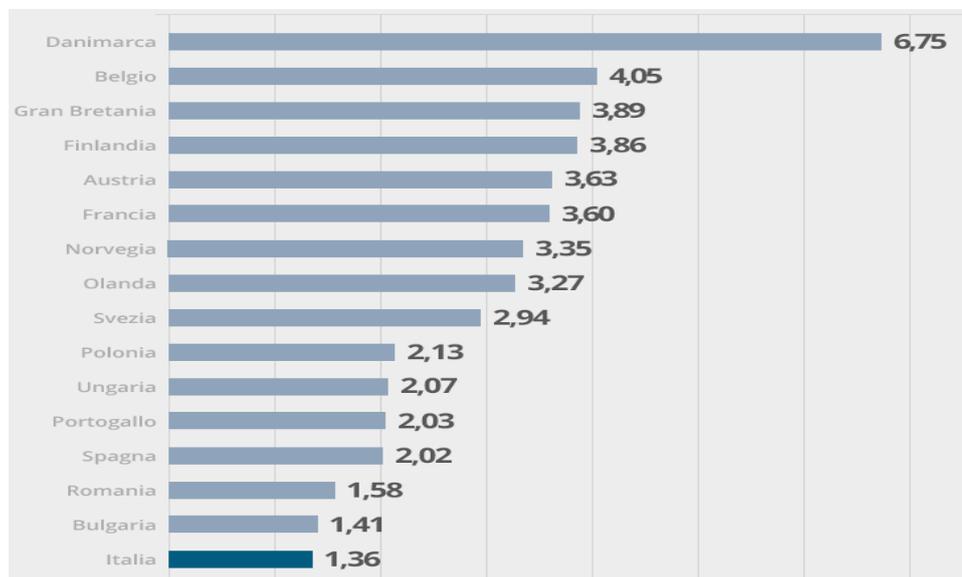


Figura 1.4: Costo medio in Europa per metro cubo di acqua (fonte: International water association, 2013)

1.3 La situazione in Italia

Nel 2015 in Italia è stato prelevato un volume complessivo per acqua ad uso potabile di circa 9,5 miliardi di metri cubi^[3], valore in linea con il dato precedente del 2012. Le tipologie di fonti sono di diverse tipologie:

- 47,95% è la quota prelevata tramite pozzi;
- 36,30% proviene da acque di sorgente;
- 10,82% da laghi naturali e bacini artificiali;
- 4,81% captato da corsi d'acqua superficiali;
- 0,12% ricavato da acque marine o salmastre, prelievo effettuato da due regioni, ovvero la Sicilia (92%) e la Toscana (8%).

Il volume immesso nelle reti di distribuzione comunali dell'acqua potabile ammonta a 8,3 miliardi di metri cubi, con una media di 375 litri al giorno per abitante. Di questi 375, soltanto 220 vengono erogati per usi autorizzati, ben 23 l in meno rispetto al 2012.

Il consumo giornaliero pro capite, evidenziato in tabella 1.1, varia molto da regione a regione dove, al netto delle perdite, viene raggiunto il picco massimo in Valle d'Aosta con 454 l, mentre il minimo registrato appartiene alla Puglia con 155 l. Nella lettura dei valori, occorre tenere in considerazione che, nei volumi di acqua erogata per usi autorizzati, sono compresi gli usi pubblici quali l'acqua nelle scuole, ospedali, innaffiamento del verde pubblico e i fontanili, quest'ultimi presenti in grande quantità soprattutto in alcune regioni montane quali Valle d'Aosta e Trentino-Alto Adige. Si nota, in generale, come le regioni del Mezzogiorno abbiano consumato, nel 2015, dei volumi inferiori alle regioni del nord Italia, dove si registrano i consumi pro capite massimi. Questo valore è fornito dal volume erogato dalla rete di distribuzione e non rispecchia l'effettivo consumo. Infatti, regioni come la Sardegna o la Sicilia sono dovute spesso ricorrere all'utilizzo di cisterne per compensare la mancanza di acqua proveniente alla rete di distribuzione.

Nel 2015, il 41,4% dell'acqua immessa in rete viene dispersa, che corrispondono a 3,4 miliardi di metri cubi. Le maggiori perdite si registrano nelle Isole e in alcune regioni del Centro-Sud quali, Basilicata (56,3%), Sardegna (55,6%), Lazio (52,9%) e Sicilia (50,0%). Invece tutte le regioni del Nord Italia, ad esclusione del Friuli-Venezia Giulia, registrano un valore di perdite inferiore alla media nazionale. In particolare, la regione con meno perdite risulta essere la Valle d'Aosta con un valore del 18,7%.

Rispetto al 2012, come visibile in figura 1.5, tutte le regioni, presentano un peggioramento delle perdite idriche nelle reti di distribuzione, ad eccezione della Valle d'Aosta e del Piemonte dove sono stati avviati dei sistemi di telecontrollo e

Tabella 1.1: Volumi pro capite immessi in rete ed erogati nelle reti comunali di distribuzione dell'acqua potabile, perdite totali (fonte: Istat, censimento delle acque per uso civile, anno 2015)

Regione	Volumi immessi (l/gg/abitante)	Volumi erogati (l/gg/abitante)	Perdite totali (%)
Piemonte	362	235	35.2
Valle d'Aosta	559	454	18.7
Liguria	415	279	32.8
Lombardia	381	272	28.7
Trentino-Alto Adige	414	291	29.8
Veneto	361	216	40.0
Friuli-Venezia Giulia	438	228	47.8
Emilia-Romagna	290	201	30.7
Toscana	312	176	43.4
Umbria	313	166	46.8
Marche	296	195	34.1
Lazio	452	213	52.9
Abruzzo	476	248	47.9
Molise	469	246	47.4
Campania	384	205	46.7
Puglia	286	155	45.9
Basilicata	466	203	56.3
Calabria	486	286	41.1
Sicilia	368	184	50.0
Sardegna	454	201	55.6
ITALIA	375	220	41.4

monitoraggio del servizio ed ammodernamento della rete per contenere le perdite nella rete stessa.

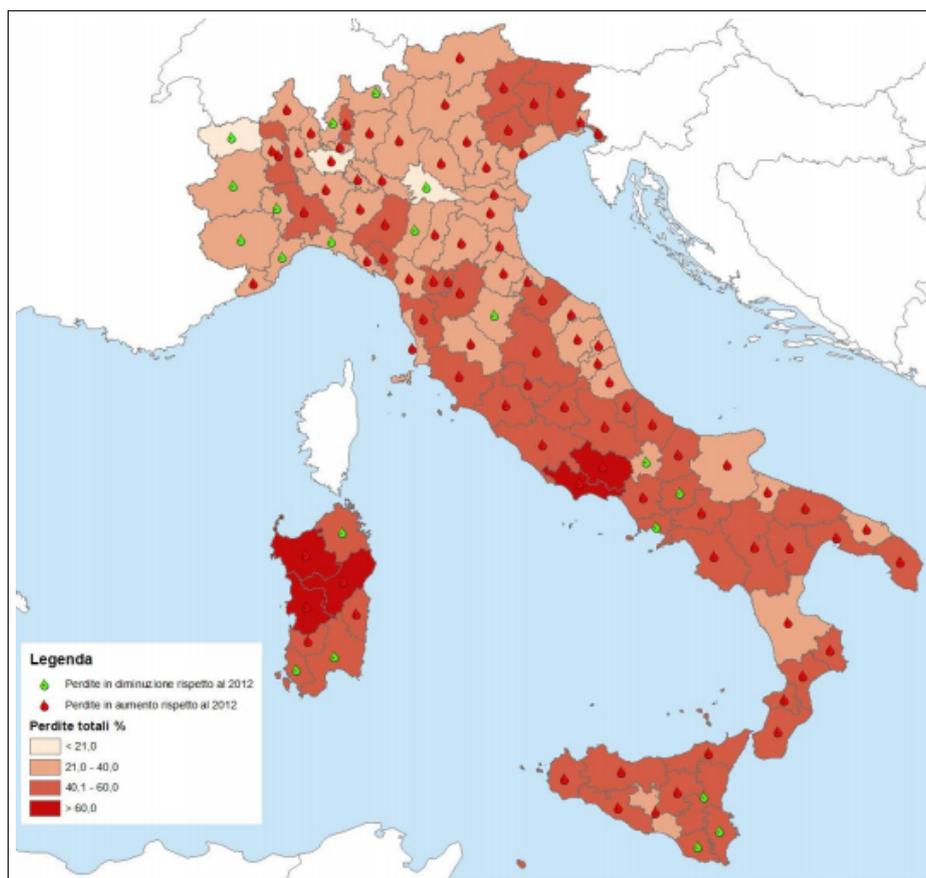


Figura 1.5: Perdite idriche totali per provincia (fonte: Istat, censimento delle acque per uso civile, anno 2015)

1.4 Consumi domestici

Si è visto come, in media, in Italia vengano consumati 220 litri al giorno per abitante, destinato all'utilizzo domestico. I principali utilizzi in un'abitazione, riportati in tabella 1.2, sono da ricercarsi all'utilizzo per l'igiene personale, con circa 70 litri, seguito dai 66 utilizzati dai WC. Si noti come sommando le percentuali relative all'igiene personale, alla cucina per l'alimentare e per la lavastoviglie, non si supererebbe il 50% dei consumi totali. Questi ultimi sono gli usi che necessitano di acqua potabile, mentre i rimanenti possono anche essere effettuati utilizzando dell'acqua chiarificata o non potabile poiché non destinati ad un consumo umano.

Tabella 1.2: Ripartizione dei consumi domestici (fonte: Nuvole e sciacquoni, G. Conte, 2008)

Utilizzo	Valore percentuale
Bagno ed igiene personale	32
WC	30
Bucato (lavatrice)	12
Cucina (alimentare)	12
Annaffiamento ed altri utilizzi esterni	8
Lavapiatti	3
Pulizia casa	3

Con riferimento all'anno 2015, la spesa media delle famiglie per l'acquisto dell'acqua minerale è pari al 10,75 €, mentre la spesa media per la fornitura dell'acqua potabile risulta poco superiore, pari a 13,59 €. Infatti, 7 su 10 delle famiglie italiane comprano l'acqua minerale in bottiglia a discapito di quella del rubinetto. Questo indica uno scarso livello di fiducia sulla qualità dell'acqua proveniente da rete, in particolare il 29% delle persone non si fida a bere l'acqua del rubinetto.

Capitolo 2

Metodologia

Il presente capitolo vuole illustrare le modalità di reperimento dei dati utilizzati nelle successive analisi, la loro presentazione, nonché delle metodologie di calcolo utilizzate.

L'elemento fondamentale su cui si basa il presente elaborato di tesi sono le misure di portata in ingresso al Politecnico di Torino, relativi alla sola Sede Centrale, dell'acqua potabile. Grazie a questi valori si sono sviluppate le successive analisi al fine di descrivere il più possibile una tipologia particolare di utenza del servizio idrico come il caso in esame di una struttura universitaria.

Oltre ai valori di prelievo, è stato necessario conoscere in che modo viene distribuita l'acqua all'interno della struttura. In particolare, è risultato necessario conoscere la distribuzione spaziale degli edifici cui è composto il Politecnico di Torino, del rilievo della rete interna alla struttura nonché dell'allacciamento alla rete di distribuzione dell'acqua potabile.

Nella parte iniziale, si illustrano le modalità ed i dati, che sono stati reperiti per la redazione del presente elaborato. Successivamente, viene descritto il procedimento logico e operativo che ha guidato le analisi effettuate sui dati, mentre, nella parte conclusiva, si descrive la modellazione idraulica, iniziando da un'introduzione sul programma di calcolo utilizzato, del suo funzionamento, nonché delle condizioni iniziali e delle ipotesi utilizzate nella definizione del modello.

2.1 Reperimento dei dati

2.1.1 Planimetria

Per quanto riguarda la distribuzione sul territorio si è fatto riferimento a planimetrie scaricate dal Geoportale della regione Piemonte in figura 2.1. Come si può notare, la continuità spaziale del Politecnico di Torino, sito tra Corso Duca degli Abruzzi e Via Pier Carlo Boggio, viene interrotta causa la presenza della strada di Corso Castelfidardo. Viene quindi effettuata la distinzione tra:

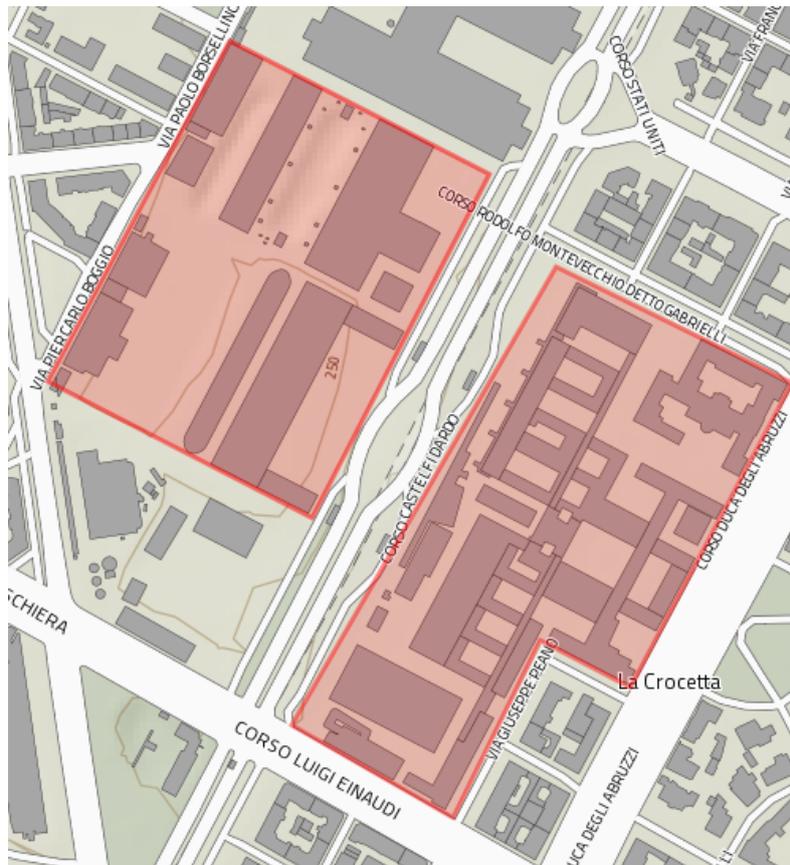


Figura 2.1: Planimetria Politecnico di Torino (fonte: Geoportale della regione Piemonte)

- Sede Centrale;
- Cittadella.

La prima risulta compresa tra Corso Duca degli Abruzzi e Corso Castelfidardo, mentre la seconda è delimitata appunto da quest'ultimo e da Via Pier Carlo Boggio.

Oltre che spaziale, tale distinzione risulta ancora più giustificata in quanto le sedi possiedono due reti distinte di approvvigionamento dell'acqua, come evidenziato nella sezione 2.1.2.

2.1.2 Rete interna di distribuzione

Per quanto riguarda l'allacciamento alla rete pubblica è stato necessario recuperare i rilievi della rete interna al Politecnico e della relativa congiunzione con la rete pubblica. A tal fine, è stato consultato il personale dell'Area Edilizia e Logistica (*EdiLog*) che ha messo a disposizione le planimetrie, comprensive dei dati, relativi alla posizione e al diametro dei punti di allacciamento. In questo modo è stato possibile determinare i punti di allaccio per entrambe le sedi, la posizione dei vari contatori e conoscere inoltre il diametro delle condotte della rete pubblica.

Per la distribuzione alla Cittadella sono presenti 3 diversi punti di approvvigionamento da un'unica condotta che risulta essere posata lungo Via Pier Carlo Boggio e Via Borsellino, avente diametro nominale pari a 100 mm. La posizione dei 3 punti di allaccio, aventi diametro rispettivamente pari a 25, 100 e 40 mm, sono visibili in figura 2.2.

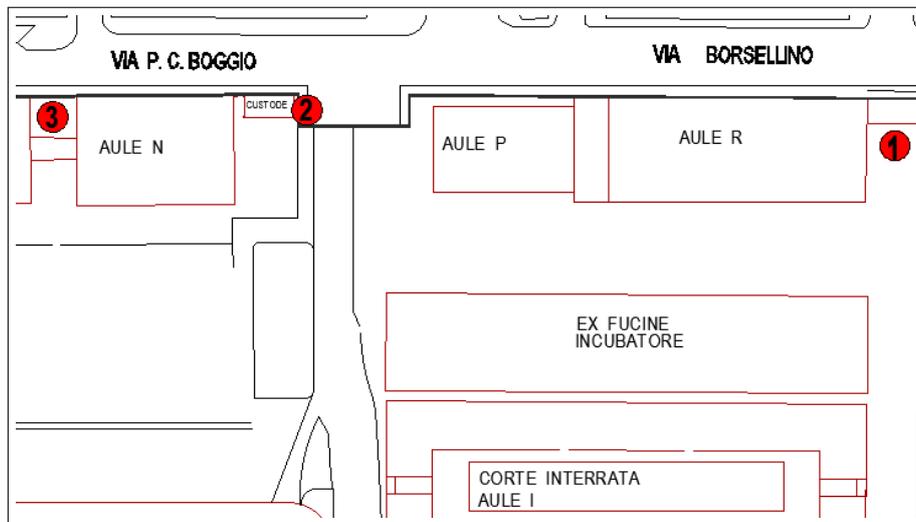


Figura 2.2: Posizione degli allacci all'acquedotto - Cittadella

Nella Sede Centrale invece, è presente un unico punto di allaccio realizzato con una tubazione di diametro pari a 100 mm, sito all'ingresso principale del Politecnico, riportato in figura 2.3, ad una condotta della rete pubblica avente diametro nominale di 400 mm, visibile in figura 2.4, dove sono presenti la condotta in arrivo dall'acquedotto ed il collegamento a "T" dalla quale si diramano le due condotte che andranno a servire il lato destro e sinistro della rete interna.

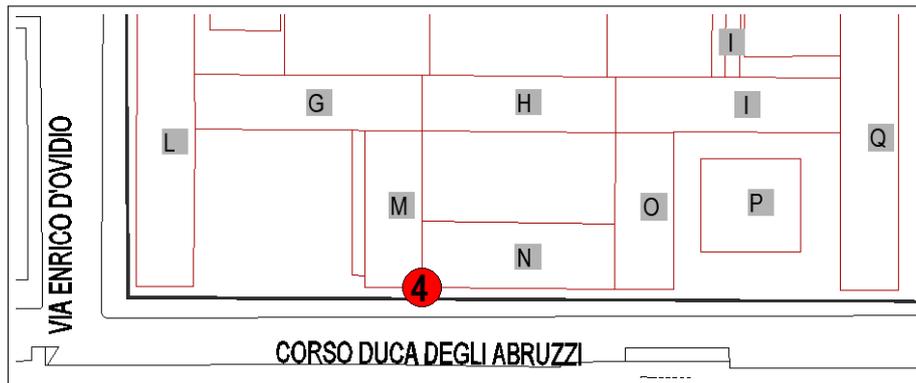


Figura 2.3: Posizione degli allacci all'acquedotto - Sede Centrale



Figura 2.4: Collegamento alla rete dell'acquedotto - Sede Centrale

Oltre alla planimetria sopracitata, il personale *EdiLog* ha messo a disposizione il rilievo della rete di adduzione dell'acqua potabile interna, relativo, come da richiesta, alla sola Sede Centrale. Il rilievo delle tubazioni interne, eseguito nell'ottobre del 2015, è stato effettuato a livello del piano seminterrato, ovvero dove sono presenti le principali tubazioni di distribuzione. Sono, inoltre, indicati i diametri delle condotte, le colonne d'acqua a servizio dei piani superiori e il tipo di utenza servita. Da evidenziare il fatto che, nel rilievo, non sono compresi gli impianti di produzione dell'acqua calda sanitaria.

Il rilievo della rete interna di distribuzione dell'acqua potabile è stato utilizzato per la creazione della modellazione numerica eseguita tramite il software *EPA-NET*, per la rappresentazione della distribuzione spaziale dei consumi nonché della simulazione di vari scenari.

2.1.3 Dati di consumo

I dati di consumo che sono stati reperiti riguardano i valori di portata di acqua potabile in ingresso al Politecnico di Torino, circoscritti alla sola Sede Centrale. Infatti, soltanto in quest'ultima sezione dell'ateneo è installato un sistema di monitoraggio in grado di misurare, trasmettere e registrare i valori rilevati. La misura, effettuata tramite un contatore automatico (la scatola grigia posta sopra la tubazione uscente dal terreno) visibile in figura 2.4, viene effettuata sulla condotta dell'allacciamento al fine di registrare l'intero volume in ingresso. Essa viene quindi trasmessa al *Living Lab*, centro unico di controllo per l'ottimizzazione energetica e l'analisi dei costi relativi ad ogni vettore energetico entrante nella struttura. Questi dati possono essere estratti tramite un software e sono stati forniti, dal personale del Living Lab, sotto forma di file in formato *.xlsx* leggibile, ad esempio, tramite *Excel*.

I dati così estratti risultano essere dei valori di portata cumulati sui 15 minuti ovvero sull'intervallo di registrazione del dato. L'unità di misura risulta quindi essere il $\text{m}^3/15$ minuti. L'estrazione è stata effettuata su tutti i dati disponibili ovvero dal 1 gennaio 2009 fino al 23 luglio 2019, giorno di richiesta dei dati. Insieme alla lettura della portata, sono riportati, per ogni valore, la data e l'ora corrispondente, la tipologia di giorno (festivo o meno), la fascia di orario (notturna e diurna) ed altre informazioni relative al dato. Insieme al file contenente i valori, è stata inoltre ricevuta una nota in cui viene espressa la bassa affidabilità dei valori antecedenti all'anno 2014, anno in cui è stato modificato il sistema di monitoraggio, che ha iniziato ad essere regolarmente controllato.

2.2 Metodi di analisi

In questa sezione si vuole descrivere il processo di analisi dei dati disponibili, partendo dal dato grezzo fino al risultato finale.

2.2.1 Trattamento dei dati

Per l'analisi dei dati è stato utilizzato principalmente il software *Matlab*. *Matlab*, abbreviazione di **Matrix Laboratory**, è un ambiente per il calcolo numerico e l'analisi statistica che consente di manipolare matrici, visualizzare funzioni e dati.

Partendo quindi dal file contenente i valori di portata, si sono estrapolati i dati utili alle analisi quali, la data e l'ora della misura, la fascia di orario ed infine la lettura della portata in ingresso. Questi dati sono stati elaborati seguendo un processo di analisi ben definito. In particolare, si è iniziato aggregando i dati per per descrivere la più, ragionevolmente, ampia fascia di tempo, in questo modo si è potuto delineare un quadro generale del dato a disposizione. In seguito, si è proceduto a restringere progressivamente, l'intervallo temporale di analisi per poter cogliere ogni aspetto di interesse. In particolare, il punto di partenza è stata la creazione della serie storica delle portate relativa a tutti gli anni di dati disponibili per rilevare l'andamento globale del profilo dei consumi, in seguito si è limitata la serie storica ai singoli anni al fine di ricercare caratteristiche comuni sull'intervallo di tempo considerato. Durante questa fase di analisi, per poter conferire un maggiore grado di dettaglio alle analisi, ci si è resi conto che risultava necessario aggiungere un elemento che permettesse di distinguere i giorni aventi caratteristiche simili non solo in termini di consumo, ma anche in base al tipo di utenza finale. Questo elemento è il calendario cronologico delle attività accademiche, tramite il quale si sono definite 3 categorie di giorno:

- *lavorativi*: comprendono tutti quei giorni in cui si esplica l'attività principale caratterizzante la struttura, ovvero l'insegnamento. Per settimana lavorativa si intende quindi l'arco di tempo in cui vengono svolti i corsi di insegnamento, ovvero dal lunedì al venerdì.

In questa tipologia di giorno, ci si aspetta che le attività siano svolte a pieno regime, riflettendosi quindi tramite una maggiore domanda idrica;

- *sessione esami*: sono compresi tutti quei giorni in cui sono presenti le attività didattiche, nella quale, però, non vengono esplicate tramite i corsi di insegnamento bensì mediante gli esami di profitto. Presso il Politecnico di Torino sono presenti 3 periodi distinti in cui possono essere conseguiti gli esami di profitto. Le 3 sessioni esami, generalmente, si svolgono nei seguenti periodi: invernale, tra la fine di gennaio e inizio marzo, estivo, tra la metà di giugno e la fine di luglio, concludendo infine con la sessione autunnale che si svolge nel mese di settembre.

Per quanto riguarda i consumi della presente tipologia di giorno, ci si aspetta che seguano un profilo simile a quello del giorno lavorativo, sebbene con dei valori inferiori;

- *festivi*: sono compresi tutti i giorni rimanenti cioè quelli in cui non è presente né l'attività di insegnamento, né gli esami di profitto. Vengono quindi inclusi tutti i fine settimana (sabato e domenica), i giorni in cui l'attività didattica viene sospesa a causa delle varie festività, il periodo estivo che intercorre tra la sessione estiva e quella autunnale, nonché l'eventuale settimana presente tra la fine delle lezioni e l'inizio della sessione esami.

In questa categoria, ci si aspetta di rilevare un consumo nettamente inferiore rispetto alle sopraesposte tipologie, in quanto la presenza di persone all'interno della struttura, è molto ridotta.

Successivamente, si è passati alla scala di tempo mensile, analizzando ogni periodo ricercando similitudini e peculiarità tra i profili di consumo. In seguito, è stata effettuata l'analisi per una settimana "standard", corrispondente alla categoria di giorno lavorativo, sia a scala giornaliera che a scala oraria. Tramite quest'ultima è stato possibile rappresentare il giorno tipo, cioè il consumo medio orario, rappresentato sulle 24 ore, per le tre tipologie di giorno sopraesposte. L'ultima analisi è stata condotta effettuando la distinzione tra i consumi diurni e notturni. Le 24 ore sono state equamente suddivise nelle due fasce orarie, in particolare la prima è relativa all'intervallo di tempo 8:00-20:00, mentre la seconda interesserà la restante parte, ovvero l'orario 20:00-8:00. L'analisi è stata effettuata allo scopo di poter delineare e descrivere le caratteristiche relative al profilo di consumo dell'acqua, riferite ad un utenza importante, in termini di prelievo, qual è una struttura universitaria.

2.2.2 Parametri di confronto

A partire dal risultato del trattamento effettuato sui dati, descritto nella sezione precedente, sono stati calcolati degli indici in modo tale che siano confrontabili con altre tipologie di utenza. In particolare, si sono calcolati i valori di *dotazione* e dei *coefficienti di punta*. Per descrivere in maniera esaustiva tali indici e fornire dei valori confrontabili, occorre partire dal principio, cioè dalla necessità della creazione di tali parametri, la loro definizione, l'utilizzo, nonché i valori presenti in letteratura.

La nascita di tali indici coincide con la necessità di progettare le opere costituenti un acquedotto. In particolare, nella fase di dimensionamento, occorre definire la quantità d'acqua necessaria al soddisfacimento dei bisogni delle utenze servite, al fine di garantire un servizio di distribuzione dell'acqua potabile che non vada mai in crisi, cioè che venga assicurato un volume prestabilito di acqua ad ogni utenza. Per stabilire tale volume, si è definito il *fabbisogno idrico* come la quantità di acqua necessaria al soddisfacimento dei bisogni idrici di una singola utenza. Esso, viene quindi espresso, in litri al giorno per abitante.

Il fabbisogno idrico rappresenta, quindi, il principale parametro per il progetto di un acquedotto. La determinazione del fabbisogno risulta pertanto essere molto difficile a causa della variabilità sia spaziale che temporale. La spazialità rappresenta il problema centrale nella definizione dei fabbisogni in quanto già solo la variazione climatica implica un diverso utilizzo della risorsa idrica; se si facessero comunque dei confronti sul volume di consumo a parità di zona climatica, ciò non basterebbe ad un'univoca determinazione del valore di fabbisogno, in quanto risulta necessario tenere conto che, a causa della diversità di usi e abitudini delle varie popolazioni, tale valore risulta fortemente soggetto a variazioni. Un altro fattore determinante sui consumi è la disponibilità della risorsa idrica, nonché del suo prezzo. Risulta pertanto difficile effettuare dei confronti basandosi solamente sui valori di consumo, dato che, il fabbisogno in certi paesi come in alcune zone d'Italia, non risulta soddisfatto. Un esempio di variabilità di consumo è riportato in tabella 2.1 dove si nota che il comune di Milano è quello con il consumo pro capite maggiore di tutti con 206 l/d/abitante. Nel complesso, considerando tutti i capoluoghi di provincia, la media italiana risulta essere di 163 l/d/ab.; negli ultimi anni, si è registrato un trend decrescente su tale valore, vedasi tabella 2.2.

Tabella 2.1: Acqua fatturata per uso civile/domestico nel 2016, dati Istat

Capoluogo	Consumo (l/d/abitante)
Milano	206
Torino	197
Roma	183
Padova	144
Palermo	140
Bari	139
Messina	138
Firenze	131

Tabella 2.2: Consumo pro capite medio in Italia, dati Istat

Anno	Consumo (l/d/ab.)
2012	177
2013	169
2014	162
2015	163
2016	161

Si tratta quindi di effettuare una stima della domanda idrica. Essa viene divisa in due componenti separando il valore medio dalle fluttuazioni temporali.

La dotazione idrica

Il valore medio viene rappresentato tramite la *dotazione idrica "d"*. Essa rappresenta il volume giornaliero assegnato ad un utenza per il soddisfacimento dei bisogni personali; viene espressa quindi in l/d/abitante. Un metodo per determinare il valore della dotazione, è quello di effettuare una stima del fabbisogno idrico in funzione del tipo di utenza finale. In questo modo, la dotazione viene calcolata andando ad effettuare la media sui vari tipi di utenze. Tali valori sono largamente presenti in letteratura^[7], un esempio sono quelli riportati in tabelle 2.3, 2.4 e 2.5.

Tabella 2.3: Fabbisogni delle utenze civili (fonte: Acquedotti - Guida alla progettazione, V. Milano, 2016)

Utenze	Fabbisogni (l/d/ab.)
Abitazioni popolari	140
Abitazioni medie	180
Abitazioni di lusso	220

Tabella 2.4: Fabbisogni in edifici pubblici e istituti collettivi (fonte: Acquedotti - Guida alla progettazione, V. Milano, 2016)

Utenze	Fabbisogni
Comunità religiose (l/d/persona)	160
Scuole (l/d/alunno)	40
Prigioni (l/d/persona)	90
Uffici pubblici (l/d/persona)	60

Questo metodo basato sul conteggio delle varie utenze, diventa però estremamente complicato nei grandi centri abitati in cui vi è una forte diversificazione di attività, industrie e servizi. Per questo motivo, sono state stimate le dotazioni in funzione del numero di abitanti, riportate in tabella 2.6, tratte dal Piano d'Ambito della Regione Puglia, del settembre 2002, tali valori sono da considerarsi al netto delle perdite conteggiate pari al 25% della dotazione.

Per ovviare alla grande variabilità delle suddette stime, tramite D.P.C.M. del 4 marzo 1996, il consiglio dei ministri istituisce le *direttive generali per la discipline dell'economia idrica*, tra le quali nel paragrafo 8 fissando i livelli minimi dei servizi

Tabella 2.5: Fabbisogni per tipi di industria (fonte: Acquedotti - Guida alla progettazione, V. Milano, 2016)

Tipo di industria	Fabbisogni
Birrerie (m ³ /t di malto)	25
Allevamento bestiame grosso (l/d/capo)	70
Tessili (m ³ /t di prodotto)	100
Chimiche (m ³ /t di prodotto)	600

Tabella 2.6: Dotazione al variare della popolazione (fonte: Piano d'Ambito della regione Puglia, settembre 2002)

Popolazione	dotazione idrica (l/d/abitante)
P < 5000	198
5000 < P < 10 000	213
10 000 < P < 50 000	228
50 000 < P < 100 000	243
P > 100 000	258

che devono essere garantiti in ciascun ambito territoriale ottimale, impone una dotazione minima giornaliera da garantire all'utenza finale pari a 150 l/d/abitante, inteso come volume attingibile dall'utente nelle 24 ore.

Tramite la dotazione si può facilmente calcolare la portata media annua Q_{MA} , semplicemente moltiplicandola per la popolazione servita, come da equazione (2.1); partendo da quest'ultima, è possibile calcolare l'intero volume di risorsa idrica che verrà consumato annualmente, moltiplicando il valore di portata media annua con il numero di giorni, come da equazione (2.2). Quest'ultimo, prende il nome di *volume medio annuo* identificato nel seguito con la sigla V_{MA} .

$$Q_{MA} = d * P \quad (2.1)$$

$$V_{MA} = Q_{MA} \cdot 365 \quad (2.2)$$

Occorre inoltre effettuare la distinzione, quando si parla di volume, tra quello immesso in rete e quello effettivamente fatturato. Il primo, è dato dal valore di volume misurato all'opera di presa, mentre, il secondo, è quello consegnato all'utenza e registrato dal contatore. Questi volumi sono differenti a causa delle perdite di rete che rappresentano in Italia il 39,1% del volume immesso in rete (fonte: *istat, anno 2016*, calcolato sui capoluoghi di provincia). Esse vengono inoltre divise in:

- *perdite apparenti*: sono quei volumi consumati ma che non sono mai stati fatturati all’utenza; questo è imputabile sia a dei consumi non autorizzati (allacci abusivi, furti) che all’imprecisione dei misuratori delle utenze (errori di misura, solitamente in sottoconteggio);
- *perdite reali*: rappresentano tutto quel volume d’acqua che non viene consumato dall’utenza che però è stato immesso in rete; tale volume viene disperso a causa delle perdite nelle condotte di trasporto e di adduzione (solitamente le perdite maggiori avvengono nella rete di distribuzione urbana a causa dei numerosi allacci e delle numerose diramazioni e delle maggiori sollecitazioni cui sono sottoposte), delle perdite agli allacci con le utenze ed infine dagli sfiori dai serbatoi.

Vengono riportate in tabella 2.7, i valori delle perdite totali nei capoluoghi citati in precedenza. È da notare come, nonostante Milano sia la città avente dotazione idrica maggiore, sia anche quella con le minori perdite. Questo è indice di un’ottima gestione della risorsa idrica. Invece soprattutto sulle isole la dotazione risulta essere molto più bassa rispetto a città come Torino e Milano, non perché il fabbisogno sia più basso, ma perché i valori di consumo, in certe città, non equivalgono al fabbisogno. Questo è causato da una mancanza di risorsa idrica nella rete dell’acquedotto che viene compensata, in modo più o meno temporaneo, utilizzando delle autobotti per rifornire la popolazione. Città come Messina e Palermo sono dovute ricorrere all’estremo rimedio della cisterna in tutti gli anni dal 2008 al 2016; questo è dovuto sia alla scarsità della risorsa idrica che ad una sua cattiva gestione, come si può vedere chiaramente dai valori delle perdite totali. Quando si è di fronte ad elevati valori di perdita, sarebbe opportuno istituire una campagna di sostituzione delle tubazioni o interventi di riabilitazione.

Tabella 2.7: Perdite idriche totali nell’anno 2016, dati Istat

Città	Perdite totali (%)
Messina	62,0
Palermo	52,4
Bari	51,3
Roma	46,6
Firenze	41,4
Padova	31,6
Torino	29,1
Milano	16,2

Fluttuazione nel tempo

All'interno di una rete di distribuzione dell'acqua, il fattore che la manda in crisi, risulta essere, non il valore medio di prelievo, bensì le sue oscillazioni. Nasce quindi l'esigenza di stimare i valori di picco in termini di portata, corrispondenti al punto di massima richiesta, al fine di garantire un servizio idrico funzionante in tutti gli istanti dell'anno. I fattori che causano queste variazioni, sono da ricercare sia all'interno delle abitudini dell'utenza che nella tipologia di città da servire. Una forte oscillazione si osserva nei centri abitati che basano la propria economia sul turismo, infatti ci si aspetta un grande scostamento dal valor medio di consumo nel periodo di maggior afflusso turistico, ad esempio per una località marittima, la dotazione estiva subirà un notevole aumento mentre quella invernale sarà inferiore alla media. La valutazione della fluttuazione di consumo avviene quindi, tramite un moltiplicatore della portata media annua chiamato *coefficiente di punta* ed indicato con la lettera K . Quest'ultimo è un valore costante che varia a seconda dell'arco temporale considerato. In particolare, si fa riferimento a tre differenti scale di tempo, quali: mensile, giornaliera e oraria.

Osservando gli andamenti delle portate mensili all'interno dell'anno, si nota come l'aumento di consumo si ha nei mesi estivi. Tendenzialmente, la domanda idrica aumenta con l'aumentare della temperatura. Questo è dovuto ad un maggior utilizzo di acqua sia per le abitudini personali che per altre attività quali, ad esempio, l'irrigazione che nei mesi caldi richiede più risorsa idrica, vedasi figura 2.5 nella quale sull'asse delle ascisse sono riportati i mesi dell'anno, mentre, sulle ordinate, il rapporto tra la portata mensile e la portata media annua. In letteratura^[7], sono presenti diversi valori dei coefficienti di punta mensili, definito in equazione (2.3) dove con $Q_{M;i}$ si indica la portata media riferita all' i -esimo mese e con Q_{MA} la portata media annua già definita nella (2.1) di pagina 19, ma in particolare, basandosi su alcune ricerche, si possono dedurre i valori riportati in tabella 2.8, dove viene effettuata una divisione in funzione dell'importanza della città: medio-bassa (10 000-50 000 abitanti), media (50 000-200 000 abitanti), medio-alta (200 000-500 000 abitanti) ed elevata (oltre 500 000 abitanti).

$$K_{m;i} = \frac{Q_{m;i}}{Q_{MA}} \quad (2.3)$$

Già nella scala di tempo mensile, si può notare come i valori del coefficiente di punta siano più alti nei centri di medio-bassa importanza. Questo è giustificato dal fatto che, nelle grandi città, si ha una maggiore diversificazione di utenze quindi, un'ampia variabilità nelle abitudini delle persone e delle attività lavorative, come, ad esempio, le industrie che lavorano anche su turni notturni. Tutto questo si traduce in un appiattimento della curva delle portate mensili, facendola tendere verso il valore medio annuo. Nelle piccole città o, ancora più evidente, nei piccoli comuni, essendoci poca diversificazione in termini di attività lavorative e di conseguenza anche nelle abitudini delle persone, si registrano i valori più alti dei coefficienti di

punta che, nella scala mensile, rimangono comunque simili a quelli delle città più grandi, mentre più si restringe la scala temporale e più la differenza assume un carattere rilevante. Di particolare importanza è la portata media mensile $Q_{m,max}$ nel mese di massimo consumo. Tramite quest'ultima, si può calcolare, vedasi equazione (2.4), il coefficiente di punta mensile K_m che risulta essere il più elevato nell'anno in esame.

$$K_m = \frac{Q_m}{Q_{MA}} \quad (2.4)$$

Nel caso riportato in tabella 2.8, tale coefficiente assume rispettivamente per le 4 categorie sopra descritte i valori di 1,13, 1,11, 1,10 e 1,09.

Centri di importanza medio-bassa

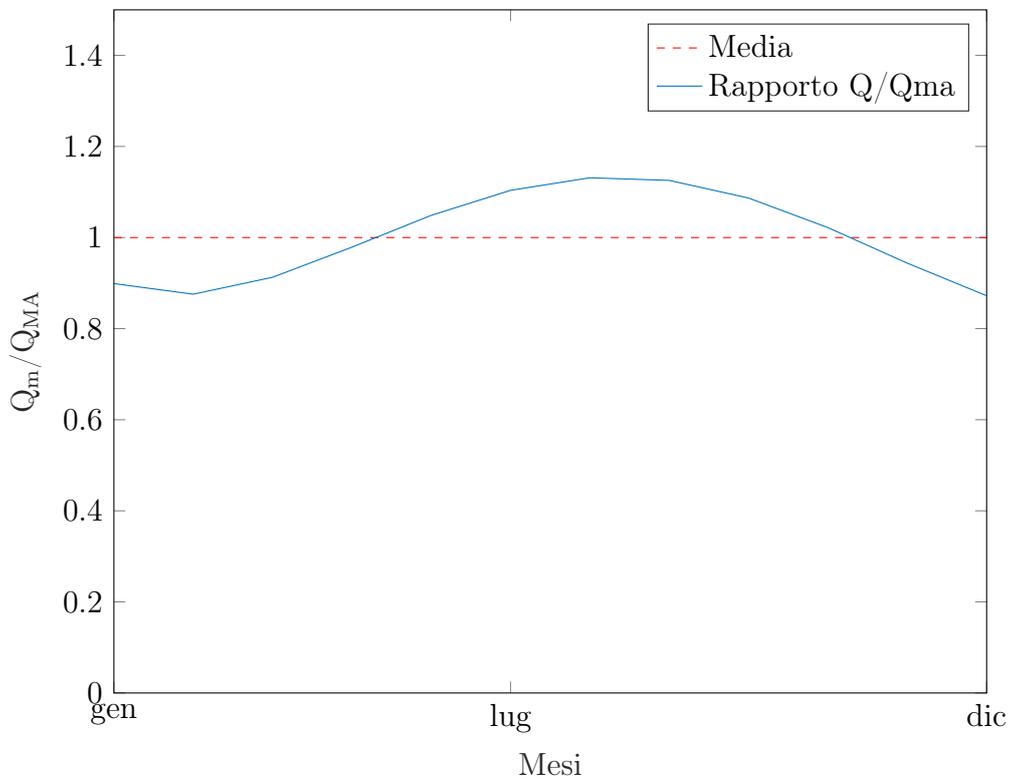


Figura 2.5: Andamento mensile delle portate (fonte: elaborazione grafica con dati da Acquedotti - Guida alla progettazione, V. Milano, 2016)

Analizzando più nel dettaglio gli andamenti dei consumi mensili, si nota come, all'interno dello stesso mese, sono presenti delle variazioni che si ripetono a scala settimanale. In particolare, durante il sabato e la domenica, si registrano dei valori di consumo nettamente inferiori agli altri giorni della settimana. Il motivo di tale diminuzione è principalmente la chiusura di molte attività lavorative, soprattutto di tipo industriale, nel fine settimana. Si definisce quindi con α_g , il rapporto tra

Tabella 2.8: Valori del coefficiente di punta mensile (fonte: Acquadotti - Guida alla progettazione, V. Milano, 2016)

Mese	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
medio-bassa	0,89	0,89	0,92	0,97	1,04	1,10	1,13	1,13	1,10	1,04	0,90	0,89
media	0,90	0,90	0,93	0,98	1,04	1,09	1,11	1,11	1,08	1,03	0,93	0,90
medio-alta	0,91	0,91	0,94	0,99	1,03	1,08	1,10	1,10	1,07	1,02	0,94	0,91
elevata	0,92	0,92	0,95	0,99	1,02	1,07	1,09	1,09	1,06	1,02	0,95	0,92

la portata media nel giorno di massimo consumo e la portata media nel mese di massimo consumo, come da equazione (2.5).

$$\alpha_g = \frac{Q_{g;max}}{Q_{m;max}} \quad (2.5)$$

Tale coefficiente, assume valori che, secondo i criteri d'importanza sopra esposti, valgono rispettivamente 1,15, 1,12, 1,10 e 1,08. Tramite questi valori, si può calcolare il coefficiente di punta giornaliero K_g definito come il rapporto tra la portata media nel giorno di massimo consumo e la portata media annua, come illustrato in equazione (2.6), ricavando i valori massimi espressi in (2.7), mentre nei piccoli centri sono compresi tra 2 e 3.

$$K_g = \frac{Q_{g;max}}{Q_{MA}} = \frac{\alpha_g Q_{m;max}}{Q_{MA}} = \frac{\alpha_g K_m Q_{MA}}{Q_{MA}} = \alpha_g K_m \quad (2.6)$$

$$K_g = \begin{cases} 1,13 \cdot 1,15 = 1,30 & \text{per città di medio-bassa importanza} \\ 1,11 \cdot 1,12 = 1,24 & \text{per città di media importanza} \\ 1,10 \cdot 1,10 = 1,21 & \text{per città di medio-alta importanza} \\ 1,09 \cdot 1,08 = 1,18 & \text{per città di elevata importanza} \end{cases} \quad (2.7)$$

La portata media nel giorno di massimo consumo, viene utilizzata come valore di progetto nel dimensionamento della rete di adduzione, fatto che conferisce una notevole importanza alla determinazione del coefficiente di punta giornaliero.

Prendendo invece la scala giornaliera, le oscillazioni rispetto al valore medio diventano più marcate, vedasi figura 2.6, dove vengono rappresentati gli andamenti del coefficiente di punta orario per città di medio-bassa ed elevata importanza (riportati in tabella 2.9). In questa fascia temporale, diventa difficile prevedere l'andamento che necessita di una valutazione caso per caso. In generale, è sempre presente un picco di consumo o tra le 10 e le 12 o nel tardo pomeriggio o addirittura entrambi. Nell'orario notturno, solitamente, si presenta il minimo di richiesta idrica di prima mattina verso le ore 3 o 4. I valori di prelievo, anche in questo caso,

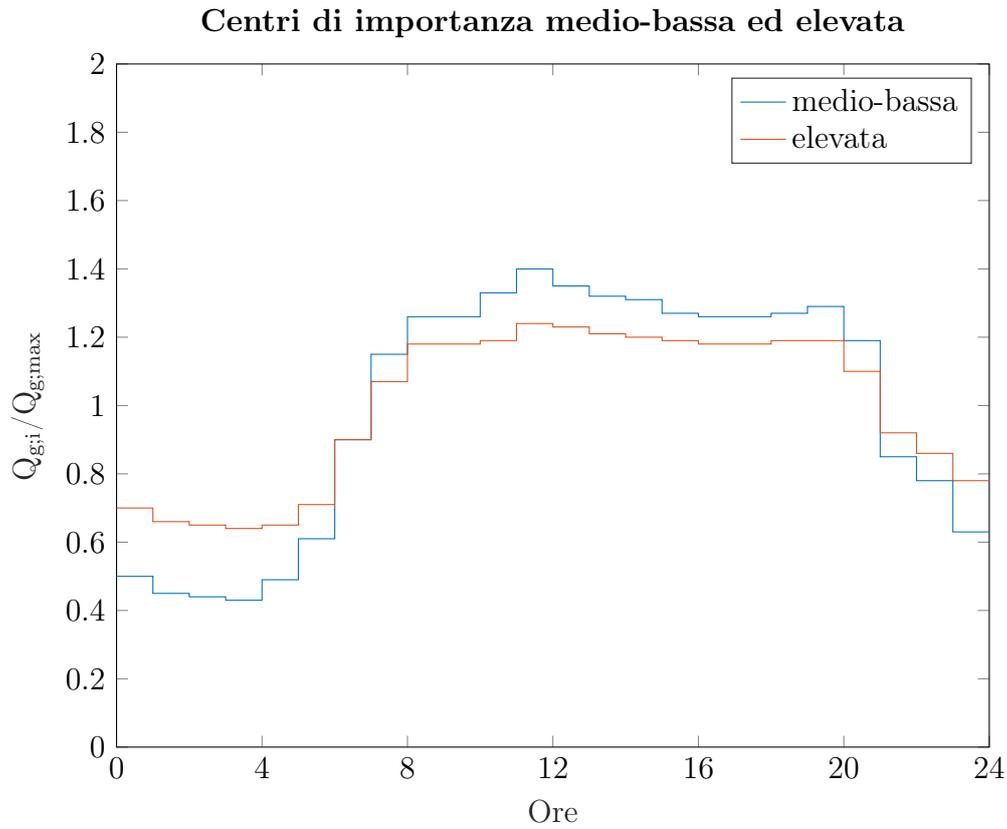


Figura 2.6: Andamento orario delle portate nei due casi (fonte: elaborazione grafica con dati da Acquedotti - Guida alla progettazione, V. Milano, 2016)

tendono ad appiattirsi all'aumentare del numero di abitanti. In letteratura sono presenti dei valori del coefficiente di punta orario $\alpha_{h,i}$ definito in equazione (2.8) come il rapporto tra la portata oraria $Q_{h,i}$ riferita all' i -esima ora e la portata media giornaliera nel giorno di massimo consumo $Q_{g,max}$, riportati in tabella 2.9 e suddivisi seguendo il criterio di importanza utilizzato nella tabella 2.8.

$$\alpha_{h,i} = \frac{Q_{h,i}}{Q_{g,max}} \quad (2.8)$$

Questi valori risultano essere puramente indicativi, in quanto, come già detto in precedenza, le variazioni a scala oraria devono essere valutate caso per caso vista la grande mole di fattori che, alla scala temporale giornaliera, possono influenzare le domande di risorsa idrica. Un esempio di forte dipendenza dei consumi dalle abitudini delle persone, secondo quanto riportato da *Abc Acqua Bene Comune* di Napoli, è accaduto il 26 gennaio 2020, in occasione della partita di calcio tra Napoli e Juventus. Durante la gara, si è registrata una diminuzione pari a circa il 20% del consumo di acqua potabile, visibile in figura 2.7, corrispondente a circa 1000 l/s e

Tabella 2.9: Valori del coefficiente di punta orario $\alpha_{h,i}$ (fonte: Acquedotti - Guida alla progettazione, V. Milano, 2016)

Ora	medio-bassa	media	medio-alta	elevata
0-1	0,50	0,55	0,58	0,70
1-2	0,45	0,50	0,56	0,66
2-3	0,44	0,49	0,53	0,65
3-4	0,43	0,48	0,52	0,64
4-5	0,49	0,54	0,56	0,65
5-6	0,61	0,63	0,64	0,71
6-7	0,90	0,90	0,90	0,90
7-8	1,15	1,13	1,10	1,07
8-9	1,26	1,25	1,23	1,18
9-10	1,26	1,25	1,23	1,18
10-11	1,33	1,30	1,27	1,19
11-12	1,40	1,35	1,30	1,24
12-13	1,35	1,31	1,28	1,23
13-14	1,32	1,29	1,27	1,21
14-15	1,31	1,27	1,26	1,20
15-16	1,27	1,26	1,25	1,19
16-17	1,26	1,25	1,24	1,18
17-18	1,26	1,25	1,24	1,18
18-19	1,27	1,25	1,24	1,19
19-20	1,29	1,27	1,26	1,19
20-21	1,19	1,18	1,17	1,10
21-22	0,85	0,86	0,89	0,92
22-23	0,78	0,79	0,80	0,86
23-24	0,63	0,65	0,68	0,78

rappresentante il consumo stimato di 200 000 persone. Come si nota dal grafico, i consumi sono risaliti ai livelli normali durante l'intervallo della partita, per poi decrescere nuovamente e risalire al termine della gara.

Proprio per questo motivo, la portata di picco oraria viene utilizzata in fase di progetto nel dimensionamento delle reti di distribuzione, ricordando comunque che queste fluttuazioni vengono compensate quotidianamente dai serbatoi che durante il periodo di minor richiesta accumulano l'acqua per poi restituirla durante le ore di maggior prelievo. Anche in questo caso, si calcola il coefficiente di punta orario, definito in equazione (2.9), come il rapporto tra la portata oraria di picco e la portata media annua, ottenendo dei valori per le 4 categorie di importanza citate in precedenza, riportati nel sistema (2.10). Per piccoli centri abitati, invece, il valore di K_h assume addirittura valori compresi tra 5 e 7 che risultano essere molto distanti

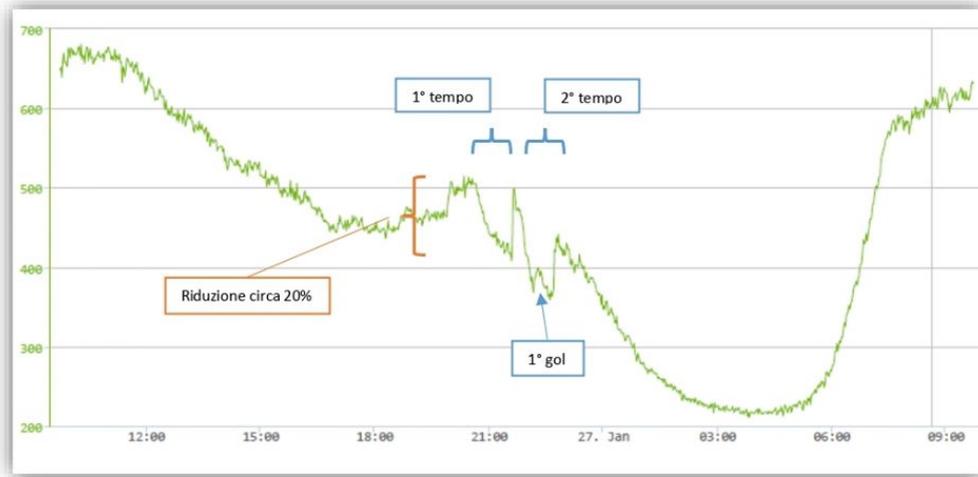


Figura 2.7: Consumi a Napoli il 26 gennaio 2020 (fonte: Abc Acqua Bene Comune di Napoli, 2020)

dalle altre tipologie di centro abitato, in quanto la diversificazione, in termini di attività lavorative e anche di abitudini personali, è molto limitata.

$$K_h = \frac{Q_{h;max}}{Q_{MA}} = \frac{\alpha_h Q_{g;max}}{Q_{MA}} = \frac{\alpha_h \alpha_g Q_{m;max}}{Q_{MA}} = \frac{\alpha_h \alpha_g K_m Q_{MA}}{Q_{MA}} = \alpha_h \alpha_g K_m \quad (2.9)$$

$$K_h = \begin{cases} 1,13 \cdot 1,15 \cdot 1,40 = 1,82 & \text{per città di importanza medio-bassa} \\ 1,11 \cdot 1,12 \cdot 1,35 = 1,67 & \text{per città di importanza media} \\ 1,10 \cdot 1,10 \cdot 1,30 = 1,57 & \text{per città di importanza medio-alta} \\ 1,09 \cdot 1,08 \cdot 1,24 = 1,46 & \text{per città di importanza elevata} \end{cases} \quad (2.10)$$

Particolare attenzione nel calcolo dei coefficienti di punta, va posta nella selezione dati di partenza. Infatti, nei centri abitati in cui la domanda idrica non risulta soddisfatta, gli abitanti hanno, sempre più sovente, provveduto ad installare dei serbatoi privati, situati in cima alle proprie abitazioni, per poter compensare in maniera autonoma alle carenze della rete idrica. Il rischio, è quello di utilizzare degli andamenti di consumo che non corrispondono ai fabbisogni della popolazione, causando quindi una nuova sottostima dei coefficienti di punta e, di conseguenza, tutti i problemi connessi al sottodimensionamento della rete.

2.3 Modellazione idraulica

Dopo aver effettuato la analisi sui dati, esposte nella sezione precedente, al fine di descrivere il profilo di consumo dell'acqua potabile nel tempo da parte di un'utenza particolare, quale una struttura universitaria, si è proceduto a rappresentare spazialmente le domande idriche.

Al fine di conferire un maggior dettaglio all'analisi, si è voluto ricostruire, oltre che ai profili di consumo delle singole utenze, anche la ripartizione dei consumi all'interno della rete, interna alla struttura, di distribuzione dell'acqua potabile. In particolare, si è modellata idraulicamente l'intera rete di tubazioni attraverso cui viene recapitata l'acqua alle varie utenze.

La modellazione idraulica è stata effettuata basandosi sul rilievo, risalente all'ottobre del 2015, della rete di adduzione dell'acqua potabile, fornita dall'Area Edilizia e Logistica (EdiLog), nella quale sono riportate la dislocazione delle tubazioni, il loro diametro e le utenze ai vari nodi. Il rilievo è stato effettuato a livello del piano seminterrato, in quanto luogo di transito delle tubazioni.

La modellazione è stata effettuata utilizzando il software *Epanet*. *Epanet* è un programma, di dominio pubblico, sviluppato dall'*U.S. Environmental Protection Agency (EPA)* (agenzia di protezione ambientale) degli Stati Uniti d'America, al fine di effettuare delle simulazioni idrauliche e di qualità dell'acqua, sul lungo periodo, delle reti in pressione. Il programma può essere utilizzato per il monitoraggio del flusso di acqua in ogni tubo, della pressione in ogni nodo, dell'altezza dell'acqua nei serbatoi e della concentrazione chimica delle sostanze disciolte nell'acqua. Tramite il software è possibile effettuare anche simulazioni utilizzando delle richieste ai nodi variabili sia nello spazio che nel tempo. *Epanet* consente inoltre di strutturare, tramite una formattazione ben definita, il file di input contenente la descrizione della rete in esame, di effettuare delle analisi tramite le simulazioni, riportando i risultati a degli intervalli predefiniti di tempo, nonché di visualizzare tali risultati in forma tabellare o mediante la rappresentazione grafica. Questo software è largamente diffuso in tutto il mondo e viene utilizzato per il progetto e il dimensionamento sia di infrastrutture idriche nuove che esistenti, per ottimizzare le operazioni di pompaggio al fine di ridurre l'energia utilizzata, per indagare sui problemi di qualità dell'acqua e prepararsi alle emergenze circa la sua contaminazione.

Per il caso studio oggetto del presente elaborato di tesi, il programma *Epanet* viene utilizzato ai fini di verifica, indagando la distribuzione dell'acqua nella rete, nonché della simulazioni di vari scenari di utilizzo e funzionamento.

Nelle sezioni successive vengono descritti gli elementi necessari per modellare la rete, il funzionamento del software ed il processo di costruzione del modello idraulico utilizzato per le analisi.

2.3.1 Gli elementi della rete

Il software Epanet rappresenta un sistema in pressione tramite due macro categorie di elementi^[8]:

- *componenti fisici*: includono gli elementi necessari alla costruzione della rete, rappresentata mediante dei collegamenti tra i vari nodi. I collegamenti (*links*) rappresentano le tubazioni (*pipes*), le pompe (*pumps*) e le valvole di regolazione (*control valves*). I nodi invece, rappresentano le giunzioni (*junctions*), i serbatoi (*tanks*) e i bacini idrici (*reservoirs*);
- *componenti non fisici*: sono formati da tre tipologie di informazioni agli oggetti, quali le curve caratteristiche (*curves*), i *patterns* ed i controlli (*controls*).

Ai fini del presente elaborato di tesi, la qualità dell'acqua non viene utilizzata nelle analisi, pertanto le funzionalità del programma che non sono state utilizzate nelle analisi, vengono omesse dalla descrizione.

I nodi

I nodi sono i punti della rete in cui si congiungono i collegamenti e dalla quale l'acqua entra, si parlerà di nodi di immissione, o esce, nodi di domanda, dalla rete. Un nodo viene denominato semplice quando non modifica la portata nelle tubazioni, ovvero funge soltanto come collegamento e/o diramazione delle tubazioni ad esso confluenti.

Per ogni nodo è necessario assegnare delle informazioni di base quali:

- l'elevazione sulla quota di riferimento;
- la domanda idrica, che può essere variabile nel tempo o può anche essere nulla nel caso di nodo semplice. I risultati dei calcoli derivanti dalla simulazione ai nodi sono: il carico idraulico, la pressione e la qualità dell'acqua.

I bacini idrici

I *reservoirs* sono dei nodi che rappresentano una fonte esterna infinita di acqua alla rete. Sono utilizzati quando si vuole assegnare, ad una fonte, un carico idraulico di tipo costante ad esempio nei casi di modellazione di un lago, un fiume o degli acquiferi. Essendo i *reservoirs* delle condizioni al contorno della rete, non risentono di ciò che avviene all'interno della rete, mantenendo sempre il carico costante (unico valore di input per questa tipologia).

I serbatoi

I serbatoi sono dei nodi dotati della capacità di immagazzinamento dell'acqua, dove il volume contenuto al loro interno può variare durante nel tempo durante la

simulazione. Per definire un serbatoio, occorre assegnare delle proprietà iniziali a tale nodo, quali:

- l'elevazione rispetto alla quota di riferimento della base del serbatoio;
- le dimensioni della base;
- i livelli minimi e massimi dell'acqua al suo interno.

Dai risultati della simulazione, si ricava l'altezza superficiale dell'acqua al suo interno, calcolata per ogni intervallo temporale.

Le tubazioni

I collegamenti tra i nodi sono rappresentati tramite le tubazioni. Esse vengono assunte dal programma come piene in ogni momento dell'analisi. La direzione del flusso al loro interno è dettata dal carico idraulico presente ai nodi cui è collegata la tubazione, ovvero da quello a carico maggiore verso il carico minore. Ad ogni tubazione devono essere assegnati:

- il nodo iniziale e finale;
- il diametro della condotta;
- la sua lunghezza;
- il coefficiente di scabrezza.

Per ogni tubazione, ad ogni intervallo temporale, vengono calcolate:

- portata;
- velocità;
- perdita di carico;
- il fattore di attrito di Darcy-Weisbach.

Per il calcolo della perdita di carico, il programma consente di utilizzare tre differenti formule:

- Hazen-Williams: è l'equazione più comunemente utilizzata negli Stati Uniti. Può essere utilizzata soltanto nel caso in cui il fluido sia l'acqua;
- Darcy-Weisbach: è la formula più rigorosa a livello matematico e può essere applicata a qualsiasi tipo di fluido;
- Chezy-Manning: viene maggiormente utilizzata nei casi di corrente a pelo libero.

Per ogni formula sopraelencata, viene utilizzata la relazione (2.11) per il calcolo della perdita di carico tra il nodo iniziale e il nodo finale.

$$h_L = A \cdot q^B \quad (2.11)$$

dove:

- h_L rappresenta la perdita di carico (lunghezza);
- q la portata (volume/tempo);
- A coefficiente di resistenza (-);
- B l'esponente della portata;

Nella tabella 2.10 vengono riportate le equazioni per il calcolo del coefficiente di resistenza A , con il relativo esponente della portata B . Si noti che ogni formula utilizza un differente coefficiente di scabrezza, determinato in maniera empirica. Nella tabella 2.11 vengono riportati degli esempi di valori delle scabrezze per ogni formula, riferiti a vari materiali, per tubazioni nuove.

Nel caso di utilizzo della formula di Darcy-Weisbach, Epanet utilizza diversi metodi per calcolare il fattore di attrito f , in funzione del regime di moto:

- nel caso di moto laminare ($Re < 2000$), viene utilizzata la formula di Hagen-Poiseuille riportata in equazione (2.12);

$$f = \frac{64}{Re} \quad (2.12)$$

- per il moto turbolento pienamente sviluppato viene usata l'approssimazione di Swamee e Jain alla formula di Colebrook-White, di equazione 2.13;

$$f = \frac{0,25}{\left[\ln \left(\frac{\varepsilon}{3,7d} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2} \quad (2.13)$$

- per il moto in regime transitorio ($2000 < Re < 4000$) viene utilizzata un'interpolazione cubica del diagramma di Moody, che tiene conto del numero di Reynolds, della scabrezza delle tubazioni e del loro diametro.

Perdite di carico concentrate

Le perdite di carico minori, causate dalla turbolenza che si genera in seguito alla variazione della direzione del moto, possono essere considerate nei calcoli in funzione della propria rete e a seconda del grado di dettaglio che si vuole raggiungere. Esse

Tabella 2.10: Formule di perdita di carico nelle tubazioni (con perdite di carico espresse in piedi e portata in piedi cubici per secondo)

Formula	Coefficiente di resistenza (A)	Esponente della portata (B)
Hazen-Williams	$4,727C^{-1,852}d^{-4,871}L$	1,852
Darcy-Weisbach	$0,0252 f(\varepsilon, d, 1)d^{-5}L$	2
Chezy-Manning	$4,66n^2d^{-5,33}L$	2

Dove:

- C: coefficiente di rugosità di Hazen-Williams;
- ε : coefficiente di rugosità di Darcy-Weisbach (espresso in piedi);
- f: fattore di attrito in funzione di ε , d e q;
- L: lunghezza della tubazione in piedi.

Tabella 2.11: Coefficienti di scabrezza per tubi nuovi

Materiale	Hazen Williams C	Darcy-Weisbach ε (in millipiedi)	Chezy-Manning n
Calcestruzzo	120-140	1-10	0,012-0,015
Plastica	140-150	0,005	0,011-0,015
Acciaio	140-150	0,15	0,015-0,017

vengono calcolate come da equazione 2.14, dove con K si indica un coefficiente che dipende dalla geometria della condotta, con v la velocità (lunghezza/tempo) e con g l'accelerazione di gravità (lunghezza/tempo²).

$$h_L = K \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad (2.14)$$

I valori di K sono largamente diffusi e facilmente reperibili in letteratura.

Le pompe

Le pompe sono degli elementi che causano un aumento del carico dell'acqua. È possibile inserire delle pompe che agiscono sia in parallelo che in serie, così come è possibile l'assegnazione di pattern di accensione e spegnimento. La componente necessaria per il calcolo è la curva caratteristica della pompa, che relaziona la portata con la prevalenza fornita al fluido, nonché i nodi di inizio e di fine.

Le valvole

Epanet consente di inserire delle valvole al fine di ridurre la pressione o la portata transitanti in un punto della rete. Le principali tipologie di valvole sono:

- riduttori di pressione (PRV) utilizzate per diminuire la pressione, qualora superi un limite predefinito, tra il punto a monte e a valle della valvola;
- mantenimento di pressione (PSV) utilizzate per mantenere un certo valore di pressione a monte della valvola nel caso in cui la pressione a valle sia al di sotto di sotto un certo limite;
- valvole di laminazione (PBV) creano una perdita di pressione;
- controllo di portata (FCV) utilizzate per limitare la portata entro dei valori predefiniti;
- valvole a farfalla (TCV) simulano la parziale chiusura della valvola variando il coefficiente K , definito in equazione (2.14). Maggiore è la chiusura della valvola, maggiore è la perdita di carico.

Le curve

Le curve sono degli elementi, non fisici, contenenti coppie di valori che rappresentano la relazione tra due quantità. Una stessa curva può essere assegnata a più oggetti. Le curve utilizzate da Epanet sono:

- curva caratteristica della pompa: relaziona il carico con la portata che una pompa può fornire alla velocità nominale. Il programma consente di ricostruire la curva, partendo da punti noti, mediante un'interpolazione. È inoltre possibile rappresentare una pompa a velocità variabile;
- curva di rendimento: relazione l'efficienza della pompa, espressa in percentuale, con la portata;
- curva di capacità: viene associata ai serbatoi e determina come varia il volume al suo interno, in funzione dell'altezza dell'acqua immagazzinata. La curva viene univocamente determinata in base alla geometria del serbatoio;
- curva per perdita di carico: viene utilizzata soltanto nel caso della presenza di valvole, in quanto relaziona la perdita di carico (espressa in lunghezza) con la portata transitante nella condotta.

Pattern temporali

I pattern temporali sono costituiti da una serie di moltiplicatori che possono essere associati a delle quantità per rappresentarne la loro variazione nel tempo. Queste quantità possono essere la domanda ai nodi, il carico nei reservoirs, funzionamento delle pompe ed alla qualità dell'acqua in ingresso.

Ogni moltiplicatore viene associato ad un intervallo di tempo prefissato, modificabile, nella quale la quantità a cui viene applicato, rimane ad un livello costante, pari al prodotto tra il valore nominale ed il moltiplicatore del relativo intervallo temporale. Inoltre, tutti i pattern utilizzati in una simulazione devono avere la stessa suddivisione temporale.

I controlli

Tramite l'elemento controlli, è possibile far variare le condizioni operative di certi elementi quali valvole, pompe e tubazioni, in un certo istante, al verificarsi di determinate condizioni. Diventa quindi possibile aprire o chiudere dei collegamenti, modificare le velocità delle pompe, o variare le caratteristiche delle valvole al raggiungimento di certe condizioni quali ad esempio un orario prefissato, un certo livello nel serbatoio o una certa pressione al nodo.

2.3.2 Algoritmo di analisi

Il programma Epanet effettua delle simulazioni numeriche al fine di calcolare le portate che transitano in ogni lato della rete ed i carichi ai nodi.

Le equazioni che devono essere soddisfatte sono:

- *energia*: esprime la relazione che intercorre tra le perdite di carico di due nodi collegati i e j , riportata in equazione (2.15). Vengono definite un numero di equazioni di energia pari al numero dei collegamenti tra i nodi.

$$H_i - H_j = h_{ij} = rQ_{ij}^n + mQ_{ij}^2 \quad (2.15)$$

dove H è il carico al nodo, h la perdita di carico, r il coefficiente di resistenza ed m il coefficiente di perdita concentrata;

- *continuità*: esprime la continuità della portata ad ogni nodo della rete. Si definiscono un numero di equazioni di continuità, riportata in equazione (2.16), pari al numero di nodi presenti nella rete;

$$\sum_j Q_{ij} - D_i = 0 \quad (2.16)$$

dove Q_{ij} rappresenta la portata in ingresso ed in uscita al nodo i , mentre con D_i si indica la portata prelevata (segno negativo) o immessa (segno positivo) allo stesso nodo della rete.

Essendo incognite le portate transitanti per ogni tubazione ed i carichi ai nodi, ed avendo a disposizione un'equazione per ogni condotta e per ogni nodo, il problema risulta determinato. Viene quindi scritto un sistema costituito da un numero di equazioni pari al numero di condotte e di nodi presenti nella rete.

La complessità del problema è insita nell'elevato numero di equazioni da risolvere nel sistema. Epanet non fa altro che risolvere il sistema per ogni intervallo di tempo. Per risolverlo utilizza il *metodo del gradiente*, sviluppato da Todini e Pilati (1987).

La soluzione tramite il metodo del gradiente prevede una stima iniziale della portata in ogni condotta che non soddisfi necessariamente l'equazione di continuità. Ad ogni iterazione del metodo, si trovano nuovi carichi ai nodi risolvendo l'equazione matriciale (2.17).

$$AH = F \quad (2.17)$$

dove A= alla matrice Jacobiana (NxN), H= vettore dei arichi nodali incogniti (Nx1), ed F= vettore dei termini noti (Nx1). Gli elementi presenti sulla diagonale della matrice Jacobiana sono:

$$A_{ii} = \sum_j p_{ij} \quad (2.18)$$

mentre i termini non nulli fuori dalla diagonale principale sono:

$$A_{ij} = -p_{ij} \quad (2.19)$$

dove p_{ij} è l'inverso della derivata delle perdite di carico distribuite che si verificano nel collegamento tra i nodi i e j. Per le tubazioni vale la seguente relazione:

$$p_{ij} = \frac{1}{nr|Q_{ij}|^{n-1} + 2m|Q_{ij}|} \quad (2.20)$$

Ogni termine al lato destro dell'equazione consiste nella portata non bilanciata al nodo più un fattore di correzione:

$$F_i = \left(\sum_j Q_{ij} - D_i \right) + \sum_j Y_{ij} + \sum_f p_{if} H_f \quad (2.21)$$

dove l'ultimo termine viene applicato ad ogni collegamento tra il nodo i ed il nodo a carico fissato f, pari ad H_f , mentre il fattore di correzione della portata y_{ij} vale:

$$y_{ij} = p_{ij} \left(r|Q_{ij}|^n + m|Q_{ij}|^2 \right) \frac{Q_{ij}}{|Q_{ij}|} \quad (2.22)$$

Dopo aver calcolato i nuovi carichi risolvendo la (2.17), si calcolano le nuove portate come in equazione (2.23)

$$Q_{ij} = Q_{ij} - \left(y_{ij} - p_{ij}(H_i - H_j) \right) \quad (2.23)$$

A questo punto se la somma del valore assoluto della variazione delle portate, rispetto alla variazione totale risulta maggiore di un valore di tolleranza, allora il programma ripete le iterazioni (2.17) e (2.23) fino a convergenza. Si noti come dopo la prima iterazione, al punto (2.23), venga sempre rispettata l'equazione di continuità nei nodi. Dopo aver trovato la soluzione, il programma avanza al prossimo step temporale, ricercando nuovi valori di domanda ai nodi e aggiornando le condizioni iniziali con la soluzione appena trovata. Successivamente viene nuovamente ricercata la soluzione fino a convergenza.

2.3.3 Costruzione del modello

Il primo passo effettuato nella costruzione del modello tramite il software Epanet, consiste nell'importare la rete interna, disponibile in formato *.dwg*, per poter definire la geometria della rete stessa (si noti che quest'ultima viene disegnata rigorosamente in scala con l'unico scopo di mantenere le proporzioni visive dato che, per il suo corretto funzionamento, il programma non necessita di riproduzioni né in scala né con la corretta distribuzione spaziale). Il processo di importazione non permette di estrapolare in maniera automatica la geometria della rete dal file *.dwg*, perciò, il rilievo della rete di adduzione dell'acqua potabile, è stato utilizzato come sfondo dell'area di disegno in Epanet, al fine di ricostruire, nel modo più fedele possibile, la distribuzione spaziale dei nodi, nonché dei luoghi di passaggio delle tubazioni.

Successivamente sono state definite le unità di misura utilizzate nella modellazione. In particolare, si sono utilizzate le unità metriche definite dal Sistema Internazionale; le unità di misura che verranno utilizzate dal software sono riportate nella figura 2.8 recuperata dal manuale d'uso del programma.

Il secondo passo, è stata la creazione dell'intera rete con tutte le sue principali caratteristiche, ovvero i nodi ed i collegamenti. Il programma consente di importare un file in formato *.inp* contenente l'intera geometria e caratteristiche di tutte le componenti della rete, oppure di disegnare manualmente la rete tramite un editor visivo inserendo singolarmente ogni dato di input necessario per ogni componente della rete. In quest'ultimo caso, il programma, per poter funzionare, genera automaticamente il file *.inp*, rendendolo successivamente modificabile. Sono, quindi, stati creati tutti i nodi di cui è formata la rete, in corrispondenza di punti di prelievo, di immissione, di diramazione oppure in caso di variazione delle proprietà della condotta. Ad ogni nodo, viene assegnato in maniera automatica un ID, ovvero un'identificazione univoca dell'elemento tramite un codice formato da lettere, numeri o entrambi. Per poter definire correttamente i nodi, è necessario inserirne tutti i dati di input. I dati da inserire si ritrovano elencati nel file formato *.inp* dove ogni categoria di elemento inizia con il relativo nome inserito tra le parentesi quadre, seguito dai vari dati da inserire.

I nodi devono essere inseriti nella sezione:

[JUNCTION]

Metric Units	
Parameter	Units
Concentration	mg/L or ug/L
Demand	(same as Flow)
Diameter (Pipes)	millimeters
Diameter (Tanks)	meters
Efficiency	percent
Elevation	meters
Emitter Coeff.	flow units / $\sqrt{\text{meter}}$
Energy	kilowatt-hours
Flow	LPS (liters/sec)(liters/min) MLD (megaliters/day) CMH (cubic meters/hr) CMD (cubic meters/day)
Friction Factor	unitless
Hydraulic Head	meters
Length	meters
Minor Loss Coeff.	unitless
Power	kilowatts
Pressure	meters
Reaction Coeff. (Bulk)	1/days (1st-order)
Reaction Coeff. (Wall)	mass/L/day (0-order) 1/day (1st-order)
Roughness Coeff.	millimeters (Darcy-Weisbach)
Source Mass Injection	mass/minute
Velocity	meters/sec
Volume	cubic meters
Water Age	hours

Figura 2.8: Unità di misura utilizzate da Epanet

seguita dai dati di input necessari:

id elev (demand) (pattern)

dove:

- *id*: è il codice identificativo del nodo;
- *elev*: è la quota del nodo rispetto a quella di riferimento;
- *demand*: indica il valore di prelievo d'acqua al nodo (segno positivo) o l'immissione (segno negativo) espressa con l'unità di misura scelta della portata;
- *pattern*: da inserire il codice identificativo del time pattern da assegnare alla domanda per definirne la sua variazione nel tempo.

Successivamente si vanno ad inserire i collegamenti tra i nodi, ovvero le tubazioni definite nella sezione:

[PIPES]

seguita dai dati di input necessari:

id node1 node2 length diam rcoeff (lcoeff) (CV)

dove:

- *id*: codice identificativo del collegamento;
- *node1*: in cui si deve inserire l'ID del nodo iniziale del collegamento;
- *node2*: in cui si deve inserire l'ID del nodo finale del collegamento;
- *length*: la lunghezza della tubazione (espressa in metri);
- *diam*: esprime il diametro della condotta (espresso in mm);
- *rcoeff*: è il coefficiente di scabrezza, espresso coerentemente con la formula di calcolo della perdita di carico scelta (l'unica non adimensionale è quella di Darcy-Weisbach da esprimere in mm);
- *lcoeff*: valore del coefficiente K per il calcolo delle perdite di carico concentrate;
- *CV*: segnala la presenza di una valvola di controllo lungo la tubazione.

Infine, è stato aggiunto un reservoir al fine di simulare la connessione con l'acquedotto, definendolo nella sezione:

[RESERVOIRS]

seguita dai dati di input necessari:

id head (pattern)

dove:

- *id*: codice identificativo del reservoir;
- *head*: indica il carico di partenza del reservoir;
- *pattern*: da inserire il codice identificativo del time pattern da assegnare al carico idraulico per definirne la sua variazione nel tempo.

A questo punto, è stata quindi ricostruita la geometria della rete in tutte le sue componenti di base, quali i nodi ed i loro collegamenti. Il risultato è visibile nella figura 2.9 dove, per chiarezza, si è eliminato lo sfondo. Come si può notare, la rete è costituita da un unico punto di allaccio, situato verso Corso Duca degli Abruzzi, effettuato tramite una condotta di diametro pari a 100 mm. A questa condotta si collegano subito 2 tubazioni che distribuiscono l'acqua rispettivamente sui lati

sinistro e destro della struttura. Queste ultime formano le dorsali principali a cui si collegano le diramazioni per servire le varie utenze. Le due dorsali percorrono lateralmente il cortile centrale, sempre transitanti al livello del seminterrato, per poi collegarsi insieme una volta superata l'altezza dell'aula magna. Si forma così una prima maglia che permette all'acqua di fluire in una o nell'altra direzione a seconda della dislocazione e della quantità della domanda idrica. La dorsale di destra si dirama all'altezza del corridoio laterale verso corso Rodolfo Montevicchio, fino a raggiungere l'utenza più esterna, mentre quella di sinistra svolta, prima della congiunzione, verso corso Luigi Einaudi. Verso queste estremità si trova una condotta che circumnaviga esternamente la struttura, tramite il passaggio in cunicoli o sotto la pavimentazione, passando per l'edificio della segreteria e unendosi per formare una seconda maglia più esterna della rete.

È necessario effettuare un'ulteriore osservazione per evidenziare il fatto che la rete è stata depurata delle componenti in eccesso, creando un modello costituito soltanto dai nodi semplici, utili alla creazione della rete e dai nodi di prelievo che rappresentano le utenze, eliminando ogni altra componente che non rappresentasse un punto di prelievo riconducibile ad un gruppo di utenze (come per esempio i lavabi isolati, individuati nel rilievo, che non sono collegati a servizi igienici).

2.3.4 Dati di input

Una volta definita la geometria della rete, il passo successivo consiste nell'inserire i dati di input per simulare il caso in esame e permettere il corretto funzionamento del programma. I dati da inserire sono relativi alle proprietà dei nodi, delle tubazioni e del reservoir. Di seguito vengono analizzate, sotto ogni aspetto, tali tipologie di elementi.

I nodi

Come già anticipato, i nodi possono essere di tre tipi: nodi di immissione, nodi di prelievo e nodi semplici. I primi due sono dei nodi aventi la caratteristica di far variare la portata, in tale punto, prelevando o immettendo la portata. Nel caso in esame, essendo la struttura alimentata dalla rete pubblica di acquedotto tramite un solo punto di immissione, l'unico nodo in la portata risulta immessa nella rete è il punto di allaccio. La modellazione di tale punto viene riportata nel paragrafo ad esso dedicato, relativo ai reservoirs. Per quanto riguarda la restante parte della rete, i nodi di prelievo sono posti in corrispondenza delle utenze e si distinguono dai nodi semplici in quanto, quest'ultimi vengono utilizzati soltanto per rappresentare lo snodo di due o più tubazioni aventi proprietà differenti, ad esempio diametri diversi, mentre i primi sono caratterizzati da un valore di domanda idrica diversa da zero.

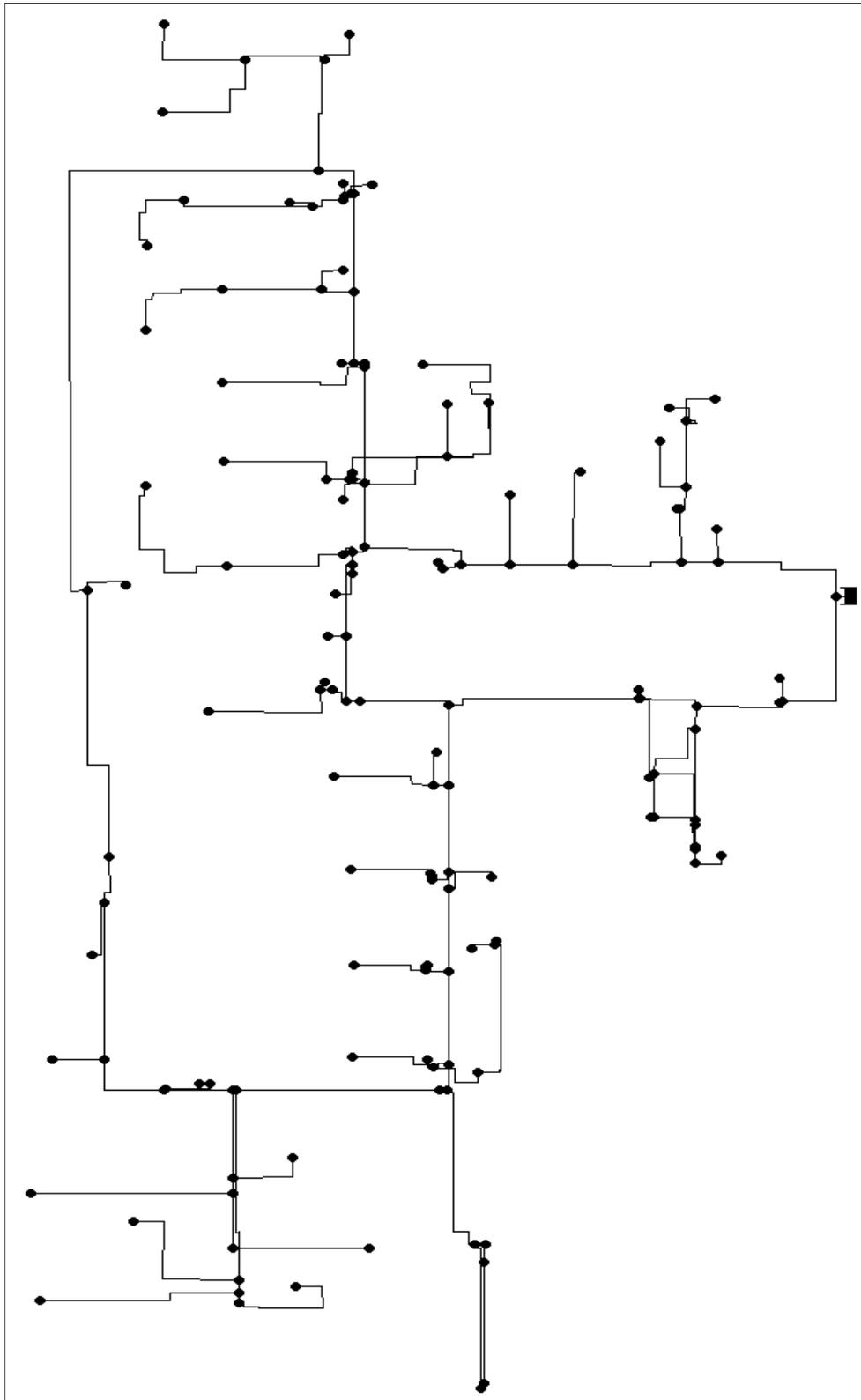


Figura 2.9: Modello geometrico della rete di adduzione dell'acqua potabile

Le utenze di prelievo al Politecnico di Torino risultano essere molteplici e, per natura della struttura, difficili da individuare in maniera univoca, in quanto il rilievo di tutti i singoli rubinetti e di tutte le singole utenze comporterebbe un'enorme mole di lavoro che esula dagli obiettivi del presente elaborato di tesi. Se si pensasse comunque che, tramite una campagna di rilievo, di poter individuare ogni singola derivazione dell'acqua, molto probabilmente dopo poco tempo non risulterebbe più conforme alla realtà poiché il Politecnico è una struttura con un passato molto articolato e in buona parte inaccessibile. Infatti, sono costantemente presenti lavori di manutenzione sia ordinaria che straordinaria volti a variare la distribuzione architettonica degli spazi, della loro destinazione e comportando una continua modifica degli impianti che, molto spesso, non viene nemmeno segnalata a chi controlla la rete. Inoltre, è presente un continuo cambiamento o aggiornamento delle macchine di laboratorio con diverse tecnologie che, se utilizzano come fluido di processo l'acqua, ne causano una forte variazione nei consumi.

Per poter, quindi, rappresentare le utenze presenti all'interno della struttura, sono state fatte delle ipotesi al fine di semplificare il problema. In primo luogo, si sono cercate di individuare le principali utenze di consumo riscontrabili all'interno della struttura, per poi raggrupparle in categorie quali:

- *laboratori*: in quanto utilizzano l'acqua come fluido di processo, raffreddamento o direttamente come oggetto di studio (come ad esempio nel laboratorio di idraulica);
- *servizi sanitari* comprendono l'acqua utilizzata nei vasi a cassetta e nei lavabi;
- *bar e mense* nella quale l'acqua viene utilizzata nella preparazione di pasti e bevande;
- *servizi ausiliari* comprendono l'acqua adibita ad altre utenze di minor entità e non direttamente stimabili, quali ad esempio gli utilizzi irrigui e di pulizia dei locali.

Si noti come le prime tre utenze sono caratterizzate da una distribuzione spaziale ben definita, mentre nell'ultima, la precisa collocazione spaziale risulta ben difficile da definire. A quest'ultima si è deciso di non assegnare alcun valore di domanda idrica, ma comunque di riportarla nell'elenco in quanto costituisce una tipologia di utenza individuata. Per effettuare la distinzione, in funzione del tipo di utenza, i nodi di prelievo vengono distinti, tramite l'assegnazione di un *tag*, utile per l'identificazione. Per quanto riguarda il valore id, per tutti i nodi, è stato utilizzato un codice identificativo di tipo numerico. In particolare, il primo nodo è il punto di allaccio con l'acquedotto.

Per la definizione del parametro di elevazione, sono state effettuate delle semplificazioni al problema in quanto i dati a disposizione, non consentono una determinazione precisa della quota di ogni utenza. Nello specifico, al livello seminterrato

è stata assegnata la quota di riferimento pari a zero. Ogni valore altimetrico farà quindi riferimento al piano delle tubazioni del seminterrato. Ad ogni piano si è assegnato un valore costante per la rappresentazione dell'altezza interpiano, scelta pari a 5 m, segnalando che si tratta di una semplificazione forte rispetto al problema altimetrico, ma che comunque non influisce in maniera significativa sui risultati idraulici della modellazione. Dato che nel rilievo delle tubazioni interne sono state individuate indicazioni circa la salita delle colonne d'acqua fino al piano terzo, si è scelto, per semplicità, di non andare oltre a tale piano, considerando anche il fatto che le utenze caratterizzate da un maggior prelievo sono situate ai piani inferiori.

Il parametro di domanda idrica così come il time pattern, utilizzato per creare una variazione di domanda nel tempo, sono stati definiti in maniera differente in funzione della simulazione effettuata. In particolare, per ogni scenario di simulazione analizzato, verranno descritti, nella relativa sezione, i metodi utilizzati per la definizione del prelievo idrico, del pattern temporale ed i valori per ogni nodo. In generale, si è scelto di utilizzare come unità di misura i litri al minuto (l/min), in quanto ritenuti più significativi, viste le numerose utenze ed i relativi consumi.

Il reservoir

L'elemento denominato reservoir, è stato utilizzato per simulare il punto di allacciamento con l'acquedotto. La scelta è ricaduta su questo elemento in quanto costituisce una fonte, esterna alla rete, infinita di acqua. Gli unici parametri da inserire sono il carico ed eventualmente il time pattern, da assegnare al reservoir, in modo tale da costituire l'unico punto a carico noto della rete, da cui verranno calcolati tutti gli altri.

Per la definizione del carico da assegnare al reservoir, in assenza di misure puntuali, sono state utilizzate delle misure di pressione effettuate in corrispondenza di Piazza Rivoli a Torino. In particolare, per i valori di carico, sono stati scelti quelli relativi ad un giorno lavorativo. I valori di pressione così ricavati, sono stati convertiti in metri di colonna d'acqua, per riferire tali valori al punto di allaccio del Politecnico, aggiungendo il dislivello tra i due punti. Nel dettaglio, il punto di misura di Piazza Rivoli è situato ad una quota pari a 258: m s l m, mentre l'ingresso del Politecnico lato Corso Duca degli Abruzzi è localizzato a 248: m s l m. Il dislivello così calcolato è stato quindi aggiunto ai valori precedentemente calcolati. Il valore medio dei valori di carico risulta pari a 36,07 m.

Al reservoir è stato assegnato un time pattern, riportato in figura 2.10, calcolato riportando ogni valore orario di carico al valor medio.

Le tubazioni

Le tubazioni, a cui è stato assegnato un id alfanumerico formato dalla lettera *P* seguita dal numero, sono state individuate sulla base del rilievo della rete di adduzione dell'acqua potabile effettuato nel 2015. Sono quindi stati collegati i nodi

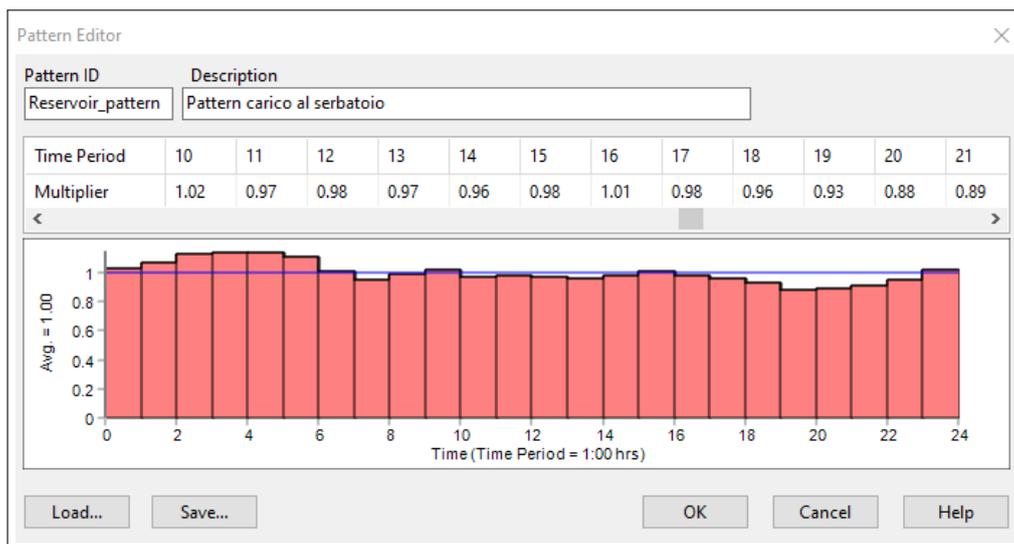


Figura 2.10: Time pattern assegnato al reservoir

tramite le condotte, definendo di volta in volta, l'id del nodo di partenza e di quello di arrivo. Si noti come l'ordine di assegnazione tra nodo iniziale e nodo finale, non causa variazioni al comportamento idraulico della rete, ma definisce il segno, positivo o negativo, con cui viene calcolata la portata nei risultati delle simulazioni. Il segno positivo si ottiene quando la portata fluisce dal nodo iniziale verso quello finale mentre, il segno negativo, nel caso opposto. A differenza del segno definito per i nodi, nei collegamenti il segno è utilizzato dal programma soltanto definire la direzione del moto e non un prelievo o un'immissione di portata.

La lunghezza delle condotte è stata misurata dal sopracitato rilievo e riportata per ogni collegamento creato. Anche nella definizione dei diametri, è stato utilizzato l'unico dato disponibile, cioè il rilievo. Il risultato di questa operazione è visibile in figura 2.11, dove si sono differenziate le tubazioni, in funzione del diametro, tramite un colore. Inoltre, ad ogni nodo, viene assegnato un colore che ne descrive la quota rispetto al piano di riferimento, ovvero il livello seminterrato.

Per quanto riguarda la scelta della formula da utilizzare per il calcolo delle perdite di carico distribuite, si è scelto di utilizzare quella di Darcy-Weisbach, in quanto ha validità generale, per tutti i tipi di fluido. Il parametro da scegliere diventa dunque il coefficiente di rugosità che, per condotte in acciaio, viene assunto pari a 0,05 mm. Tale valore è stato ricavato da tabelle ampiamente disponibili in letteratura.

Invece, le perdite di carico concentrate, non sono state inserite nel modello in quanto considerate trascurabili, viste le basse velocità dell'acqua e dell'assenza di indicazioni sulle valvole eventualmente presenti nella rete.

Base demand

All'interno della struttura, basando il conteggio sulle planimetrie visibili sul sito del Politecnico e sulla base del rilievo a disposizione, sono stati rilevati un numero di laboratori, valutato come punto di prelievo destinato ad un singolo laboratorio oppure riferito ad un gruppo di laboratori facente capo alla stessa diramazione della rete, pari a 22. Per quanto riguarda i servizi igienici, è stato conteggiato l'intero gruppo servito da una singola colonna d'acqua, individuata tramite il rilievo, per un totale pari a 48. Inoltre, sono stati individuati 3 punti di prelievo destinati all'utenza corrispondenti a mensa e bar. Invece, i nodi relativi ai servizi ausiliari, come già riportato in precedenza, non sono stati modellati in quanto non si è ricostruito il profilo di prelievo relativo all'utenza in questione.

Per la definizione della domanda idrica si faccia riferimento alla sezione 3.2 nella quale, per ogni scenario, vengono descritte le metodologie di calcolo e le semplificazioni effettuate per l'attribuzione delle quote di prelievo.

Osservazioni

Nel rilievo della rete di adduzione dell'acqua potabile del Politecnico, non sono presenti informazioni relative alla presenza di pompe e di valvole. Per questo motivo, non sono state inserite all'interno del modello idraulico.

Invece, per quanto riguarda il time patter, ne sono stati utilizzati diversi a seconda dello scenario considerato. Tramite il time pattern è stato possibile rappresentare la variazione della domanda idrica nel tempo da parte delle utenze.

Tutte le suddette operazioni, volte alla costruzione del modello idraulico, producono come risultato il file .inp, riportato nella sua interezza in appendice B di pagina 156, nel quale sono presenti tutte le caratteristiche di input relative ai nodi, collegamenti, reservoir, time pattern, nonché le impostazioni di calcolo utilizzate. Si noti come, per la costruzione dei vari scenari di calcolo, a tale file, rappresentante il network della rete di distribuzione dell'acqua potabile, venga successivamente associato un ulteriore file contenente le informazioni relative le domande ai vari nodi ed ai time pattern ad essi associati.

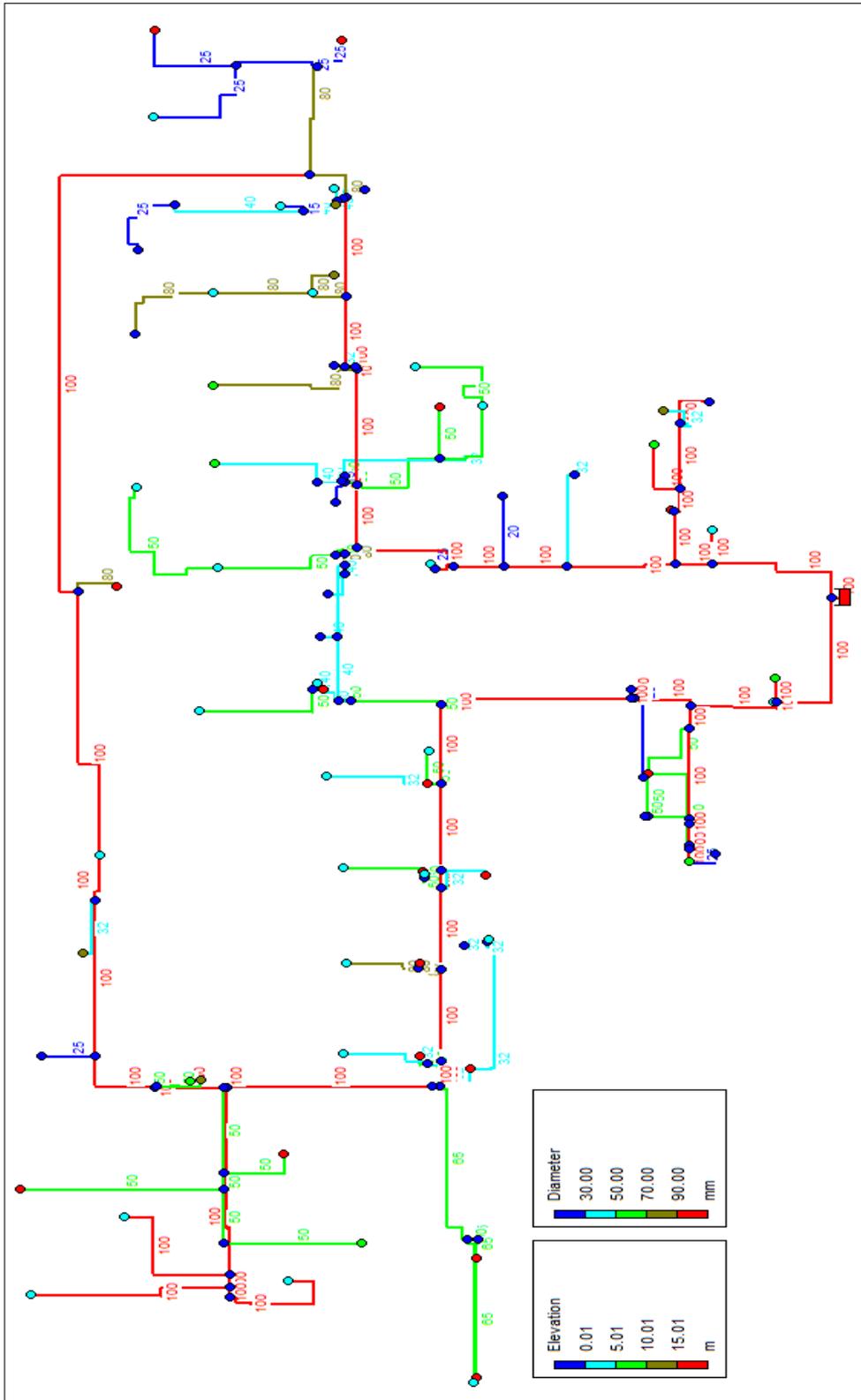


Figura 2.11: Modello geometrico della rete di adduzione dell'acqua potabile

Capitolo 3

Risultati

3.1 Analisi dei consumi

In questa sezione si vuole andare a ricostruire l'intero processo di trattamento dei dati di consumo, partendo dai dati grezzi fino ai risultati finali. Grazie ad un campione esteso dei valori di portata è stato possibile descrivere in maniera molto accurata l'andamento temporale con le relative variazioni di consumo. In particolare, le analisi sono state effettuate a varie scale temporali che spaziano da quella annuale a quella oraria.

3.1.1 Validazione dei dati

Questa sezione tratta della ricerca e del trattamento degli *outliers*, cioè valori anomali, aberranti, chiaramente distanti dalle altre misurazioni. La presenza di *outliers*, può essere dovuta ad errori del sistema di monitoraggio sia lato strumenti che lato software. Risulta praticamente impossibile ed estremamente rischioso avanzare delle ipotesi su cosa non abbia funzionato nel complesso del sistema. Seguendo quindi lo scopo del presente elaborato di tesi, si è preferito non indagare ulteriormente sulle cause relative alla presenza delle suddette anomalie, ma si è preferito semplicemente escluderle dalle analisi.

Il primo passo, è stato quello di calcolare il valor medio su tutti i dati disponibili eliminando dall'operazione i valori nulli, in quanto si è dato per assodato che, in ogni istante, vi sia un prelievo d'acqua, sia esso imputabile ad un utenza effettiva o a perdite interne della rete. Questa ipotesi risulta confermata a fronte dei risultati derivati dalle analisi effettuate nelle sezioni seguenti che illustrano come vi sia in ogni istante un consumo di base non indifferente in qualsiasi ora e giorno dell'anno. Il valor medio così calcolato, pari a $2,87 \text{ m}^3/15 \text{ minuti}$, è stato utilizzato soltanto come indicatore per un confronto con i valori massimi e minimi registrati. Per quanto concerne questi ultimi non sono stati riscontrati dei veri e propri *outliers*

in quanto sono stati classificati come probabili tutti i valori diversi da zero, inoltre sarebbe alquanto complesso definire una soglia in questa direzione dato che il valor medio risulta essere anch'esso basso. Discorso completamente diverso è invece quello che riguarda i valori massimi. Essi sono stati individuati semplicemente andando a ricercare di volta in volta il valore massimo presente nella serie storica. A questo punto, se il valore così trovato risulta essere alquanto distante dal valor medio precedentemente calcolato, si effettua una ricerca nella serie storica al fine di acquisire il giorno e l'ora corrispondente a tale valore per poterlo comparare con i valori registrati in quel periodo di tempo (è stato considerato un lasso temporale di qualche ora che è risultato essere sufficiente per la valutazione sulla veridicità del dato, come illustrato nei successivi esempi).

In questo modo, è stato possibile individuare gli *outliers* presenti all'interno del campione di dati. Essi sono stati quindi resi nulli in modo tale da non influenzare le successive operazioni di trattamento dei dati. Negli *outliers* così individuati, non è stata riscontrata alcuna correlazione temporale che faccia supporre ad errori sistematici della strumentazione o a procedure errate di acquisizione del dato. Si riportano a titolo esplicativo due esempi significativi di valori anomali. Il primo, in tabella 3.1 (a) e figura 3.1, è relativo al caso più comune riscontrato: un valore estremamente elevato, preceduto e seguito da valori nulli. In questo esempio sono inoltre presenti ben due *outliers*.

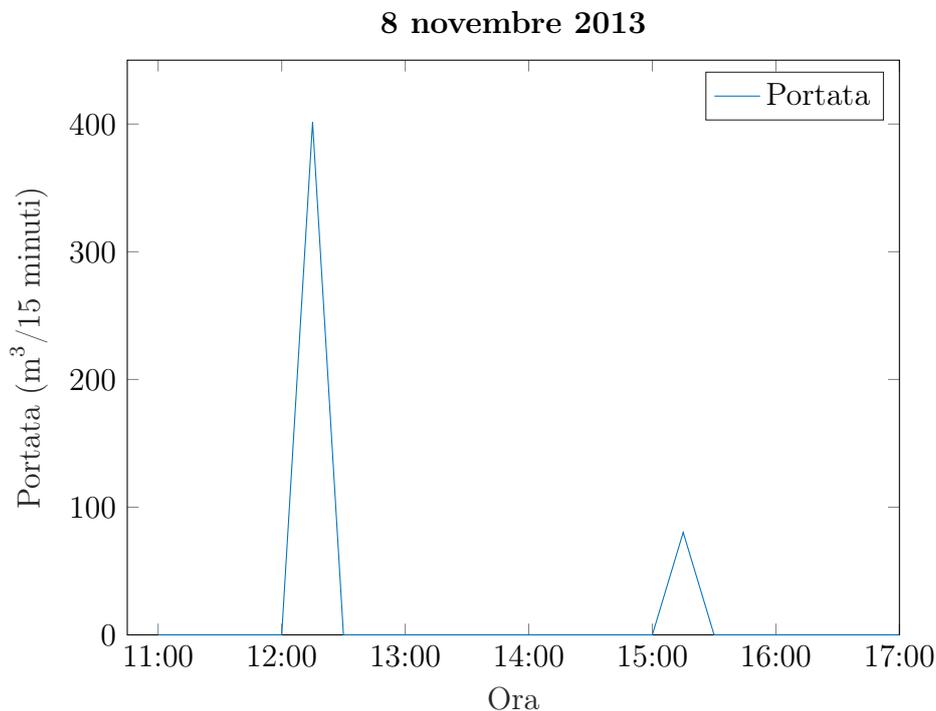


Figura 3.1: Esempio di valori anomali ricadenti nel primo caso

Tabella 3.1: Esempi di valori anomali

(a) Primo caso		(b) Secondo caso	
Orario	Portata ($m^3/15 \text{ min.}$)	Orario	Portata ($m^3/15 \text{ min.}$)
11:00	0	06:00	2
11:15	0	06:15	3
11:30	0	06:30	3
11:45	0	06:45	2
12:00	0	07:00	3
12:15	401,36	07:15	3
12:30	0	07:30	45
12:45	0	07:45	0
13:00	0	08:00	0
13:15	0	08:15	0
13:30	0	08:30	0
13:45	0	08:45	0
14:00	0	09:00	0
14:15	0	09:15	0
14:30	0	09:30	0
14:45	0	09:45	0
15:00	0	10:00	0
15:15	80,27	10:15	6
15:30	0	10:30	10
15:45	0	10:45	7
16:00	0	11:00	8
16:15	0	11:15	8
16:30	0	11:30	8
16:45	0	11:45	8
17:00	0	12:00	8

Il secondo, riportato in tabella 3.1 (b) e figura 3.2, vuole invece illustrare l'importanza del confronto con i dati adiacenti; infatti il valore corrispondente a 45,00 $m^3/15 \text{ min.}$, che se fosse preso singolarmente sarebbe considerato veritiero ma dal confronto con i valori precedenti risulta essere molto poco probabile a causa dell'alta variazione di portata. Un'ulteriore conferma dell'anomalia, è data dalla presenza di valori nulli subito dopo il dato in questione, a conferma del fatto che qualcosa nel sistema di monitoraggio non sia andato a buon fine.

L'operazione successiva effettuata sui dati, è stata quella di convertire le unità di misura utilizzate dal sistema di monitoraggio in unità più comuni e di maggiore

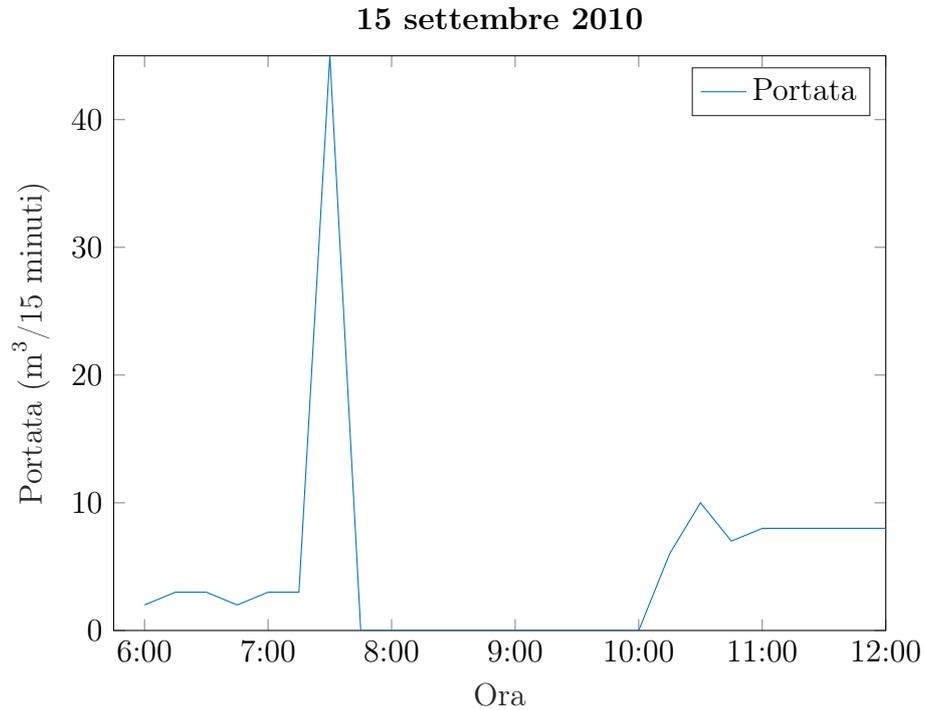


Figura 3.2: Esempio di valori anomali ricadenti nel secondo caso

significatività; in particolare, si è passati da $\text{m}^3/15 \text{ min}$ a m^3/h ed in m^3/giorno semplicemente andando a sommare i valori parziali. In questo modo, si sono ricostruite le serie storiche, divise per anni, delle portate per poter analizzare la variazione di consumo nel tempo. Da questi diagrammi risulta subito evidente come in certi periodi di tempo, che vanno dalla scala giornaliera a quella mensile, il sistema di acquisizione dei dati ha restituito valori nulli. Questo assume una certa rilevanza sui risultati soprattutto se, come visibile dalle serie storiche riportate in appendice A, questa mancata acquisizione si protrae per lunghi periodi facendo perdere la significatività dei risultati delle successive analisi, causa un campione che non riesce a descrivere a sufficienza il comportamento durante tale lasso temporale.

Inoltre, è da ricordare che, come anticipato nella sezione 2.1.3, i dati antecedenti al 2014 sono poco affidabili in quanto non furono controllati regolarmente. Questo ha comportato varie anomalie descritte nelle successive sezioni.

3.1.2 Serie storica delle portate

Il passo successivo alla ricerca degli *outliers*, è quello di ricercare un quadro completo dei dati disponibili per assegnare degli ordini di grandezza alla trattazione. Questo, è reso possibile tramite la serie storica delle portate giornaliere che permette di rappresentare graficamente tutti i valori di consumo riferiti alla scala giornaliera. I consumi vengono ordinati secondo l'ordine cronologico, quindi partendo dal 1 gennaio 2009 al 23 luglio 2019.

Dalla serie storica, riportata in figura 3.3, risulta subito evidente come in molti giorni dell'anno il sistema di acquisizione abbia restituito valori nulli o comunque troppo bassi per risultare accettabili. Nei periodi in cui sono presenti queste anomalie, si andrà ad aumentare il livello di dettaglio per individuarli in maniera univoca. Tali periodi risultano essere prevalentemente antecedenti al 2014, nello specifico gli anni 2009 e 2014, vedasi figure A.1 e A.6 riportate in appendice A, sono caratterizzati da prolungati periodi di tempo in cui i valori risultano essere nulli. Si nota anche una diminuzione dei consumi tra la fine del 2011 e l'inizio del 2012 per poi tendere a valori nulli. Questo causa una scarsa affidabilità relativa alla bontà dei risultati in tali periodi che, per completezza, vengono comunque riportati. Inoltre, si può osservare come, analizzando i consumi annui, sia presente una diminuzione dei valori rispetto ai precedenti dall'anno 2015 per poi aumentare notevolmente verso la fine del 2018 e continuare per i primi mesi del 2019. In particolare, si passa dai 109 140 m³ del 2010, anno di maggior consumo, ai 71 374 m³ nel 2015 per mantenersi su questi valori fino al 2018 in cui si verifica un cospicuo aumento, concentrato soprattutto negli ultimi mesi dell'anno, tanto da raggiungere i 91 629 m³, come riportato in tabella 3.2.

Tabella 3.2: Volumi totali, numero di giorni rilevati e portate medie nei vari anni

Anno	Volume (m ³)	Numero di giorni (-)	Portata media (m ³ /gg)
2009	45 781,00	167	274,14
2010	109 140,00	339	321,95
2011	93 236,70	337	276,67
2012	98 183,72	322	304,92
2013	82 592,09	339	243,63
2014	24 315,39	129	188,49
2015	71 373,85	365	195,54
2016	73 814,01	347	212,72
2017	73 704,75	355	207,62
2018	91 629,48	346	264,83
2019	69 945,01	195	358,69

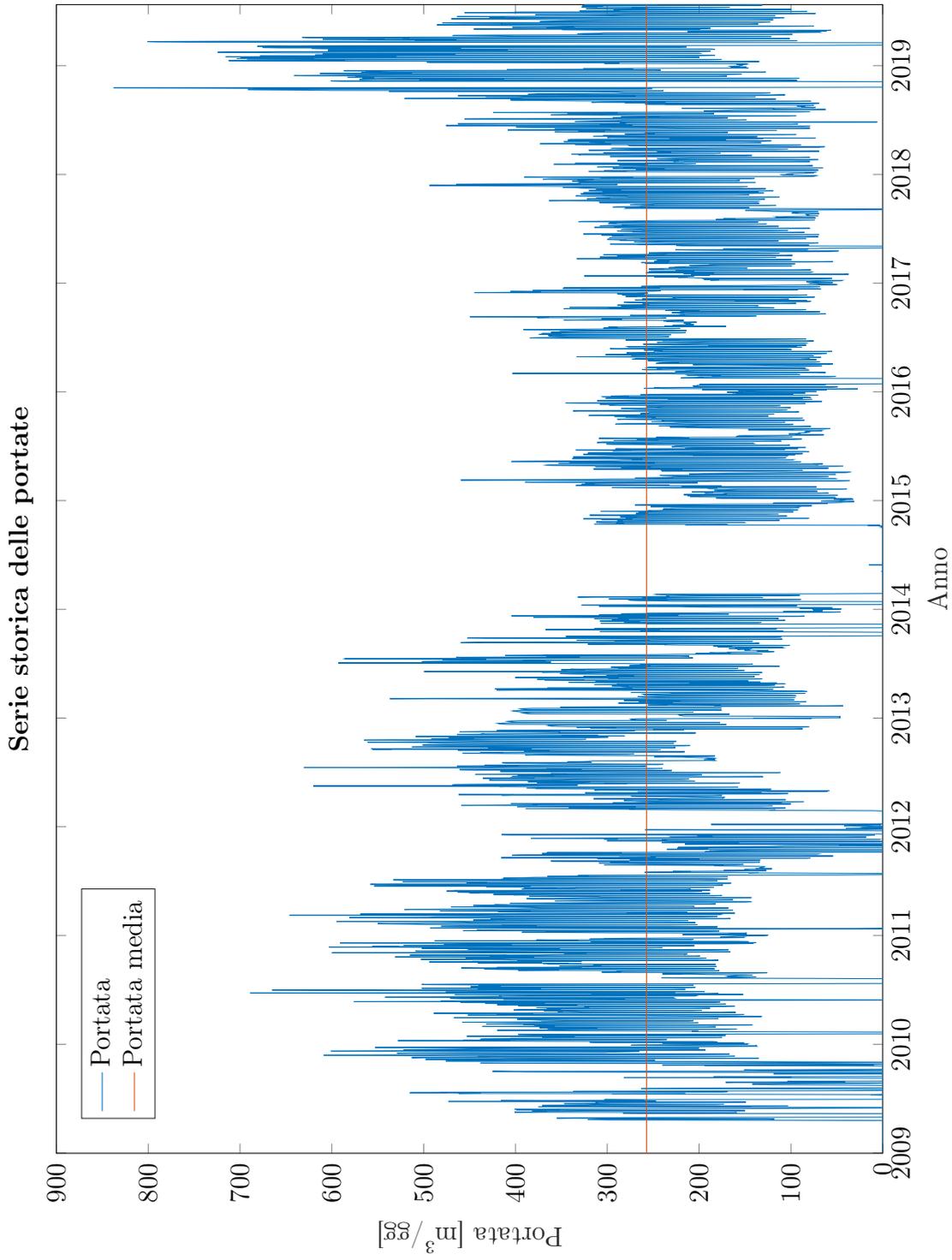


Figura 3.3: Andamento delle portate dal 1 gennaio 2009 al 23 luglio 2019

3.1.3 Andamento mensile

A questo punto, risulta necessario spingere l'analisi ad intervalli di tempo più limitati per poter ottenere maggiori informazioni riguardanti gli andamenti dei consumi nel tempo. In particolare, il passo successivo è stato quello di suddividere la domanda idrica nei vari anni.

Quando si analizzano i consumi su scala annuale, ci si aspetta che la curva possieda delle caratteristiche simili a quelli che sono i principi comuni di riferimento. In generale, la domanda idrica nel corso dell'anno assume dei comportamenti che possono essere estesi ad ogni tipo di utenza. Il più classico dei comportamenti è l'aumento di richiesta durante i mesi estivi, in cui la domanda tende ad aumentare con l'aumento della temperatura. Questo è imputabile ad una maggiore utilizzo sia per le abitudini personali che per altre attività quali, ad esempio, l'irrigazione che nei mesi caldi richiede un maggior impiego di acqua.

In figura 3.4, viene riportato l'andamento dei consumi per il 2015 che meglio si presta all'analisi in quanto, le conclusioni a seguire assumono validità generale dato che possono essere estese anche alla parte restante del campione di dati. In particolare, si osserva come non sia evidenziabile un comportamento generale tipico delle altre utenze, quale l'aumento del consumo nel periodo estivo e nemmeno la diminuzione durante quello invernale. Il motivo principale è che il Politecnico di Torino rappresenta un caso particolare di utenza. Tale particolarità, risiede nel fatto che gli utilizzi non sono quelli tipici nè di un utenza industriale nè tanto meno di una residenziale, ma risultano essere quelli di un insieme di utenze diverse. I consumi che sono riscontrabili all'interno del Politecnico, introdotti nella sezione 2.3.4 e di seguito riportati, risultano essere attribuibili principalmente a:

- *laboratori* in quanto utilizzano l'acqua come fluido di processo, raffreddamento o direttamente come oggetto di studio (come ad esempio nel laboratorio di idraulica);
- *servizi sanitari* comprendono l'acqua utilizzata nei vasi a cassetta e nei lavabi;
- *bar e mense* nella quale l'acqua viene utilizzata nella preparazione di pasti e bevande;
- *servizi ausiliari* comprendono l'acqua adibita ad altre utenze di minor entità e non direttamente stimabili, quali ad esempio gli utilizzi irrigui e di pulizia dei locali.

L'utenza non può, quindi, essere definita di tipo industriale in quanto la quota parte dominante non è quella adibita ai laboratori, così come non è di tipo residenziale, in quanto non si ritrovano i tipici utilizzi di un abitazione, come il lavaggio degli indumenti, delle stoviglie (presenti soltanto nei locali bar e mensa) o quelli per la cura personale; risultano soltanto presenti i servizi igienici. Il settore più simile risulta essere quello del terziario in cui però, la componente utilizzata per

i laboratori risulta non indifferente. Bisogna quindi prestare attenzione ad effettuare paragoni con altre strutture ricadenti nel settore terziario, come ad esempio i presidi ospedalieri, in quanto ogni tipo di utenza in questo settore, utilizza l'acqua in maniera differente.

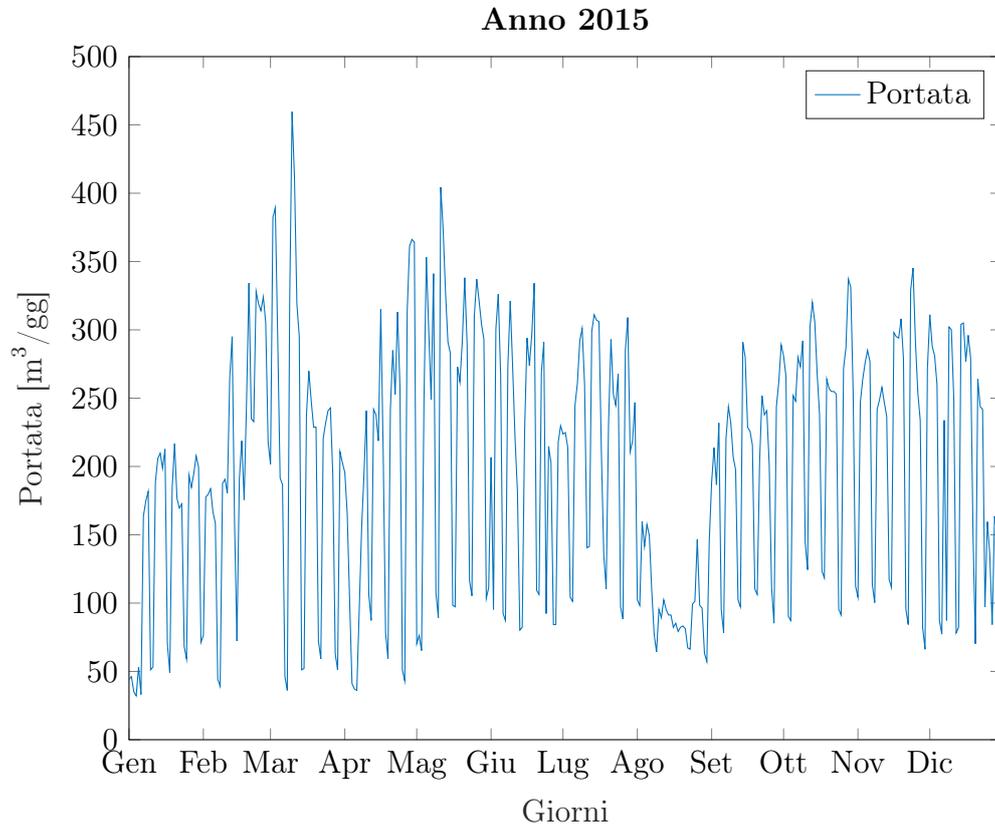


Figura 3.4: Andamento dei consumi nell'anno 2015

Dalla figura 3.4 si nota inoltre, come la curva sia caratterizzata da una ripetizione costante dei consumi, sia per quanto riguarda l'asse delle ascisse, rappresentante la variazione temporale (quindi distribuita sui vari mesi), sia per l'asse delle ordinate, rappresentante i valori di consumo. Per quanto riguarda la variabile temporale, la ripetizione si verifica con cadenza settimanale, fatta eccezione per i mesi di agosto, aprile nonché del periodo a cavallo tra la fine e l'inizio dell'anno. Si nota inoltre come, in merito alla variazione dei valori di portata, gli andamenti siano strettamente legati alla variabile tempo in quanto, le eccezioni evidenziate in precedenza, risultano valide anche per i valori di consumo. In merito alla ripetizione settimanale, vi si dedicherà un'analisi più dettagliata riportata nella sezione 3.1.4 di pagina 57.

Alle anomalie descritte in precedenza, si vanno ad aggiungere un'aumento del consumo nel periodo tra febbraio e marzo ed una diminuzione in alcuni giorni,

compresi dal lunedì al venerdì, distribuiti in maniera non ordinata nell'anno.

A questo punto, ci si è resi conto che, per poter descrivere in maniera più accurata il comportamento dei consumi idrici, è necessario affiancare alla lettura dei valori un ulteriore elemento che permetta di raggruppare i giorni aventi caratteristiche simili sia in termini di consumo, sia in base al tipo di utenza. Si deve, quindi, analizzare il ciclo lavorativo del Politecnico di Torino per effettuare la suddetta divisione. In funzione delle attività che si effettuano all'interno della struttura, si possono individuare 3 tipologie di giorni:

- *lavorativi;*
- *sessione esami;*
- *festivi.*

Nei primi, fanno parte tutti quei giorni in cui, nella struttura, si esplica l'attività principale, cioè l'insegnamento. Vengono quindi inclusi tutti i giorni in cui sono presenti i corsi di insegnamento delle varie materie. In questa categoria, si riscontrano i consumi maggiori in quanto rappresenta i giorni in cui nella struttura sono presenti tutte le differenti tipologie di utenza, elencate in precedenza. Nella tipologia sessione esami, fanno parte quei giorni in cui non è presente l'attività didattica, ma risultano comunque presenti tutte le utenze, anche se in quantità minore. Questo periodo corrisponde alla sessione esami di profitto. Infine, nella categoria festivi, rientrano tutti i giorni rimanenti, cioè quelli in cui non sono presenti nè gli esami, nè l'attività didattica. Sono inclusi, quindi, tutti i fine settimana (sabato e domenica), nonché i giorni di vacanza in cui l'attività didattica viene sospesa per le varie festività.

L'attività di suddivisione in base alle suddette tipologie di giorni, è stata effettuata sulla base di quanto riportato nel calendario cronologico relativo agli anni analizzati nel presente elaborato di tesi. I calendari accademici, disponibili sul sito della didattica del Politecnico di Torino al seguente link: https://didattica.polito.it/guida/2020/it/calendario_accademico?area_509=ing, riportano, oltre alle varie scadenze, la suddivisione del periodo didattico indicando l'inizio, la fine e la sospensione delle lezioni, nonché i periodi in cui sono presenti le sessioni degli esami di profitto. Tramite questo strumento, si è quindi potuto suddividere il grafico dei consumi, di figura 3.4, nelle tre tipologie di giorno sopraelencate. Il risultato è riportato in figura 3.5, nella quale sono stati differenziati tali tipologie di giorni mediante colori diversi. In questo modo, risulta evidente come il comportamento della richiesta idrica vari a seconda del tipo di giorno considerato.

Analizzando nello specifico i risultati emersi dalla suddetta operazione, si può quindi calcolare la divisione delle portate nei vari giorni, sia in termini di consumi totali, sia tramite valori medi per le tre tipologie di giorno nell'anno in esame, come riportato in tabella 3.3.

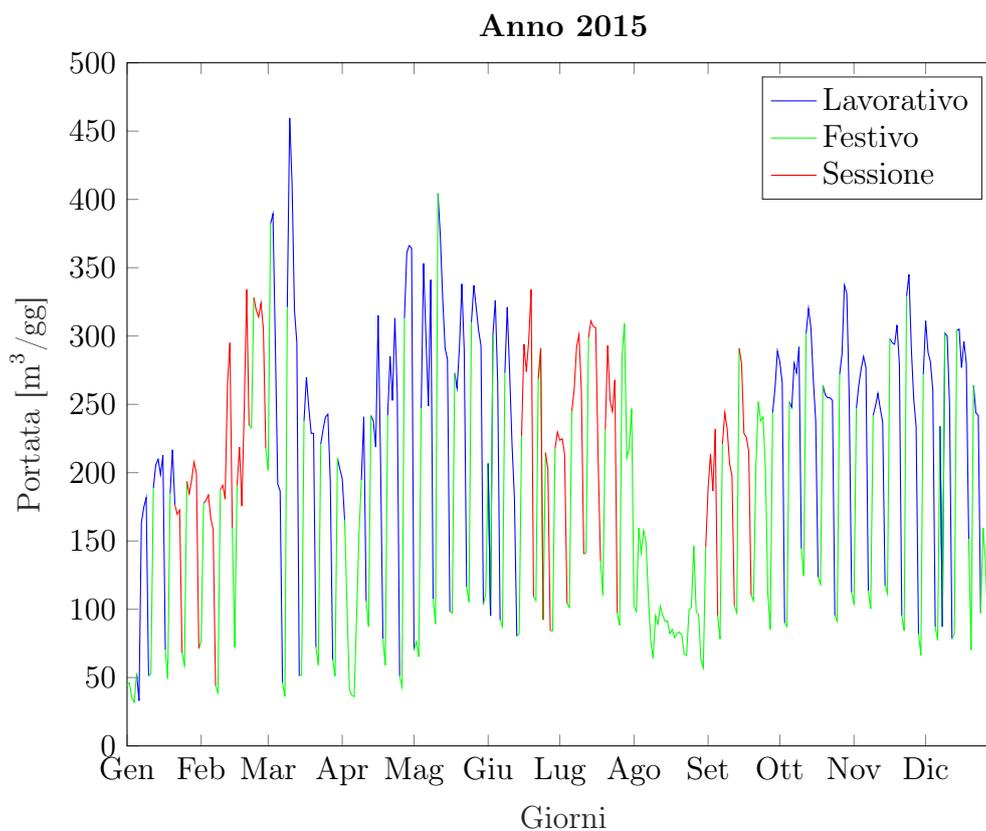


Figura 3.5: Andamento dei consumi nell'anno 2015

Tabella 3.3: Risultati della suddivisione nell'anno 2015

Tipologia	Volume (m^3)	Numero di giorni (-)	Portata media (m^3/gg)
Lavorativo	38 296,77	142	269,70
Sessione esami	17 144,09	72	238,11
Festivo	15 932,99	151	105,52

Dalla tabella 3.3, si evince come la quota parte di consumo più elevata, come ci si aspettava dato che sono presenti tutte le utenze, è attribuita ai giorni lavorativi. Come si può notare, il consumo nei giorni festivi risulta essere il più basso sia nel valore medio che in quello rappresentante il volume, nonostante sia la tipologia più presente all'interno dell'anno. Un altro risultato importante, è rappresentato dalla bassa differenza tra i valori medi dei giorni lavorativi e di sessione esami, pari a $31,59 \text{ m}^3/\text{gg}$, in cui quest'ultimo si avvicina molto al primo ad evidenziare il fatto che le due tipologie risultano essere molto simili sia in termini di utenza che di

valori di consumo.

Le altre considerazioni che si possono trarre avendo suddiviso l'andamento delle portate dell'anno 2015, figura 3.4, nelle tre tipologie di giorni, figura 3.5, sono legate all'analisi delle anomalie già individuate in precedenza (vedasi pagina 52). In particolare, risulta ora evidente come negli intervalli di tempo anomali in cui si verifica una marcata riduzione dei consumi, corrispondenti al mese di agosto, aprile nonché del periodo a cavallo tra la fine e l'inizio dell'anno, ricadano tutti nella categoria dei giorni festivi. Inoltre, all'interno di quest'ultima si trovano anche i giorni in cui è presente una festività all'interno della settimana lavorativa. Tramite il calendario cronologico dell'anno 2015, si sono quindi individuati i giorni in cui l'attività didattica viene sospesa a causa di una festività e corrispondenti ai periodi sopra indicati ed elencati qui di seguito:

- *lunedì 22 dicembre 2014 - martedì 6 gennaio 2015*
- *giovedì 2 - mercoledì 8 aprile*: sospensione per vacanze pasquali;
- *sabato 25 aprile*: anniversario della liberazione d'Italia (nel 2015 in cui risulta comunque festivo essendo di sabato);
- *venerdì 1 maggio*: festa dei lavoratori;
- *martedì 2 giugno*: festa della Repubblica Italiana;
- *mercoledì 24 giugno*: festa di San Giovanni (non a livello nazionale ma limitata alla Città Metropolitana di Torino);
- *lunedì 10 - venerdì 21 agosto*: chiusura per vacanze estive nel periodo di Ferragosto;
- *domenica 1 novembre*: festa di Tutti i Santi (nel 2015 in cui risulta comunque festivo essendo di domenica);
- *martedì 8 dicembre*: festa dell'Immacolata Concezione;
- *giovedì 24 - mercoledì 6 gennaio 2016*: chiusura per vacanze invernali nel periodo natalizio.

Oltre ai giorni sopraelencati, si vanno ad aggiungere ai giorni festivi tutti i fine settimana, sabato e domenica, oltre che ai periodi subito precedenti e successivi alla sessione esame, vedasi nel 2015 la settimana a cavallo tra luglio e agosto. Mentre nei primi si riscontrano, come ci si aspetterebbe, delle diminuzioni nei consumi, negli ultimi, si riscontra soltanto una leggera flessione rispetto alla sessione esami, ad evidenziare un'attività comunque molto elevata nonostante non siano presenti né esami né lezioni.

Discorso diverso riguarda l'anomalia del periodo tra febbraio e marzo, presente solamente nell'anno 2015, nella quale si registra un notevole aumento dei consumi. Inoltre, tale aumento è presente in tutte e tre le tipologie di giorni, sintomo di un'attività continua avvenuta in tale periodo. Riuscire ad individuare quale sia l'attività che ha causato l'aumento risulta estremamente difficile in quanto potrebbero esserci molteplici ipotesi, ad esempio un'attività maggiore in qualche laboratorio oppure causata da interventi di manutenzione o pulizia alla rete di distribuzione interna o relativi a qualche apparecchiatura di laboratorio oppure, anche se remota come ipotesi visto il notevole aumento, si potrebbe trattare di una perdita interna della rete.

3.1.4 Andamento settimanale

All'interno di questa sezione, si vuole aumentare il livello di dettaglio delle precedenti analisi. In particolare, si rivolgerà l'attenzione verso le caratteristiche dei consumi alla scala di tempo settimanale. Per fare ciò, si è proceduto ricercando le proprietà di ripetizione settimanale dei consumi, isolando i singoli mesi per individuarne delle caratteristiche comuni. Come già evidenziato nella sezione precedente

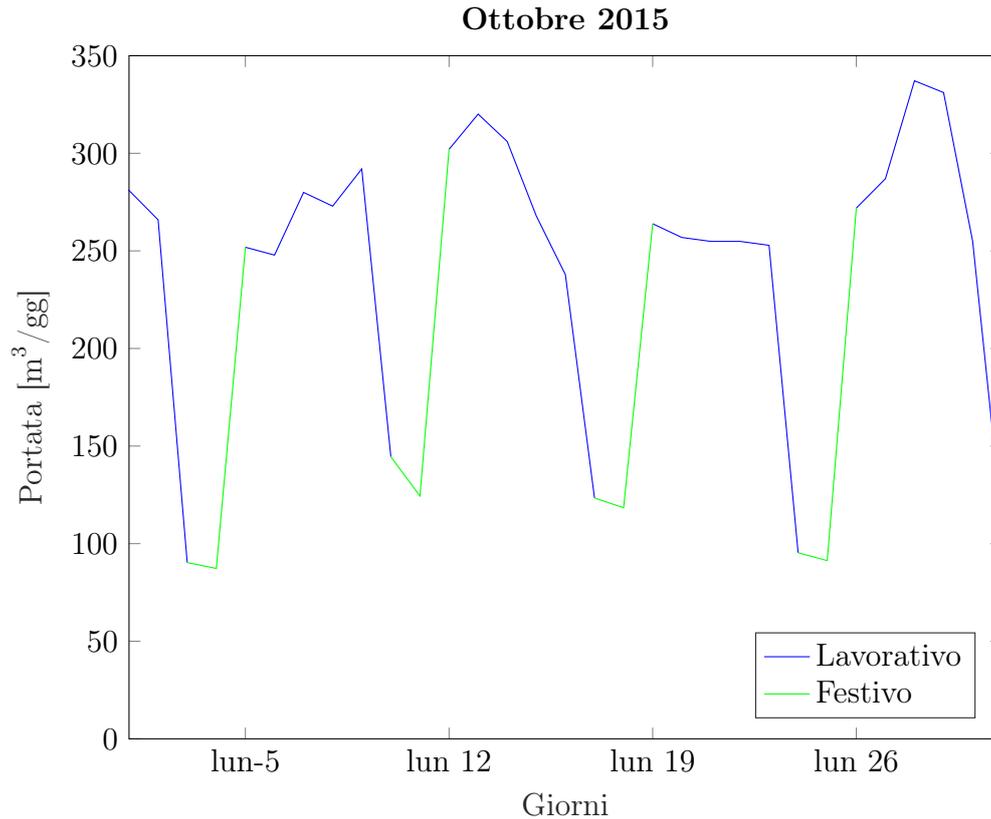


Figura 3.6: Andamento dei consumi nel mese di ottobre dell'anno 2015

dalla figura 3.5, è possibile notare come i consumi siano caratterizzati da una ripetizione temporale ben definita e insistente lungo tutto l'anno solare. Per poter evidenziare tale ripetizione, si riporta, nella figura 3.6, l'andamento dei consumi giornalieri rilevati al mese di ottobre (scelto in quanto mese privo di festività e caratterizzato soltanto dalle tipologie di giorni festivi e lavorativi). Dalla figura, si evince chiaramente come durante il sabato e la domenica i consumi si riducano notevolmente, ad ulteriore conferma della bontà nella precedente scelta riguardante la suddivisione nelle tre tipologie di giorno. Mentre, durante i giorni lavorativi, si nota come i valori di consumo variano di giorno in giorno senza uno schema ripetitivo ben definito. In particolare, l'oscillazione di tali valori si attesta, durante il

mezzo di ottobre, in un intervallo compreso tra i 250 m³ ed i 350 m³. Si nota inoltre come, tale variazione, sussiste anche se si confrontano tra di loro i singoli giorni delle varie settimane; questo a significare che le utenze sono caratterizzate da un prelievo variabile in quantità, durante i singoli giorni.

Risulta quindi evidente, come non si possa estrapolare una settimana in maniera aleatoria dell'anno per poterlo rappresentare nella sua interezza, ma è necessario tenere in considerazione tutte le settimane dell'anno. Al fine di poter analizzare dei dati significativi dell'anno in esame, è stata effettuata la media dei valori di consumo giornalieri, per ogni giorno lavorativo (lunedì, martedì, mercoledì, giovedì e venerdì) e festivo (considerando solo il sabato e la domenica). Il risultato, riportato in figura

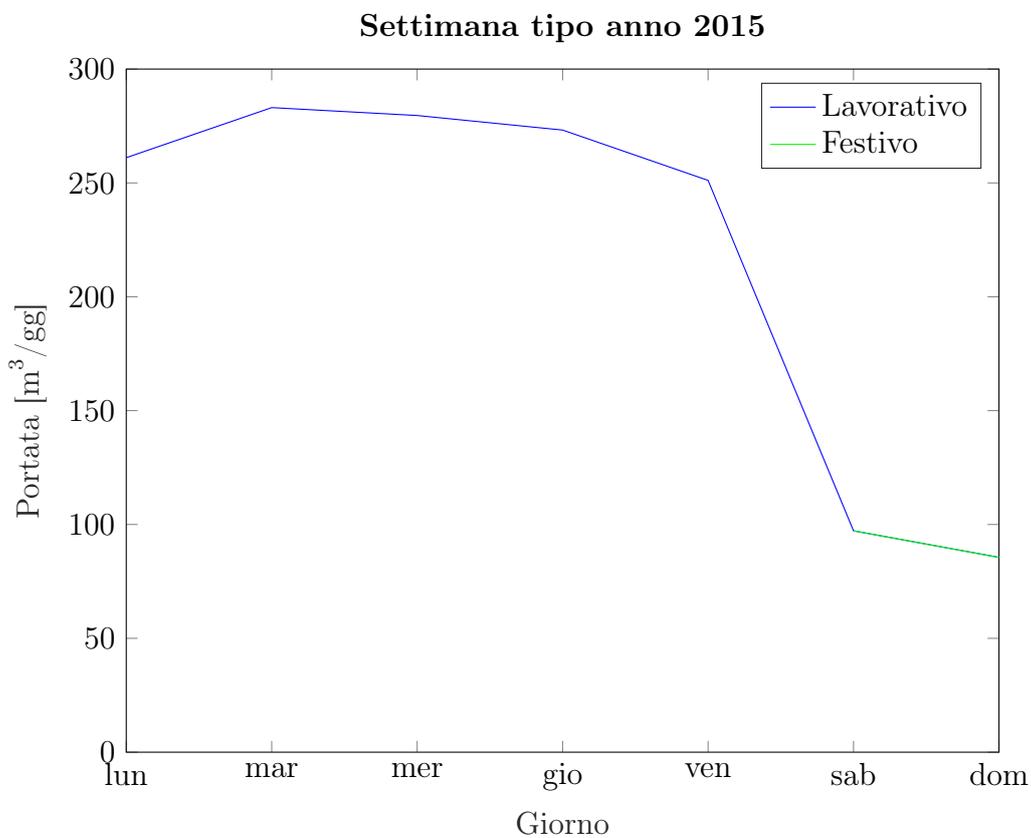


Figura 3.7: Andamento dei consumi nella settimana lavorativa tipo dell'anno 2015

3.7 e tabella 3.4, rappresenta la settimana lavorativa tipo dell'anno 2015. Da tale figura, risulta evidente come, in media, nei lunedì e nei venerdì si riscontrino dei valori di consumo leggermente inferiori rispetto agli altri giorni lavorativi. Questo risultato è spiegabile dal fatto che sono presenti nella struttura delle attività, come ad esempio i laboratori, che sono in funzione anche durante la notte e che vengono cessate il venerdì sera e riprese il lunedì mattina; questo causa un graduale aumento ed una graduale diminuzione dei consumi che si ripercuote sul totale giornaliero del

lunedì e del venerdì. Inoltre, il giorno lavorativo caratterizzato da un maggior prelievo di acqua, risulta essere il martedì.

Tabella 3.4: Consumi nella settimana lavorativa tipo dell'anno 2015

Settimana tipo anno 2015						
Lunedì (m ³)	Martedì (m ³)	Mercoledì (m ³)	Giovedì (m ³)	Venerdì (m ³)	Sabato (m ³)	Domenica (m ³)
261,08	283,07	279,60	273,21	251,11	97,21	85,56

Seguendo il processo di isolamento dei singoli mesi, si è potuta effettuare un'analisi più accurata per il mese di agosto, periodo di tempo nella quale si è riscontrata, come riportato in precedenza, un'anomalia nei valori di consumo. Si è già riportato come l'ausilio del calendario cronologico delle attività, abbia fornito delle informazioni tali da collocare il periodo considerato nella categoria di giorno festivo, in quanto non sono presenti né corsi d'insegnamento, né esami di profitto. L'andamento dei consumi viene riportato nella figura 3.8, dalla quale si nota, come il prelievo d'acqua non sia soggetto alla ripetizione vista in precedenza per il mese di ottobre, nonostante l'intero mese ricada in una sola categoria di giorno. In particolare, si

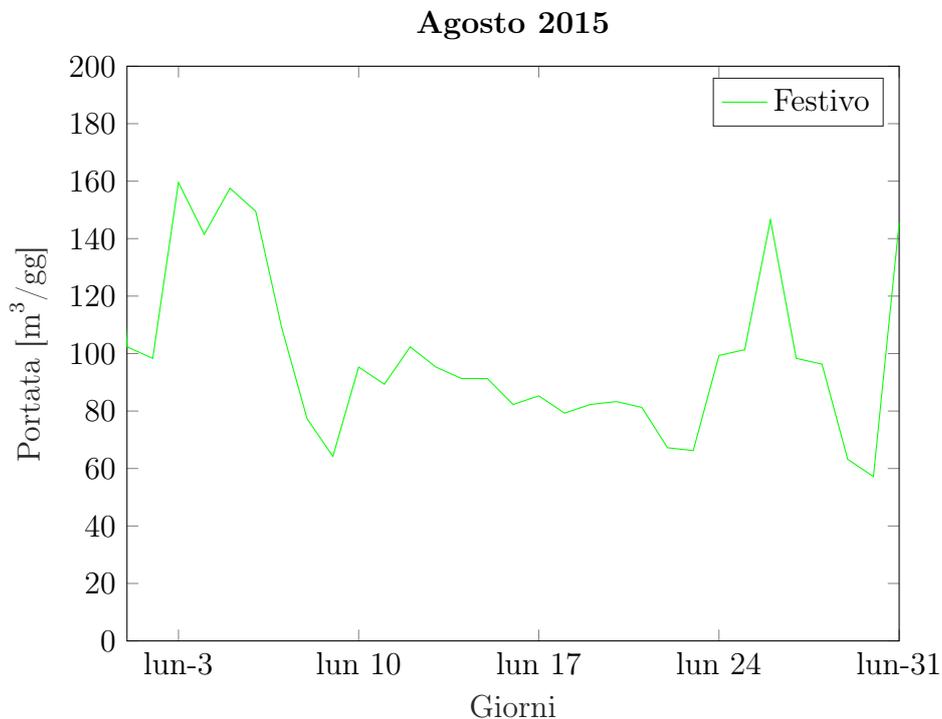


Figura 3.8: Andamento dei consumi nel mese di agosto dell'anno 2015

nota subito come nel mese di agosto la diminuzione di consumo risulta legata, nella parte alta del mese, ad una diminuzione delle attività presenti nella struttura, relative alla marcata riduzione della componente studenti, mentre tutte le altre risultano presenti ma, comunque, anch'esse in netta diminuzione. A seguire, nella parte centrale del mese, si registra una netta riduzione dei consumi che si mantiene all'incirca costante per due settimane per poi ritornare ai livelli di inizio mese, nella sua parte finale. La marcata riduzione dei consumi, della parte centrale del mese, è dovuta alle ferie che, nella settimana precedente e successiva di Ferragosto, coinvolgono la maggior parte delle utenze. Quest'ultimo fatto è riscontrabile, nel mese di agosto, per ogni anno dell'intervallo di dati a disposizione. Il suddetto risultato, è visibile nel *carpet plot* di figura 3.9, nella quale, sull'asse delle ascisse, viene riportato il numero corrispondente alla data del giorno, mentre, sulle ordinate, sono presenti i vari anni disponibili. Tramite il *carpet plot*, è possibile illustrare graficamente

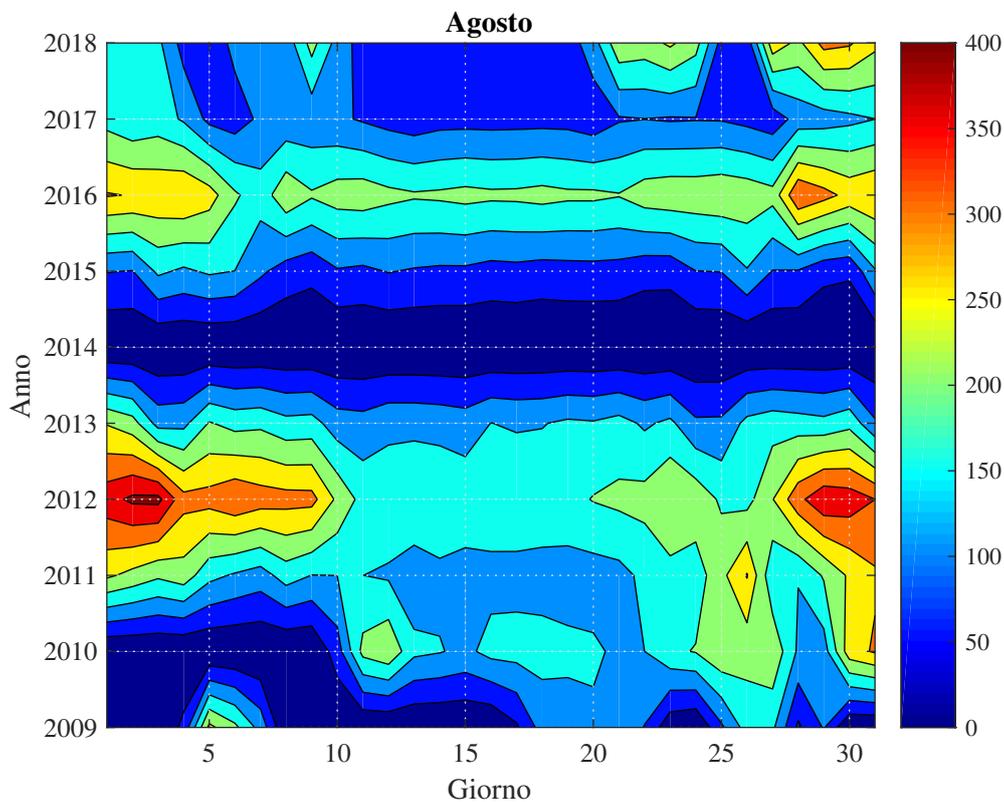


Figura 3.9: Andamento dei consumi nel mese di agosto dei vari anni

l'interazione tra 3 diverse variabili dipendenti che, nel caso in esame, sono la data, l'anno e il valore di consumo. Quest'ultimo, viene infatti rappresentato tramite un colore a cui viene assegnato il relativo valore. Nella lettura del *carpet plot*, bisogna tenere a mente che i giorni nei vari anni sono sfalsati, perciò bisogna fare attenzione nell'effettuare un confronto a parità di giorno sugli anni. Il confronto, è possibile

effettuarlo sull'intervallo di tempo corrispondente alle settimane adiacenti al 15 di agosto, periodo nella quale si verifica la sopraesposta riduzione. Inoltre, si ricorda come nell'anno 2014 i valori risultano essere totalmente nulli (vedasi la serie storica riportata in appendice A alla figura A.6).

Un'altra anomalia rilevata nel mese di agosto, riguarda i consumi nell'anno 2016, dove, anche durante le ferie di Ferragosto, si sono registrati dei valori di consumo superiori alla media, sintomo della presenza di un'intensa attività di qualche laboratorio, visto il ristretto numero di persone presenti nell'Ateneo.

come i valori di consumo risultino, in questa settimana, quasi costanti durante l'intera giornata.

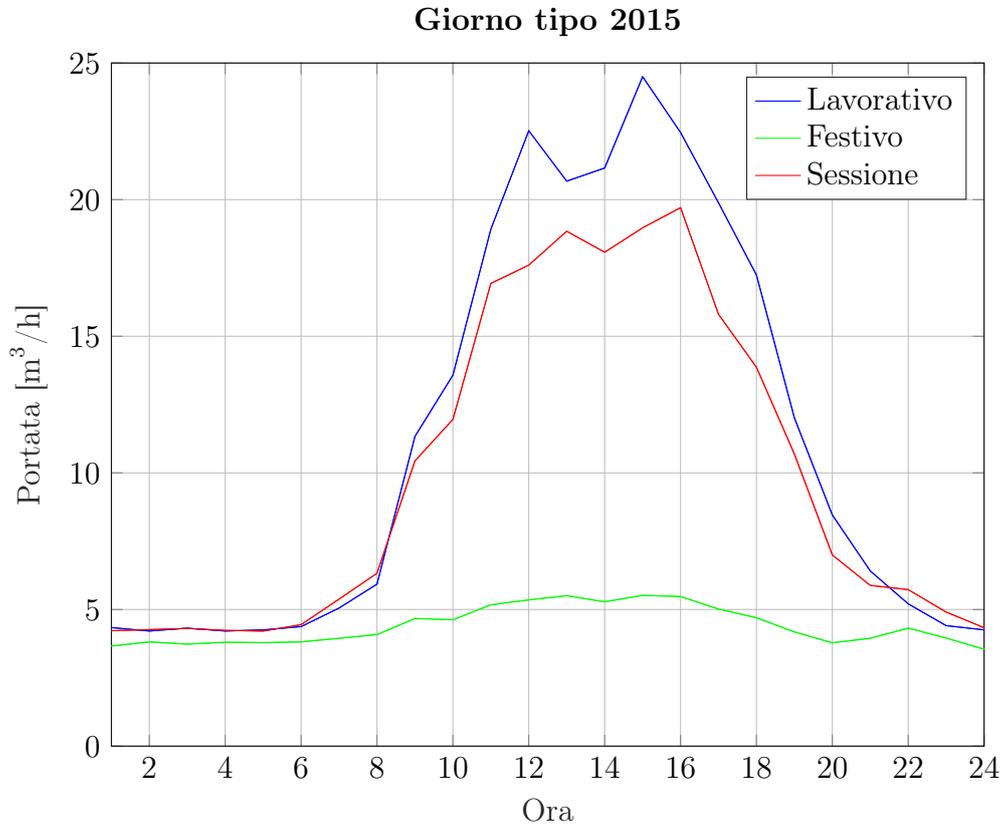


Figura 3.11: Andamento dei consumi nel giorno tipo dell'anno 2015

Dato che, anche in questo caso, ci si trova di fronte a delle giornate che, tra loro, variano lato valori di consumo, ma mantengono un andamento simile nel corso delle 24 ore, il passo successivo prevede, come nella sezione precedente, di effettuare l'operazione di media aritmetica sulle singole ore, per ogni tipologia di giorno. Quest'operazione, permette così di ricavare il giorno tipo, riportato in figura 3.11 con i relativi valori esplicitati nella tabella 3.5, per le tre tipologie di giornata.

Esaminando il giorno tipo lavorativo del 2015, si nota come i consumi si mantengano pressoché costanti durante le ore notturne, per poi aumentare notevolmente dalle ore 8, fino a raggiungere un primo valore massimo in corrispondenza delle ore 12, seguito da una leggera diminuzione per raggiungere, alle ore 15, il picco giornaliero di prelievo. Nelle ore successive, il grafico mostra come i consumi diminuiscano in maniera tanto rapida quanto sono aumentati durante la mattinata, fino a raggiungere il valore costante che caratterizza il prelievo notturno.

L'andamento della curva, durante il periodo della sessione esami di profitto,

Tabella 3.5: Valori orari di consumo nel giorno tipo dell'anno 2015

Ora	Lavorativo (m ³ /h)	Sessione (m ³ /h)	Festivo (m ³ /h)
1	4,34	4,22	3,66
2	4,21	4,26	3,81
3	4,32	4,31	3,73
4	4,21	4,24	3,80
5	4,25	4,21	3,79
6	4,37	4,45	3,81
7	5,05	5,38	3,95
8	5,93	6,33	4,08
9	11,33	10,44	4,67
10	13,57	11,96	4,62
11	18,92	16,93	5,17
12	22,52	17,60	5,35
13	20,68	18,84	5,51
14	21,16	18,08	5,28
15	24,50	18,97	5,52
16	22,46	19,71	5,48
17	19,88	15,80	5,02
18	17,24	13,87	4,70
19	12,01	10,69	4,18
20	8,46	7,00	3,78
21	6,41	5,88	3,95
22	5,21	5,73	4,32
23	4,41	4,91	3,95
24	4,25	4,33	3,55
Totale	269,70	238,11	105,68

risulta essere molto simile al giorno tipo lavorativo, anche se, i valori massimi, risultano inferiori ed entrambi traslati di un'ora in avanti. Inoltre, tali valori di picco, risultano essere molto più ravvicinati tra loro, rispetto alla precedente tipologia di giorno. Tramite la rappresentazione oraria dei prelievi, è possibile individuare l'arco di tempo in cui, i valori di consumo, durante la giornata lavorativa, differiscono da quella di sessione esami. In particolare, la differenza sul volume giornaliero, evidenziata nella tabella 3.3 di pagina 54, pari a 31,59 m³/gg, è circoscritta alle ore diurne, mentre, in quelle notturne, tale differenza, risulta pressoché nulla.

Si può quindi affermare che, la tipologia di giorno lavorativa e quella di sessione esami, sono molto simili tra loro dal punto di vista del pattern della giornata tipo,

con la differenza che i secondi sono caratterizzati da un volume giornaliero inferiore, a conferma del fatto che, in questa tipologia, le utenze di prelievo sono le stesse, seppure contraddistinte da una minore intensità nelle attività. Durante i giorni festivi invece, il consumo notturno risulta leggermente inferiore a quello delle altre due categorie, ma comunque comparabile, invece, il consumo diurno, presenta soltanto un leggero incremento, con l'assenza di netti valori di picco. In questi giorni, si registra, quindi, il livello minimo di attività svolte all'interno dell'Ateneo.

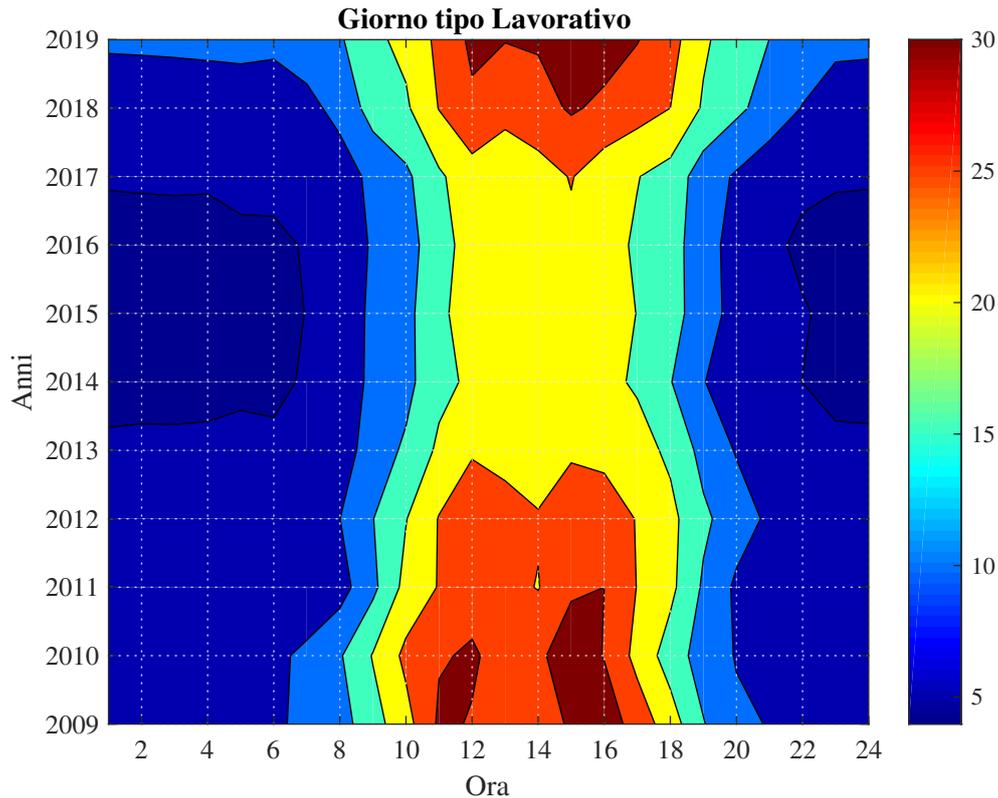


Figura 3.12: Andamento dei consumi nel giorno tipo lavorativo nei vari anni

Le considerazioni sopraesposte, possono essere estese anche agli altri anni analizzati nel presente elaborato di tesi. Per poter effettuare una rapida comparazione tra gli anni, si riportano in figura 3.12, 3.13 e 3.14 i carpet plot relativi rispettivamente alla tipologia di giorni lavorativi, sessione esami e festivi. I risultati per ogni anno in forma estesa sono riportati in appendice A, da figura A.12 a A.22 e dalla tabella A.1 a A.11.

Dai grafici, si nota chiaramente l'aumento di consumo nelle ore diurne, sia nei giorni lavorativi, che in quelli corrispondenti alle sessioni degli esami di profitto. Inoltre, sempre in tali tipologie, si può vedere la leggera differenza in termini di consumo, a favore della prima; il consumo notturno, invece, si mantiene pressoché identico.

Durante i giorni festivi, si nota come il consumo subisca generalmente un leggero aumento dalle ore 8, per mantenersi all'incirca costante su tali valori e successivamente diminuire, fino a tendere al valore notturno verso le ore 19-20, a seconda dell'anno.

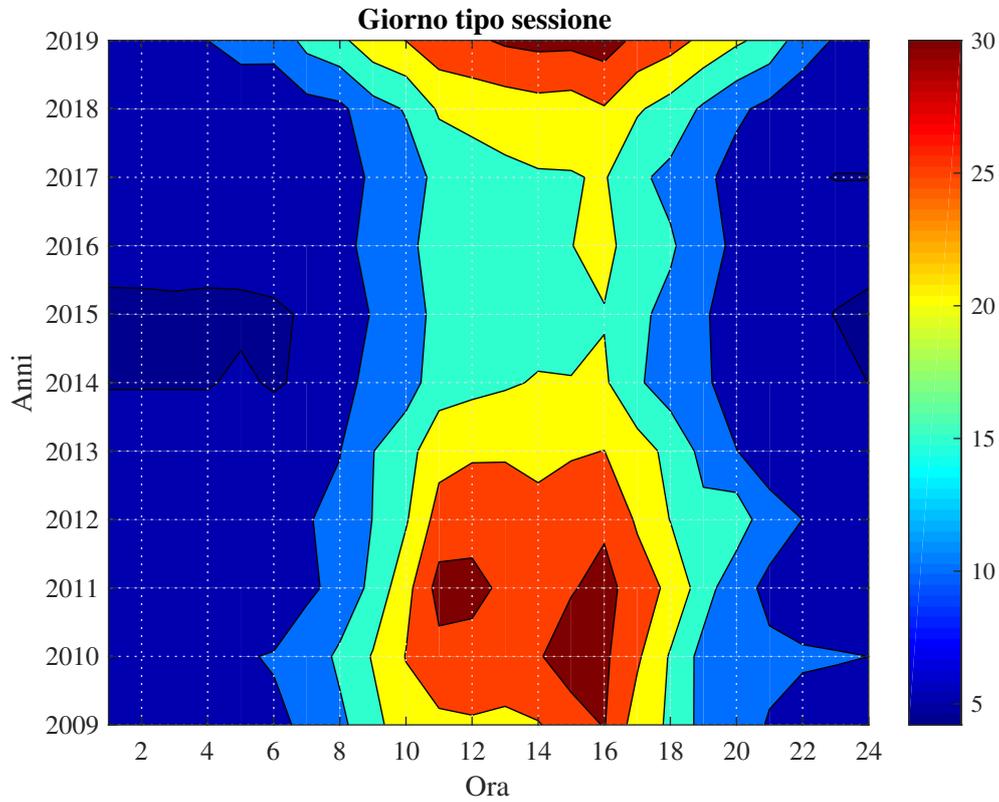


Figura 3.13: Andamento dei consumi nel giorno tipo sessione nei vari anni

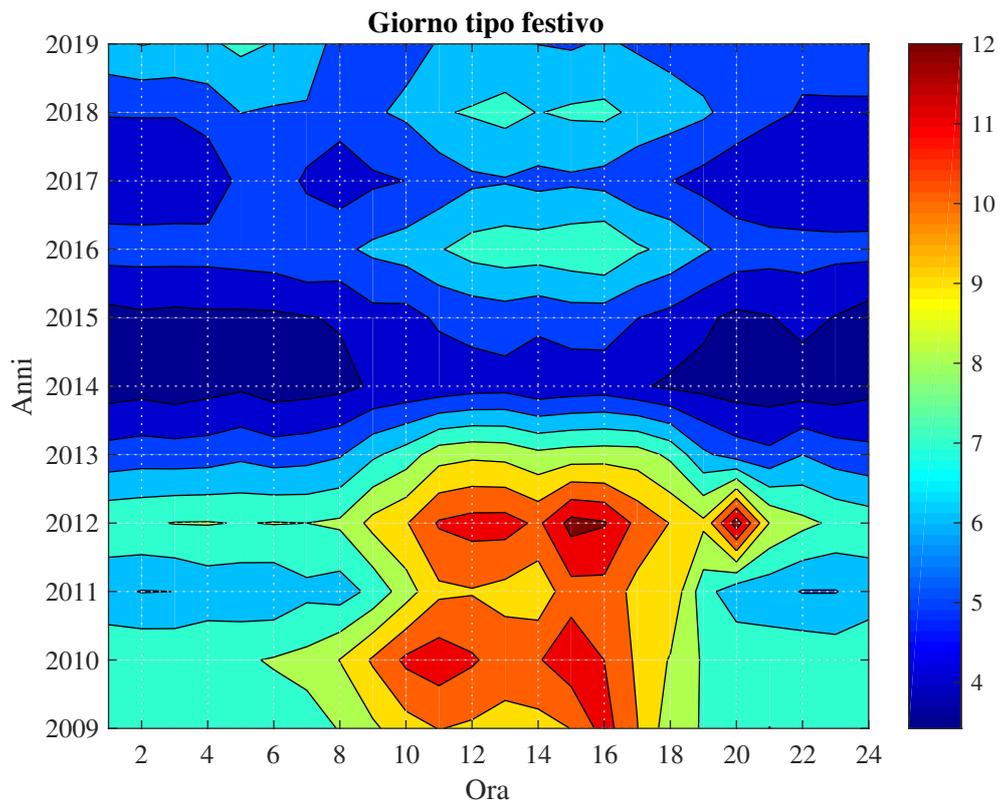


Figura 3.14: Andamento dei consumi nel giorno tipo festivo nei vari anni

3.1.6 Divisione tra consumo diurno e notturno

Nelle sezioni precedenti, si è visto come il consumo idrico subisca delle variazioni di giorno in giorno. Oltre che, tramite il consumo orario, è possibile caratterizzare le fluttuazioni di prelievo giornaliero effettuando la distinzione tra consumo diurno e notturno. In questo modo è possibile definire il momento in cui avviene tale oscillazione a scala giornaliera. Osservando la figura 3.11 rappresentante il giorno tipo, si nota come il consumo subisca un rapido aumento dalle ore 8 e decresca con la medesima rapidità fino alle ore 20. In questo intervallo di tempo, si può inoltre identificare l'orario lavorativo della maggior parte delle utenze. In particolare, l'afflusso degli studenti nella struttura può essere considerato alle ore 8 dato che, le prime lezioni della giornata iniziano alle ore 8:30, per terminare, generalmente, alle 19:00. Come si può notare, il consumo inizia a crescere già prima delle 8, a causa della presenza nella struttura di altre utenze quali, ad esempio, le attività di laboratorio o l'apertura dei bar nonché i servizi di pulizia delle aree interne alla struttura. Lo stesso discorso risulta valido anche per le ore serali di decrescita del consumo.

Si individuano quindi, le due fasce di orario:

- *diurno*: l'intervallo di tempo che inizia alle ore 8:00 e termina alle 20:00;
- *notturno*: dalle ore 20:00 alle ore 8:00.

La divisione, è frutto di una distinzione, oltre che di orario, anche di tipologia di utenze interessate. In particolare, nella prima si evidenzia la presenza di tutte le utenze coinvolte nel prelievo idrico, mentre la seconda è caratterizzata da un consumo perlopiù costante durante l'arco notturno. Senza tenere in considerazione le perdite interne alla rete, questo consumo può essere attribuito, come evidenziato nella sezione 3.2, al prelievo dei laboratori.

Per rappresentare la differenza tra i consumi diurni e notturni, si è scelto di effettuare la media aritmetica sui valori orari, riferiti allo stesso giorno, delle due fasce sopracitate. In questo modo, vengono eliminate le fluttuazioni orarie di consumo, permettendo la rappresentazione sullo steso grafico sia del consumo medio orario, notturno e diurno, relativo allo stesso giorno, che della serie storica riferita al medesimo anno. Utilizzando sempre il 2015 come anno di riferimento, si riportano nelle figure 3.15, 3.16 e 3.17, i risultati ottenuti mediante la suddetta operazione di media suddivisi per tipologia di giorno, mentre, nella tabella 3.6, si esplicitano i valori medi, notturni e diurni, per le tipologie di giorno lavorativo, sessione e festivo.

Si introduce quindi il concetto di *consumo di base*, ovvero il fabbisogno in un intervallo di tempo, espresso come prelievo idrico, necessario a garantire le funzionalità di base della struttura. Il consumo di base, può anche essere visto come la portata, ristretta all'arco di tempo giornaliero, sotto la quale non si scende mai. Come si nota dalla figura 3.11 rappresentante il giorno tipo, la portata minima

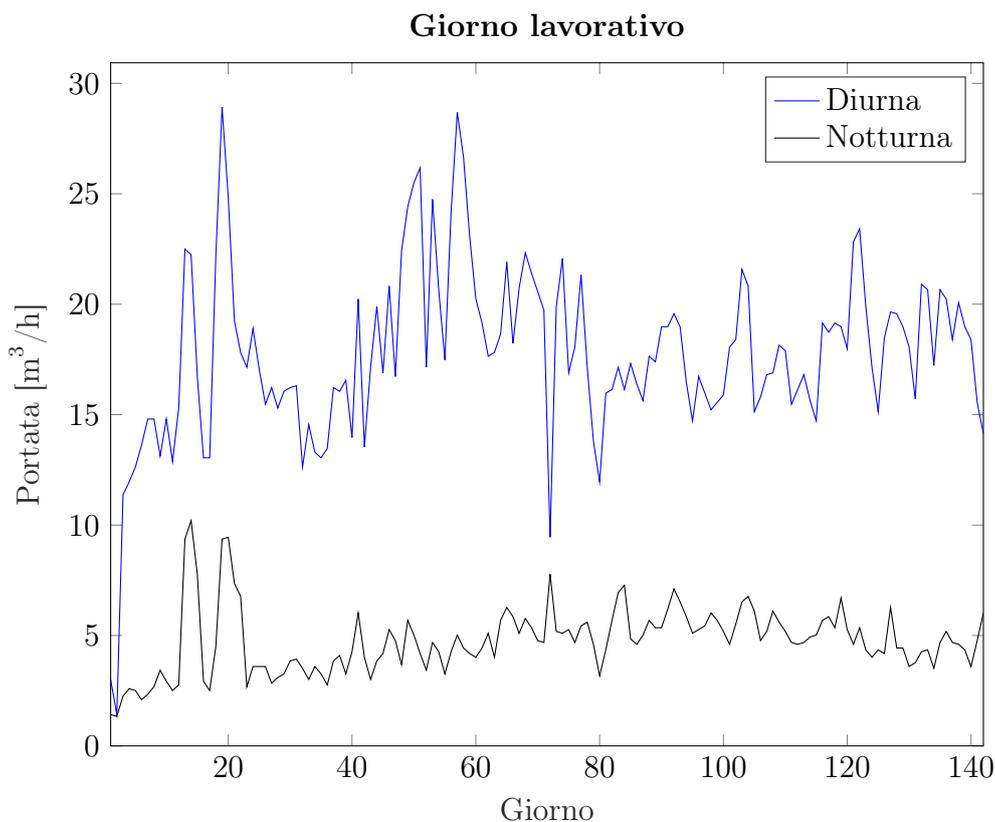


Figura 3.15: Consumi diurni e notturni nell'anno 2015 - Lavorativo

Tabella 3.6: Valori medi di prelievo suddivisi per tipologia di giorno

Anno	Lavorativo		Sessione		Festivo	
	Diurno (m ³ /h)	Notturmo (m ³ /h)	Diurno (m ³ /h)	Notturmo (m ³ /h)	Diurno (m ³ /h)	Notturmo (m ³ /h)
2015	17,73	4,75	14,99	4,85	4,93	3,87

viene raggiunta durante la notte con la conseguenza che ad ogni valore diverso dal minimo, equivale una variazione nelle attività connesse al consumo idrico da parte di una o più utenze interessate. Dato che, le variazioni di portata durante l'orario notturno risultano essere molto limitate, si utilizzerà, come valore del consumo di base giornaliero, la media aritmetica del prelievo notturno.

Effettuata questa premessa, la lettura delle figure sopraelencate deve essere svolta analizzando, quindi, la differenza tra la portata diurna e quella notturna, essendo la seconda definita come il consumo di base e, di conseguenza, sempre presente durante l'intervallo di tempo considerato, cioè le 24 ore. Si nota, quindi, come possano

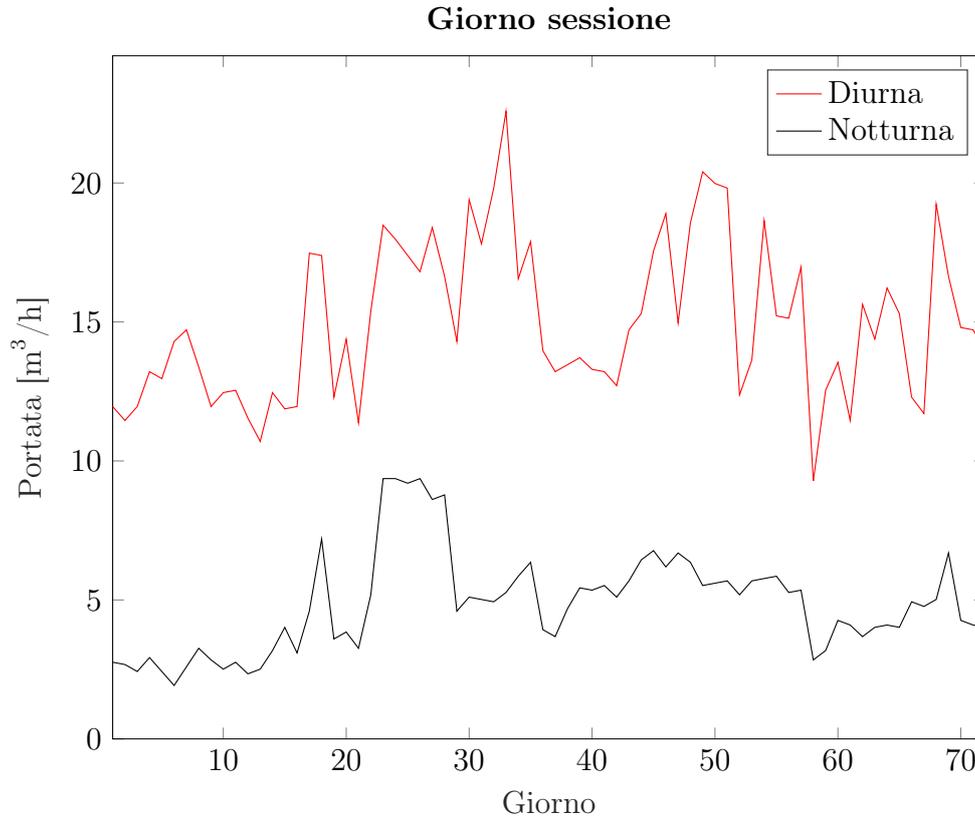


Figura 3.16: Consumi diurni e notturni nell'anno 2015 - Sessione esami

verificarsi differenti situazioni di consumo, deducibili in base alla differenza tra la portata diurna e quella notturna.

Nei giorni lavorativi e di sessione esami, la situazione più frequente è quella in cui il consumo di base giornaliero mantiene un andamento all'incirca costante, mentre, negli stessi giorni, la differenza tra prelievo diurno e notturno varia a rappresentare quindi una fluttuazione di consumo delle sole attività diurne. Una variazione nell'intensità delle attività notturne, si presenta nel momento in cui il consumo di base aumenta, o diminuisce, ma allo stesso tempo la differenza tra prelievo diurno e notturno rimane costante. Ciò significa che la variazione notturna si ripercuote sull'andamento diurno nella medesima quantità; in questo caso si è davanti ad un'attività continuativa nella giornata, caratterizzata da un prelievo costante. Infine, un'altra tipologia di situazione, si presenta nel momento in cui, ad un aumento diurno, segue un innalzamento del profilo notturno, ma con valore ridotto; questo è il caso di un'attività sempre presente nell'arco delle 24 ore che varia di intensità a seconda della fascia di orario.

Durante i giorni festivi, la situazione più comune, avviene quando la differenza tra prelievi diurni e notturni risulta molto bassa ed in linea con i valori medi,

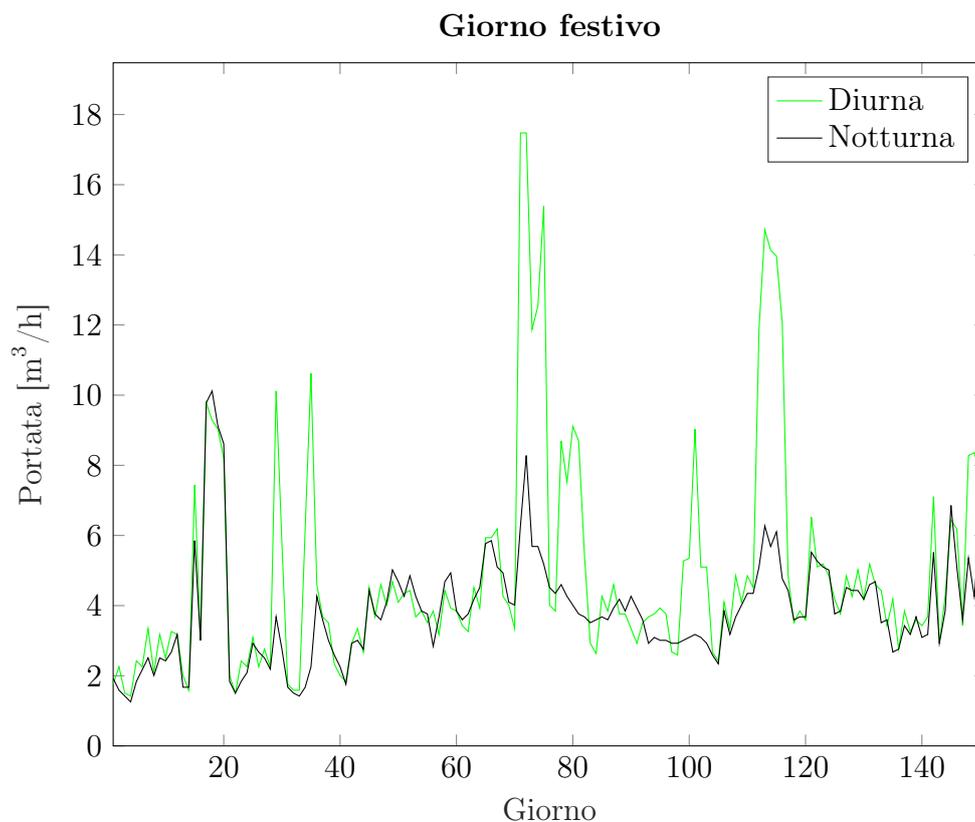


Figura 3.17: Consumi diurni e notturni nell'anno 2015 - Festivo

a rappresentare la presenza del consumo di base durante tutto il giorno; questo indica un livello molto basso, o quasi nullo, di attività. Quando invece, nonostante la differenza risulti quasi nulla, come nel caso precedente, ma i valori si discostano in maniera significativa da quello medio, se ne deduce la presenza di una o più attività, costanti in prelievo, su tutta la giornata. Infine, anche nella tipologia di giorno festiva, si rileva il caso di un aumento delle sole attività diurne, evidenziato da alte differenze tra i consumi nelle due fasce orarie.

Per ulteriori approfondimenti circa i profili diurni e notturni riguardanti gli altri anni analizzati, si faccia riferimento alle figure da A.23 a A.55 riportate in appendice A. Infine, si riportano in tabella 3.7 tutti i valori medi di consumo, divisi per tipologia di giorno e per fasce orarie, del periodo analizzato nel presente elaborato di tesi.

Tabella 3.7: Valori medi di prelievo suddivisi per tipologia di giorno

Anno	Lavorativo		Sessione		Festivo	
	Diurno (m ³ /h)	Notturno (m ³ /h)	Diurno (m ³ /h)	Notturno (m ³ /h)	Diurno (m ³ /h)	Notturno (m ³ /h)
2009	24,39	9,70	21,02	9,68	9,24	7,19
2010	24,24	9,56	24,31	10,67	10,21	7,95
2011	22,45	6,32	24,94	8,71	8,69	5,80
2012	22,58	8,51	22,99	9,31	10,71	7,80
2013	19,17	5,89	20,22	8,00	7,83	5,56
2014	16,17	4,78	15,47	5,57	4,17	3,59
2015	17,73	4,75	14,99	4,85	4,93	3,87
2016	17,30	4,45	16,21	6,63	6,91	5,49
2017	18,25	5,80	15,40	5,83	5,28	4,48
2018	24,31	7,88	18,97	7,06	6,64	5,30
2019	26,44	12,38	27,66	12,11	5,86	6,25

3.1.7 Dotazioni

Per *dotazione idrica*, si intende la quantità di acqua assegnata ad un abitante per soddisfare il suo fabbisogno idro-potabile. Occorre inoltre, effettuare la distinzione tra il fabbisogno ed il consumo idrico. Il primo, rappresenta il volume di acqua (espresso in l/ab giorno) necessario al soddisfacimento del bisogno idrico di una singola utenza; mentre il secondo è il volume di acqua effettivamente consumato da una singola utenza e che viene restituito nell'ambiente dopo aver subito una degradazione qualitativa. Nei centri abitati in cui non è soddisfatta la domanda idrica, i consumi risulteranno minori dei fabbisogni, mentre, in quelli in cui vi è abbondanza di risorsa idrica, i consumi saranno superiori al fabbisogno reale. Nel caso del Politecnico di Torino, i dati a disposizione risultano essere quelli reali di consumo, essendo gli stessi rilevati al collegamento con la rete di distribuzione dell'acquedotto. Per dotazione idrica, nel caso in esame, si intenderà quindi la stima del consumo giornaliero effettivo riferito ad uno studente. Pertanto, non essendo disponibili dei valori di consumo relativi soltanto al soddisfacimento del fabbisogno degli studenti, la determinazione della dotazione sarà quindi risultato di una stima, essendo soggetta a delle ipotesi di suddivisione in merito all'utilizzo della risorsa idrica. Con la voce fabbisogno degli studenti, si vuole indicare l'inseme degli utilizzi di acqua relativi ai servizi igienici, alle mense ed ai servizi ausiliari, mentre vengono esclusi gli utilizzi di laboratorio, in quanto non direttamente correlati alle necessità degli studenti.

Per poter effettuare il calcolo delle dotazioni idriche occorre, quindi, conoscere il numero degli studenti presenti nelle varie ore della giornata e la quantità di acqua da essi utilizzata. I dati a disposizione, rappresentano il numero di studenti occupanti le aule della sola Sede Centrale, durante le varie lezioni, rilevati durante una settimana lavorativa, per ogni periodo didattico a partire dal secondo dell'anno 2013 fino al primo periodo del 2019. Gli anni precedenti, sono quindi esclusi dalle successive analisi. Anche questi valori che verranno utilizzati nel calcolo delle dotazioni, risultano essere una semplificazione in quanto non si è tenuto conto della presenza del personale del Politecnico (ad esempio docenti, dottorandi, impiegati ecc...) e di tutti quegli studenti che risultano comunque presenti nella struttura, anche se non assegnati ad una lezione durante una generica ora. Essendo le stime, in merito alla presenza relativa a tali categorie di persone, soggette ad una forte incertezza, si è preferito escluderle dal conteggio.

Per la definizione della quota parte di consumo da attribuire agli studenti, si è dovuto andare a scorporare l'utilizzo da parte dei laboratori dal volume totale. A questi ultimi, è stato assegnato, non avendo informazioni più precise in merito al consumo delle varie utenze, un valore arbitrario di prelievo, di tipo costante, lungo tutta la giornata. Il valore di prelievo da parte dei laboratori, è stato assunto pari al consumo di base giornaliero. Questa ipotesi nasce dalla necessità di individuare un momento della giornata in cui gli studenti siano assenti; ne consegue, quindi,

l'individuazione della fascia di orario notturna quale la più adatta per la stima del consumo da attribuire ai laboratori. Si ricorda che, il consumo di base giornaliero, viene calcolato come la media aritmetica del consumo orario nella fascia notturna. Per distinguere, quindi, il consumo da parte di tutte le utenze da quello scorporato del valore attribuito ai laboratori, quando ci si riferirà a quest'ultimi si parlerà di *consumo netto*, come quello attribuito alla componente studenti. Si segnala inoltre che, l'ipotesi di mantenere il valore di consumo assegnato ai laboratori costante lungo la giornata, risulta essere una forte semplificazione del problema in quanto, il loro utilizzo è sicuramente variabile durante la giornata.

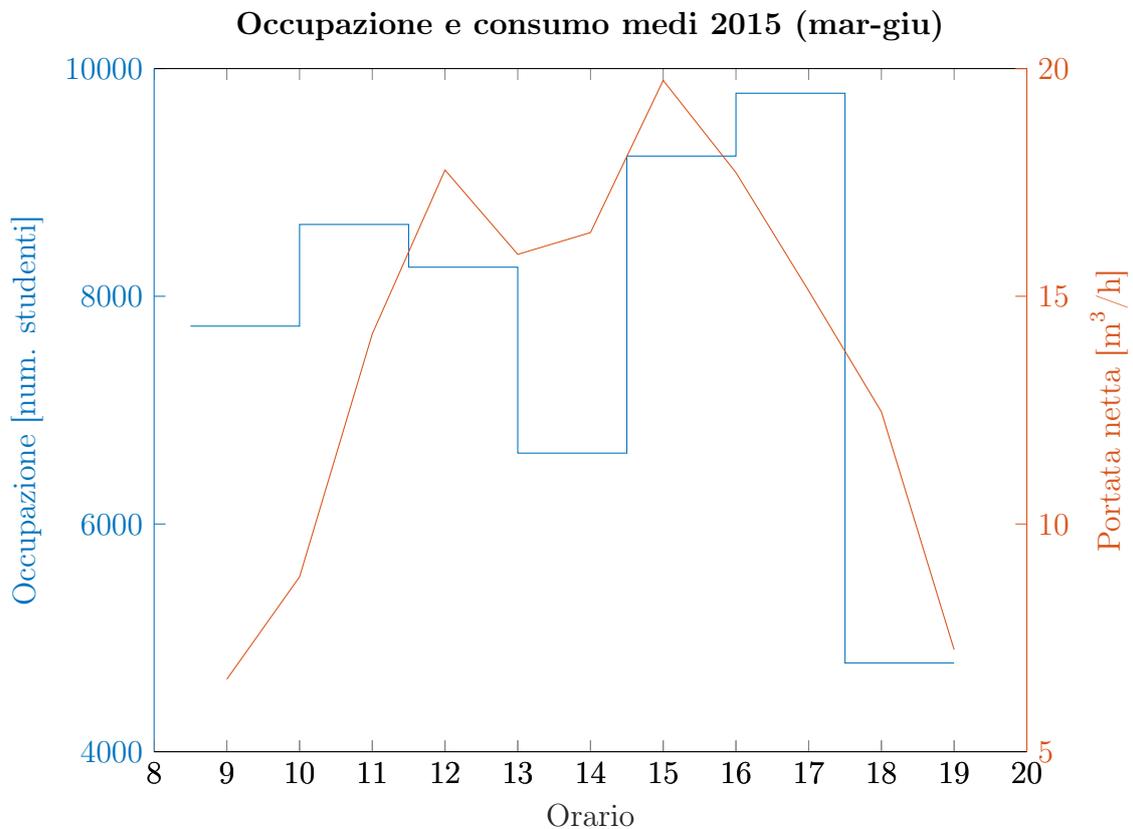


Figura 3.18: Andamento dell'occupazione e del consumo - Anno 2015

Utilizzando sempre come anno di riferimento il 2015, si riportano in figura 3.18 e 3.19, sull'asse delle ascisse, l'orario del giorno e, sulle ordinate di sinistra, il numero di occupazione degli studenti mediato nei giorni a parità di orario, mentre, su quelle di destra, vengono riportati i consumi orari, anch'essi mediati lungo la settimana. Per il calcolo del consumo netto orario, sono stati tenuti conto soltanto i giorni di tipo lavorativo dell'anno in esame, quindi coincidente con il giorno tipo a cui si sono sottratti i valori del consumo di base.

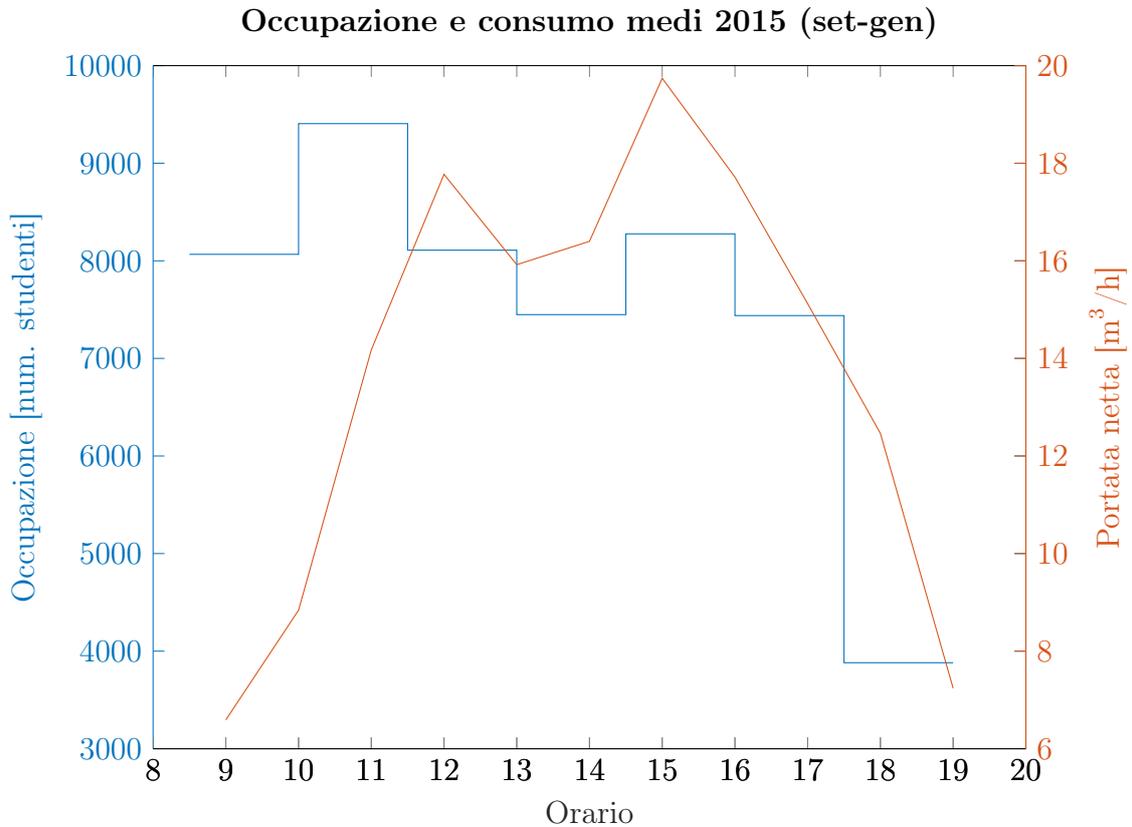


Figura 3.19: Andamento dell'occupazione e del consumo - Anno 2015

Dai grafici, si può notare come l'andamento dell'occupazione delle aule non segue un andamento ben definito, ma risulta perlopiù casuale. Dall'analisi condotta su tutti gli anni a disposizione, visibili in appendice A dalla figura A.56 a A.67, si notano delle caratteristiche comuni per tutti gli anni quali la diminuzione, più o meno marcata, nella fascia 13:00 - 14:30 e la netta diminuzione nell'ultimo blocco di lezioni, ovvero dalle 17:30 alle 19:00. A livello di analisi, non ci si spinge oltre che al calcolo delle dotazioni, in quanto, anche se sembrerebbe esserci una leggera correlazione tra il profilo di occupazione e dei consumi netti, le conclusioni così ottenute si porterebbero dietro una serie di approssimazioni e di ipotesi che non possono essere trascurate, in quanto forti semplificazioni del problema in esame.

Il calcolo della dotazione d , come da equazione (3.1), viene effettuato rapportando il volume di consumo netto $Q_{h,i}$ con l'occupazione degli studenti $S_{h,i}$, entrambi riferiti all' i -esima ora del giorno.

$$d_i = \frac{Q_{h,i}}{S_{h,i}} \quad (3.1)$$

Da segnalare che, nei casi in cui il calcolo della dotazione coincida con il cambio

dell'occupazione delle aule, viene adottato il valore di presenza relativo a quell'ora più un minuto, ad esempio, alle ore 13:00 in cui si ha una variazione del numero di studenti, viene utilizzato per il calcolo della dotazione il valore registrato alle 13:01.

Il risultato del suddetto calcolo viene riportato graficamente nelle figure 3.20 e 3.21, nonché riassunti in tabella 3.8. Da essi, si evince come, la variazione della dotazione oraria, sia influenzata sia dal consumo, che dal numero di studenti presenti. In particolare, si nota come nelle prime ore della mattina sia già presente un cospicuo numero di studenti, in linea con la media, a fronte di un consumo ancora molto basso. Nelle ore successive, si assiste ad una netta risalita dei consumi che comporta un aumento del valore di dotazione; a seguire, invece, si rileva una graduale diminuzione alle ore 17:00, per poi raggiungere valori prossimi al massimo (o addirittura il massimo stesso) alle ore 18:00, seguito alle 19:00 da una netta diminuzione. Alle ore 18:00, la componente che più influenza il valore di dotazione, è certamente il numero degli occupanti, in quanto subisce una notevole riduzione, mentre il consumo, pur essendo in fase discendente, rimane tuttavia su valori elevati. Si noti inoltre che, il valore massimo giornaliero, non si rileva in corrispondenza del valore massimo di consumo, intorno alle ore 15:00, ma può trovarsi in un'ora qualsiasi dopo l'ora di pranzo. Da queste conclusioni, si rileva quindi una risposta più lenta da parte dei consumi, che non crescono e non diminuiscono tanto velocemente quanto il numero di studenti.

Nella figura 3.22, si riportano i valori di dotazione medi per ogni periodo didattico in cui sono disponibili i dati di presenza. Si nota come, dopo il secondo periodo didattico del 2013, il valore di dotazione sia calato drasticamente per poi risalire nel secondo periodo didattico del 2018 e attestarsi su valori prossimi nel 2019. Essendo i valori di presenza comparabili tra gli anni, la componente dominante risulta essere il valore di prelievo della risorsa idrica. Si noti che, il calcolo della dotazione, è stato effettuato scorporando la componente di consumo notturno medio, quindi, un aumento del consumo nella fascia notturna, non giustifica un aumento della dotazione, in quanto calcolata sul valore netto. La causa dell'aumento della dotazione, è da ricercarsi nella differenza tra i valori diurni e notturni, riportati in appendice A, figura A.50 e A.53, dove si vede chiaramente che tale differenza, se paragonata con gli anni precedenti, subisce un notevole aumento nei mesi finali del 2018 e nei primi del 2019. La presenza di una nuova attività che prevede una maggiore richiesta di acqua comporta, non solo un aumento di consumo nella fascia diurna, ma anche un suo incremento, di minore entità, in quella notturna.

Si noti, come i valori di dotazione siano molto inferiori rispetto ai valori di consumo medi, descritti nella sezione 1.4, riguardanti il consumo idrico di un edificio destinato ad abitazione civile. Il motivo, è che nelle abitazioni sono presenti dei servizi differenti rispetto a quelli di una struttura universitaria. In particolare, il consumo, definito come netto, nell'università tiene conto principalmente dell'utilizzo dei servizi igienici e, in minima parte, del consumo per la preparazione dei pasti e bevande presso i bar, nonché dei servizi ausiliari. Queste ultime due voci,

Tabella 3.8: Valori di dotazione nei periodi didattici - Anno 2015

Orario	Dotazione (l/h/studente)										
	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1 PD	0,82	0,94	1,51	2,19	2,14	2,20	2,39	2,38	2,03	3,21	1,87
2 PD	0,85	1,02	1,64	2,15	2,40	2,48	2,14	1,81	1,55	2,61	1,51

risultano comunque molto esigue rispetto al totale del consumo orario netto. L'unico consumo comparabile con le abitazioni ad uso civile, risulta essere, appunto, soltanto quello relativo ai servizi igienici. Come si è già descritto, tale componente costituisce soltanto il 30% del consumo totale di un'abitazione. Considerando il valore medio di dotazione su tutti i due periodi dell'anno 2015, pari a 1,90 l/h, per un volume giornaliero, calcolato sulla fascia diurna costituita da 12 ore, di 22,82 l. Questo valore, risulta inferiore ai circa 66 l, stimati per il consumo dei servizi igienici all'interno delle mura domestiche. La differenza tra i due valori, può essere interpretata, andando a considerare il consumo che si otterrebbe calcolando il volume sulle 24 ore, anziché sulle 12, ovvero 45,64 l, che più si avvicina alle stime della sezione 1.4.

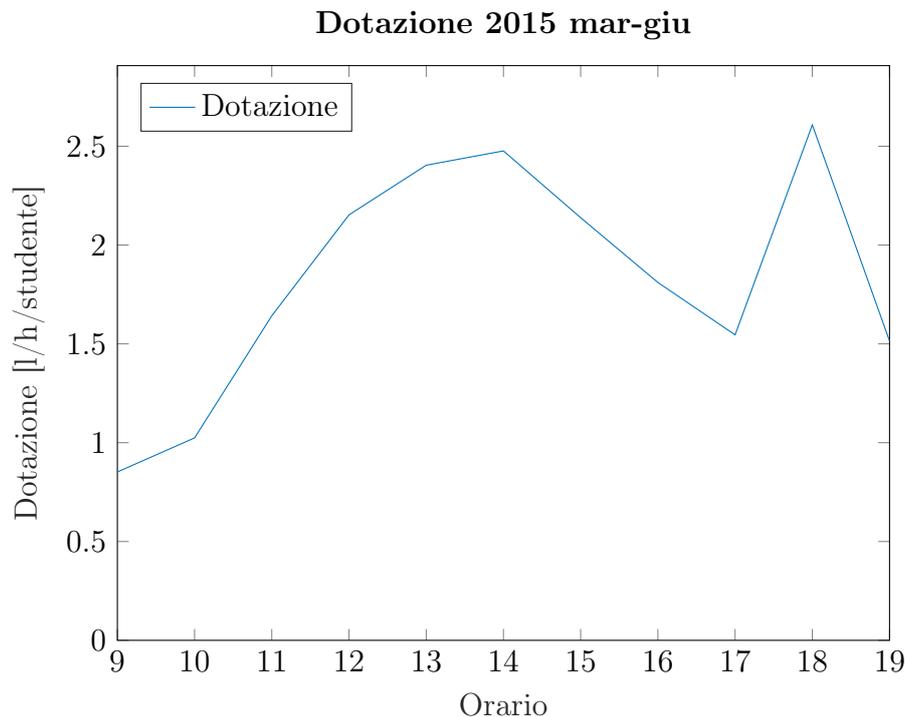


Figura 3.20: Andamento della dotazione idrica - Anno 2015

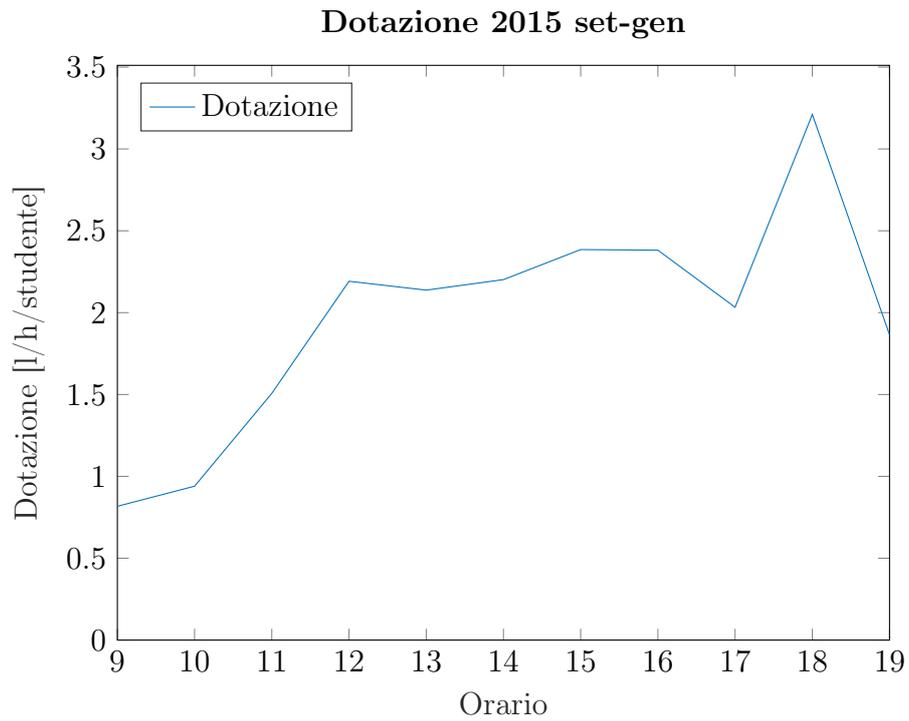


Figura 3.21: Andamento della dotazione idrica - Anno 2015

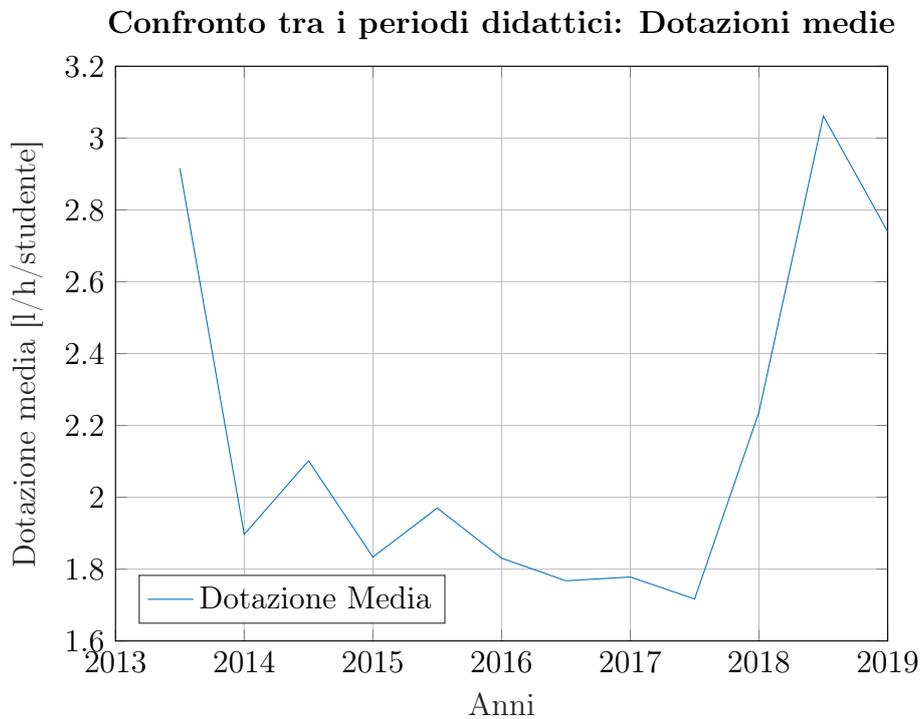


Figura 3.22: Andamento della dotazione idrica - Periodo 2013 - 2019

3.1.8 Coefficienti di punta

Nella sezione 3.1.7, si è descritto il procedimento per il calcolo del valore di dotazione pro capite, assegnato agli studenti, cioè la rappresentazione del consumo medio. In questa sezione, invece, si vogliono descrivere, attraverso dei parametri, gli scostamenti dal valore medio, riferiti alle diverse scale temporali. In particolare, i parametri che sono stati utilizzati per descrivere l'oscillazione intorno al valore medio, sono i coefficienti di punta. Quest'ultimi sono dei moltiplicatori adimensionali, attraverso il quale si possono calcolare le portate massime, ad una certa scala temporale, effettuando il prodotto tra il coefficiente di punta e la portata media annua.

Nel caso in esame del Politecnico di Torino, avendo a disposizione i dati effettivi di consumo ed essendo quindi note in ogni momento sia le portate massime che quelle medie, si effettua il calcolo dei coefficienti di punta al fine di fornire i valori per un confronto con quelli reperibili in letteratura.

Si definisce, quindi, il coefficiente di punta mensile $K_{m;i}$, in equazione 3.2, come il rapporto tra la portata media mensile, riferita all'*i-esimo* mese, e la portata media annua Q_{MA} .

$$K_{m;i} = \frac{Q_{m;i}}{Q_{MA}} \quad (3.2)$$

Particolare attenzione nella lettura dei risultati, riportati in tabella 3.9, va posta

Tabella 3.9: Valori dei coefficienti di punta $K_{m,i}$

Mese	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
2009*	0,00*	0,00*	0,00*	0,91*	1,03*	1,02	1,06*	0,41*	0,63*	0,73*	1,26	1,29
2010	0,94	0,90"	1,05	0,94	1,03	1,15	1,21"	0,57"	0,96	1,14	1,18	0,85
2011	0,99	1,41	1,38	1,10	1,18	1,29	1,07	0,63	0,91	0,71"	0,65	0,42"
2012	0,12*	0,56*	0,83	0,74	1,05	1,04	1,15	0,87	1,22	1,39	1,05	1,02
2013	1,12	0,92	0,89	0,97	1,11	1,01	1,63	0,64	1,05	0,83*	0,99"	0,74
2014*	0,97"	1,08"	0,00*	0,00*	0,04*	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*	1,16	1,14	0,76
2015	0,68	1,06	1,10	0,97	1,19	1,05	1,14	0,50	1,00	1,17	1,13	1,02
2016	0,71	0,78*	0,86	0,89	0,98	0,93	1,47	1,13	1,09	1,02	1,10	0,88
2017	0,74	0,92	1,03	0,76	1,03	1,07	1,11	0,50	1,06	1,25	1,45	1,06
2018	0,74	0,80	0,86	0,87	0,95	0,97	0,97	0,58	1,09	1,77*	1,64	1,20
2019	1,16	1,34	1,32"	0,80	0,89	0,80	0,72	-	-	-	-	-

* Periodo con meno del 60% dei dati disponibili.

" Periodo con una percentuale di dati disponibili tra 60% e 80%.

nella loro procedura di calcolo. Infatti, come già evidenziato nelle sezioni precedenti, i valori restituiti dal sistema di monitoraggio, in certi periodi, sono risultati nulli. Per uniformità con le sezioni precedenti, in cui i valori nulli sono stati trascurati nelle

operazioni di calcolo, e al fine di conferire il maggiore grado possibile di affidabilità sui risultati, anche in questo caso i dati nulli sono stati esclusi dalle operazioni di calcolo delle medie aritmetiche, considerando soltanto i valori diversi da zero. Per questo motivo, si è inoltre deciso di limitare l'incertezza sui dati, imponendo una soglia sotto la quale il dato non viene considerato come affidabile ed un intervallo nella quale il dato possiede un'affidabilità media, in quanto il campione di dati non rappresenta l'intera popolazione. In particolare, il limite inferiore per la verifica sulla bontà dei dati è stata eseguita imponendo che, per almeno il 60% dei giorni nel mese considerato, sia disponibile il valore di portata. Il secondo limite, è stato fissato pari all'80%, formando così l'intervallo di affidabilità media tra 60% e 80%. Nei casi in cui il limite inferiore non venga rispettato, il valore calcolato viene segnalato tramite il simbolo (*), mentre nel secondo caso con ("). Le soglie, sono stata calcolate sia sui singoli mesi, che sull'intero anno in esame.

Osservando i risultati, si vuole evidenziare come, nonostante in alcuni anni siano disponibili i dati per ogni giorno e ora dell'anno (ad esempio il 2015), se si effettua la media aritmetica sui coefficienti di punta mensili di un singolo anno, risultano essere diversi da 1. Il motivo, risiede nel fatto che le portate mensili $Q_{m,i}$ sono il risultato dell'operazione di media aritmetica eseguita su mesi aventi un numero totale di giorni tra loro differente, quindi il campione di dati soggetto a media non rimane costante in numero, ma varia a seconda del mese considerato. Inoltre, in alcuni mesi, il numero totale di giorni viene diminuito a causa della presenza dei sopra descritti valori nulli, che vengono esclusi da tale calcolo.

Dall'analisi della tabella 3.9, si nota come, a parità di mese, i valori del coefficiente mensile non siano costanti negli anni. Questo, conferma ancora una volta l'alta variabilità presente nei valori di consumo di una struttura di tipo universitario. A questo si aggiunge il fatto che nemmeno il coefficiente di punta massimo mensile K_m , si ritrova nello stesso mese, ma varia a seconda dell'anno, come visibile in tabella 3.10 nella quale vengono considerati solo i valori caratterizzati da un'affidabilità di livello medio o superiore. Si evidenziano inoltre, i limiti inferiore e superiore relativi ai valori del coefficiente di punta mensile massimo, pari rispettivamente a 1,16 e 1,64.

Per quanto riguarda il coefficiente di punta giornaliero K_g , esso viene definito come il rapporto tra la portata media nel giorno di massimo $Q_{g,max}$ consumo e la portata media annua Q_{MA} , vedasi equazione 3.3.

$$K_g = \frac{Q_{g,max}}{Q_{MA}} \quad (3.3)$$

Il risultato del suddetto calcolo viene riportato in tabella 3.11, dalla quale si evince che i valori risultano compresi tra 1,76 e 3,16. Assieme ai valori del coefficiente di punta giornaliero, vengono indicate anche la tipologia e la data del giorno di massimo consumo, relativo ad ogni anno analizzato. Anche in questo caso, si nota la variabilità nel tempo della posizione del giorno di massimo consumo che non risulta soggetta a schemi o intervalli di tempo ricorrenti.

Tabella 3.10: Valori dei coefficienti di punta massimi K_m

Anno	Mese	K_m
2009*	Dicembre	1,29
2010	Luglio	1,21"
2011	Febbraio	1,41
2012	Ottobre	1,39
2013	Luglio	1,63
2014*	Ottobre	1,16
2015	Maggio	1,19
2016	Luglio	1,47
2017	Novembre	1,45
2018	Novembre	1,64
2019	Febbraio	1,34

* *Periodo con meno del 60% dei dati disponibili.*

" *Periodo con una percentuale di dati disponibili tra 60% e 80%.*

Tabella 3.11: Valori del coefficiente di punta K_g

Anno	Tipologia	Data	K_g
2009	Lavorativo	mer 25 nov	2,22
2010	Sessione	mar 22 giu	2,14
2011	Sessione	gio 10 mar	2,33
2012	Sessione	mer 18 lug	2,07
2013	Sessione	gio 4 lug	2,43
2014	Sessione	lun 10 feb	1,76
2015	Lavorativo	mar 10 mar	2,35
2016	Sessione	gio 8 set	2,11
2017	Lavorativo	gio 23 nov	2,38
2018	Lavorativo	mer 17 ott	3,16
2019	Lavorativo	gio 21 mar	2,23

Un'ulteriore operazione effettuata sui dati, è stata quella di calcolare il coefficiente di punta giornaliero per le tre tipologie di giorno individuate. Il risultato, visibile in tabella 3.12, mostra come anche per la tipologia di giorno festiva vi sia stato un volume di consumo importante; la spiegazione, risiede nel fatto che, nella definizione di giorno festivo, rientrano anche i giorni che intercorrono tra la fine

delle lezioni e l'inizio degli esami, in cui il consumo risulta ancora essere molto elevato.

Tabella 3.12: Valori del coefficiente di punta giornaliero K_g , diviso per tipologia di giorno

Anno	$K_{g;lav}$	Data	$K_{g;ses}$	Data	$K_{g;fes}$	Data
2009	2,22	mer 25 nov	1,88	mer 22 lug	1,35	mar 9 giu
2010	1,87	mar 23 nov	2,14	mar 22 giu	1,68	mar 8 giu
2011	2,02	mer 22 giu	2,33	gio 10 mar	2,06	lun 14 mar
2012	2,03	gio 17 mag	2,07	mer 18 lug	1,68	mar 25 set
2013	2,20	mer 6 mar	2,43	gio 4 lug	1,69	lun 29 lug
2014	1,74	mar 14 gen	1,76	lun 10 feb	0,91	dom 12 ott
2015	2,35	mar 10 mar	1,71	ven 19 giu	1,58	mar 28 lug
2016	2,09	lun 28 nov	2,11	gio 8 set	1,84	mer 27 lug
2017	2,38	gio 23 nov	1,59	lun 24 lug	1,49	gio 28 set
2018	3,16	mer 17 ott	1,97	mar 11 set	1,46	mar 25 set
2019	2,23	gio 21 mar	2,02	mer 13 feb	0,73	sab 26 gen

Infine, si è calcolato il coefficiente di punta orario K_h , definito come il rapporto tra la portata nell'ora di massimo consumo Q_h e la portata media annua Q_{MA} , vedasi equazione 3.4. Il risultato del calcolo, viene riportato in tabella 3.13.

$$K_h = \frac{Q_h}{Q_{MA}} \quad (3.4)$$

Dai risultati, si nota subito come i valori siano molto più elevati dei coefficienti di punta mensili e giornalieri, variando da un minimo di 3,16 del 2019, ad un massimo di 6,67 raggiunto nel 2015.

Tabella 3.13: Valori del coefficiente di punta orario K_h

Anno	K_h
2009	4,73
2010	4,55
2011	5,99
2012	5,53
2013	6,62
2014	5,24
2015	6,77
2016	6,23
2017	4,18
2018	4,73
2019	3,16

3.2 Simulazione numerica

Dopo aver effettuato le analisi sui dati di consumo, tramite il modello idraulico si è cercato di ricostruire il profilo di consumo di ogni utenza, sia per quanto riguarda il volume da esse prelevato, sia in termini di distribuzione spaziale all'interno della rete.

All'interno della presente sezione si vogliono quindi, illustrare i risultati delle simulazioni numeriche, effettuate sul modello idraulico realizzato mediante l'utilizzo del software Epanet. Il programma permette di effettuare simulazioni idrauliche sul lungo periodo, di reti in pressione. Tramite il software è stato possibile effettuare simulazioni numeriche che utilizzano delle richieste ai nodi variabili sia nello spazio che nel tempo. Inoltre, è stato possibile valutare il flusso di acqua in ogni tubazione, sia in termini di portata sia in termini di direzione del moto, nonché della pressione in ogni nodo.

Le simulazioni sono state effettuate utilizzando diverse condizioni di prelievo, facendo variare sia il volume prelevato, sia la tipologia di utenza che ne usufruisce, formando così diversi scenari di simulazione. Per ogni scenario, vengono descritte le condizioni iniziali relative ai valori di prelievo e alla loro variazione nel tempo, ed i risultati più interessanti che ne derivano dalle simulazioni.

3.2.1 Scenario 1: Il giorno tipo - Distribuzione uniforme

La prima simulazione effettuata riguarda la ricostruzione dei consumi presenti nel giorno tipo dell'ultimo anno disponibile, ovvero il 2018, riportati in figura 3.23 e tabella 3.14. Come giorno tipo, si è scelta la tipologia lavorativa in quanto risulta essere la più elevata in termini di consumo. Per assegnare i valori di consumo alle varie utenze, sono state effettuate delle ipotesi, in mancanza di informazioni più precise, per la loro rappresentazione. In particolare, il consumo notturno è stato assegnato interamente ai laboratori, senza tener conto dell'eventuale presenza di perdite interne alla rete, in quanto si è ipotizzato che, nelle ore notturne, sia presente un numero esiguo del personale. Questo ha portato alla conclusione che il prelievo notturno sia attribuibile all'utilizzo da parte di qualche laboratorio. Il prelievo nella fascia di orario notturna, che inizia alle ore 20:00 e termina alle 8:00, definito dal consumo di base, è stato mantenuto costante lungo l'intera giornata e assegnato in maniera uniforme a tutti i laboratori. La restante parte del consumo, durante le ore diurne, è stata quindi assegnata al consumo da parte dei servizi igienici ed ai bar e mense, mentre sono stati ritenuti trascurabili i servizi ausiliari. Per quanto riguarda i consumi assegnati ai bar e mense, si è considerato un consumo pari a $1 \text{ m}^3/\text{gg}$, distribuito in maniera uniforme durante le ore diurne. La quota parte da assegnare ai servizi igienici, è stata calcolata mediando il consumo diurno netto, avendo sottratto il consumo attribuito alle mense. Il valore così trovato rappresenta la media dei consumi che sono stati attribuiti all'intero gruppo dei servizi igienici,

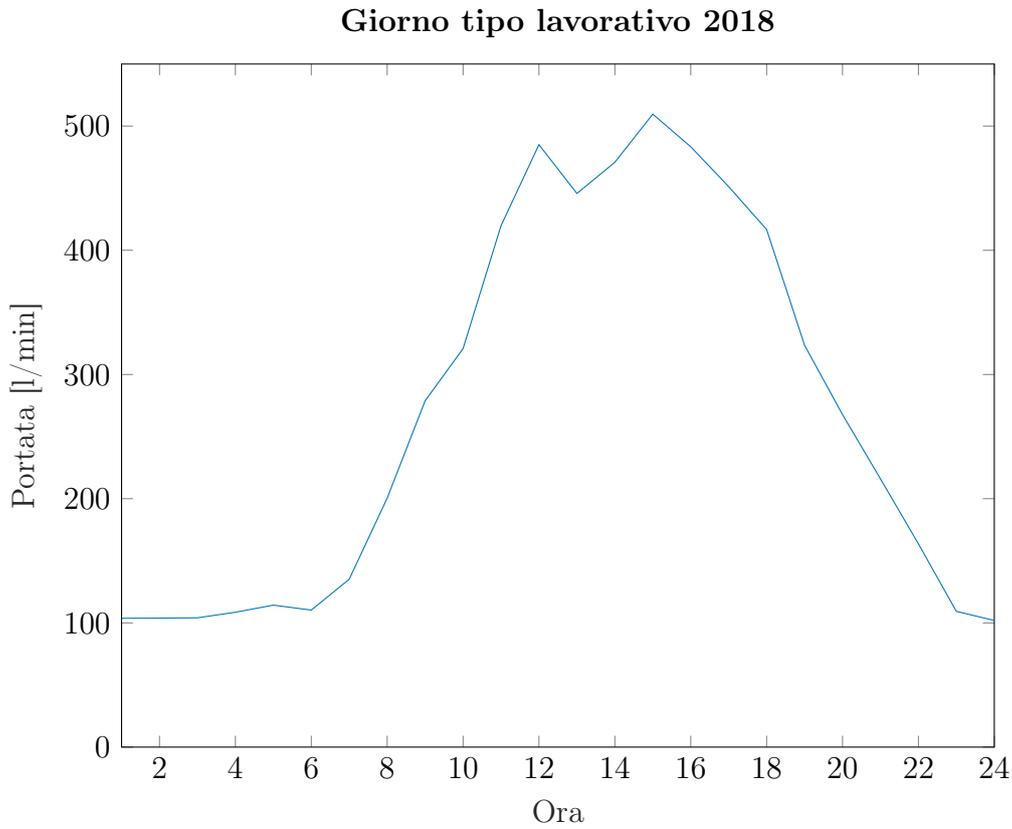


Figura 3.23: Giorno tipo lavorativo 2018, portata in l/min

mentre il valore attribuito al singolo nodo, è stato anch'esso spartito in maniera uniforme. Nella tabella 3.15, si riporta il valore del conteggio delle relative utenze, il loro consumo totale, espresso in litri al minuto e calcolato come media sulla relativa fascia di orario, ed infine il consumo assegnato ad ogni singola utenza.

Una volta che sono state inserite le domande di prelievo per ogni singolo nodo, sono stati definiti i time pattern relativi a tutte le tipologie di utenze considerate. In particolare, ai laboratori è stato assegnato un pattern variabile, vedasi figura 3.24, nelle ore notturne, calcolato come il rapporto tra il valor medio notturno ed i consumi relativi alle singole ore, mentre nelle ore diurne si è mantenuto un andamento costante, inserendo un moltiplicatore pari ad 1, ottenendo quindi un valore pari a quello del consumo di base. Per bar e mense è stato utilizzato un moltiplicatore pari ad 1, in modo tale da mantenerlo costante durante le ore diurne. Invece, per l'utenza relativa ai servizi igienici, è stato assegnato un pattern variabile durante le ore diurne e nullo in quelle notturne, calcolato effettuando il rapporto tra il valore di portata netta oraria, riferita al giorno tipo, e la portata netta media. In questo modo, per ogni orario diurno è stato calcolato un coefficiente moltiplicatore da assegnare alla domanda idrica tramite il time pattern, visibile in figura 3.25.

Tabella 3.14: Valori di portata nel giorno tipo lavorativo del 2018

Fascia	Ora	Q (m ³ /h)	Q (l/min)
Notturna	1	6,22	103,71
	2	6,23	103,85
	3	6,25	104,09
	4	6,51	108,58
	5	6,86	114,30
	6	6,62	110,31
	7	8,11	135,17
	8	12,03	200,45
Diurna	9	16,73	278,81
	10	19,25	320,88
	11	25,19	419,81
	12	29,10	485,01
	13	26,74	445,74
	14	28,25	470,86
	15	30,58	509,60
	16	29,00	483,35
	17	27,07	451,22
	18	25,00	416,72
	19	19,41	323,51
	20	16,06	267,68
Notturna	21	12,96	215,95
	22	9,82	163,67
	23	6,56	109,27
	24	6,12	101,95

Tabella 3.15: Valori utilizzati di domanda idrica

Utenza	Numero utenze	Q _{totale} (l/min)	Q _{utenza} (l/min/utenza)
Servizi igienici	48	270,99	5,65
Laboratori	22	130,94	5,95
Bar e mense	3	4,17	1,39

Si noti come la media dei coefficienti assegnati al time pattern sia uguale a 0,5 e non pari a 1, dato che, durante le ore notturne, essendo il consumo interamente

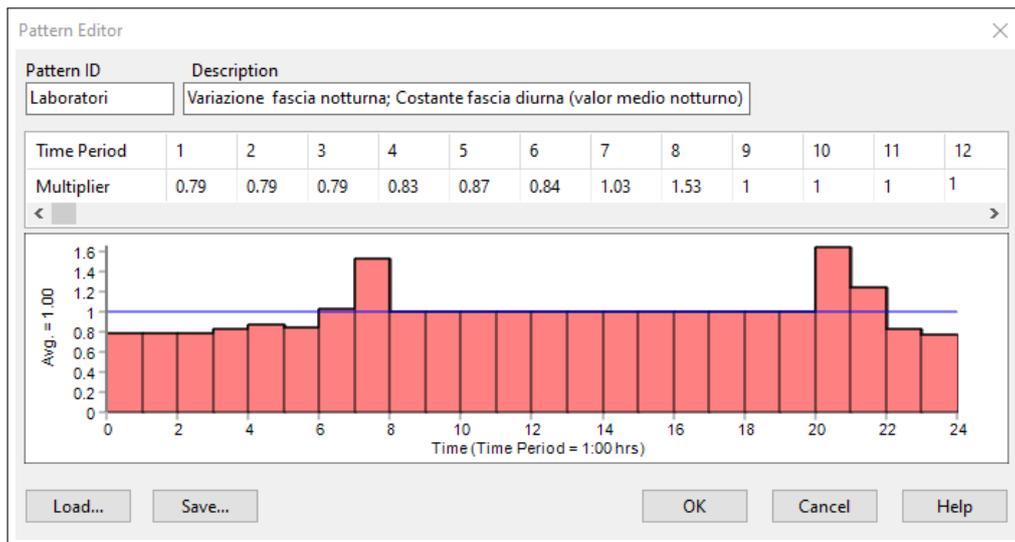


Figura 3.24: Time pattern assegnato ai laboratori

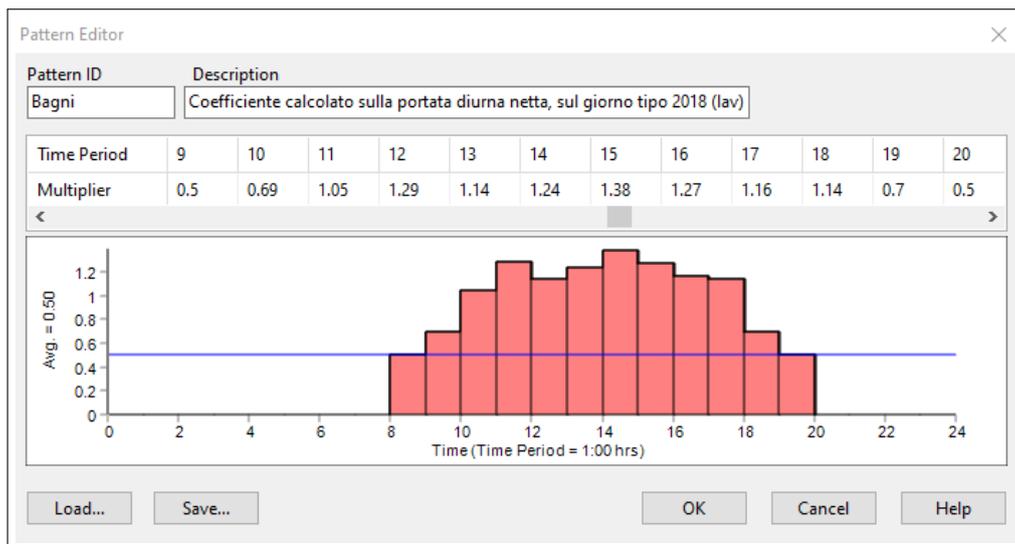


Figura 3.25: Time pattern assegnato ai servizi igienici

attribuito all'utenza di laboratorio, ai servizi igienici è stato quindi assegnato un valore pari a 0 nella fascia in questione. Essendo entrambe le fasce orarie caratterizzate dalla medesima durata, se si considerasse soltanto la parte diurna, allora la media dei moltiplicatori sarebbe pari ad 1.

I risultati della simulazione così costruita, sono visibili in figura 3.26, nella quale si sono differenziati i nodi in funzione del carico e le tubazioni per portata. Dai risultati, riportati per le ore 15:00, ovvero l'ora di massimo consumo, si evince come i carichi diminuiscano all'aumentare della lunghezza della tubazione e al diminuire

del diametro della stessa. In particolare, si registrano delle perdite di carico che variano dai 40 cm, in prossimità dell'allacciamento, fino ai 130 cm in corrispondenza dei punti più lontani. Si nota inoltre, come nelle due tubazioni subito a valle dell'allacciamento (denominate nella figura 3.26, P2 lato sinistro e P7 lato destro), le portate si distribuiscono quasi equamente nelle due dorsali, visibile in figura 3.27, per andare a servire le rispettive aree di servizio.

Oltre al comportamento generale della rete, se si osservano le tubazioni in corrispondenza delle due maglie, si noterà come, durante la giornata, i flussi di portata non risultano essere monodirezionali ma subiscono una variazione della direzione del moto. Da osservare come, nella creazione delle tubazioni che costituiscono entrambe le maglie, è stato seguito un ordine ben preciso, al fine di rendere più facilmente leggibili i risultati, procedendo dal lato sinistro verso il lato destro, in modo tale da far coincidere, alla portata, il segno positivo per il verso orario. In particolare, per la maglia più esterna si nota come nella condotta P73 si presenti questa inversione della direzione del moto, mentre nella tubazione ad essa opposta, ovvero la P145, il flusso rimanga monodirezionale durante tutta la giornata, vedasi figura 3.28. Nel collegamento interno invece, ingrandito in figura 3.29, si nota, in figura 3.30, come le condotte laterali alla maglia, P81 e P107, alimentino sempre il collegamento non invertendo mai il flusso, servendo durante la notte i laboratori e durante il giorno anche i servizi igienici, mentre nelle condotte interne, P86 e P88, durante la notte la portata fluisce dal lato sinistro a quello destro, mentre nelle ore diurne entrambi i flussi si invertono. Questo succede a causa della presenza, nella fascia oraria diurna, dei consumi inerenti ai servizi igienici che modificano la distribuzione interna della portata.

In conclusione, nel presente scenario, si assiste ad una distribuzione dell'acqua prevalentemente affidata ad una parte della rete, nello specifico alle dorsali che costituiscono lo scheletro vero e proprio della rete, mentre, i collegamenti che formano le due maglie, risultano poco coinvolti nella distribuzione globale del volume. Questo risultato, mostra come le utenze siano distribuite abbastanza simmetricamente rispetto al punto di allaccio con la rete pubblica di distribuzione dell'acqua.

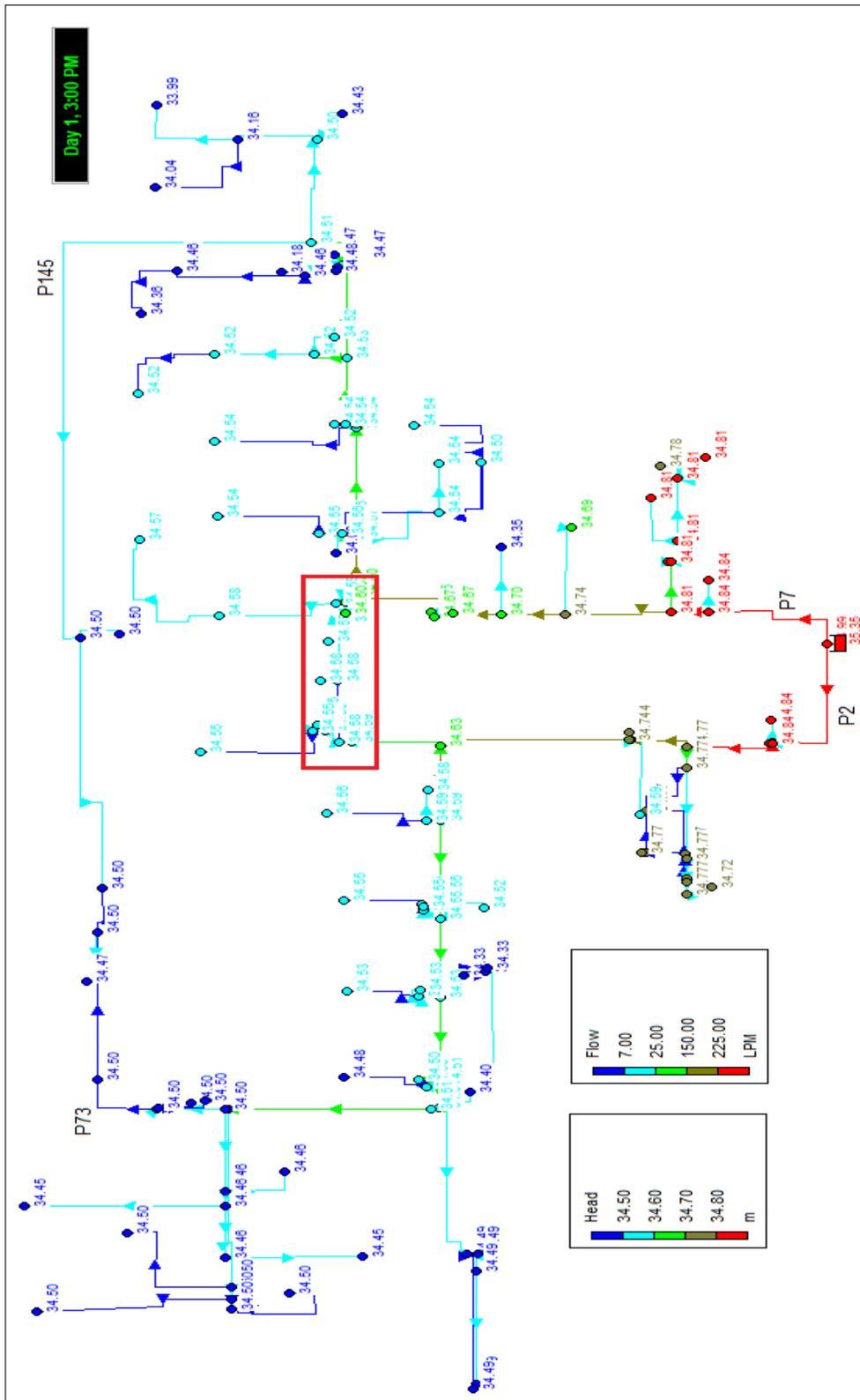


Figura 3.26: Risultati scenario 1 - Ore 15:00

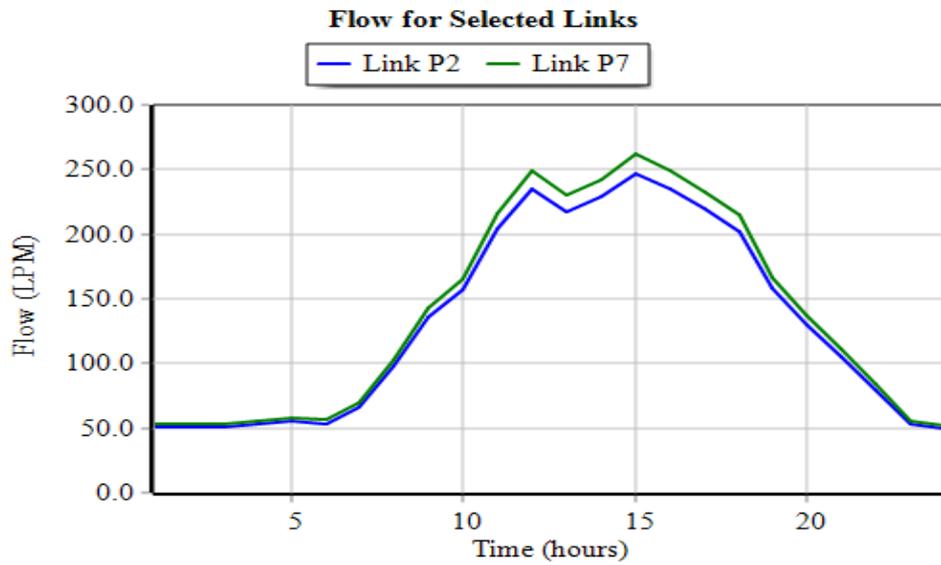


Figura 3.27: Andamento delle portate nei link P2 e P7 - Scenario 1

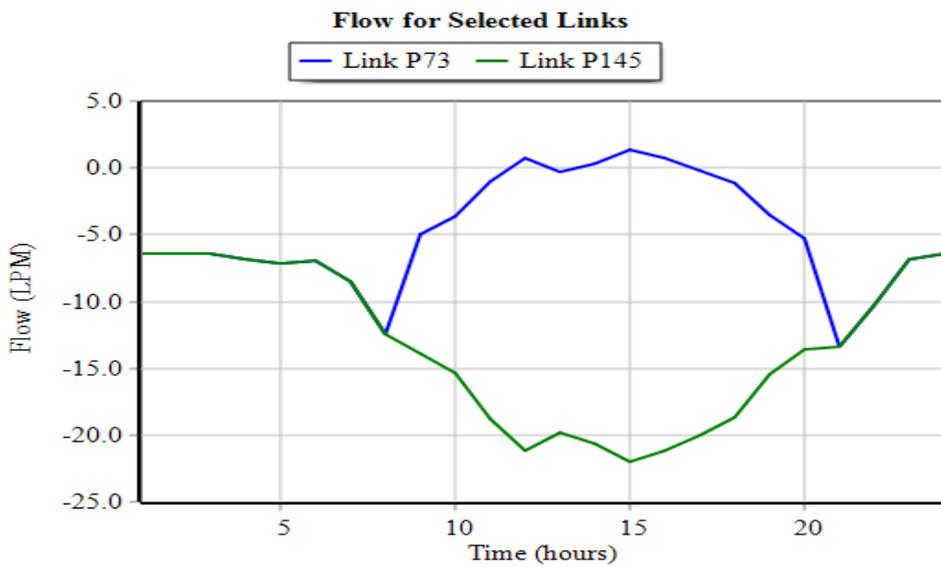


Figura 3.28: Andamento delle portate nei link P73 e P145 - Scenario 1

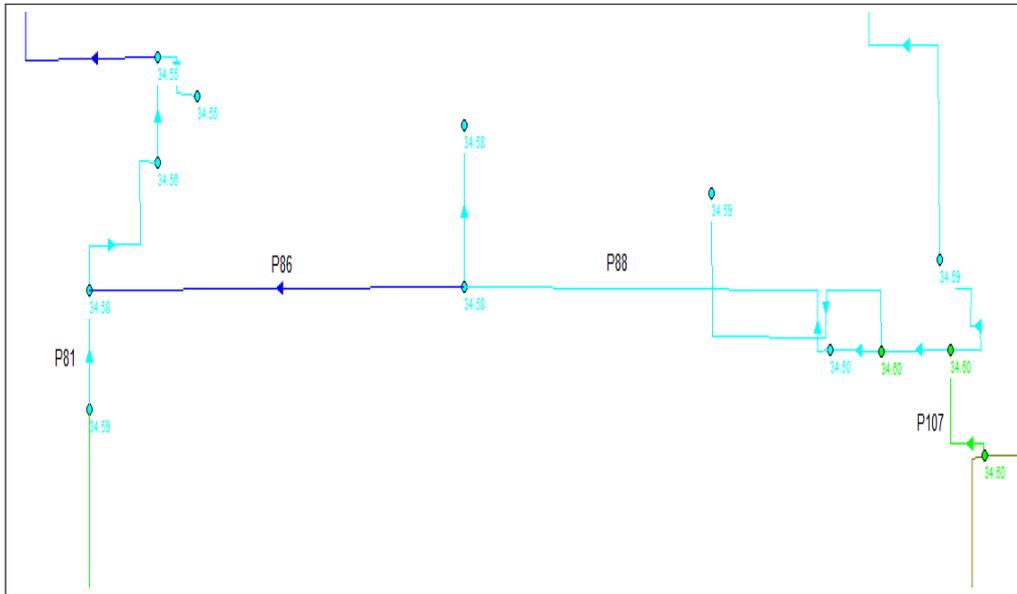


Figura 3.29: Maglia interna della rete

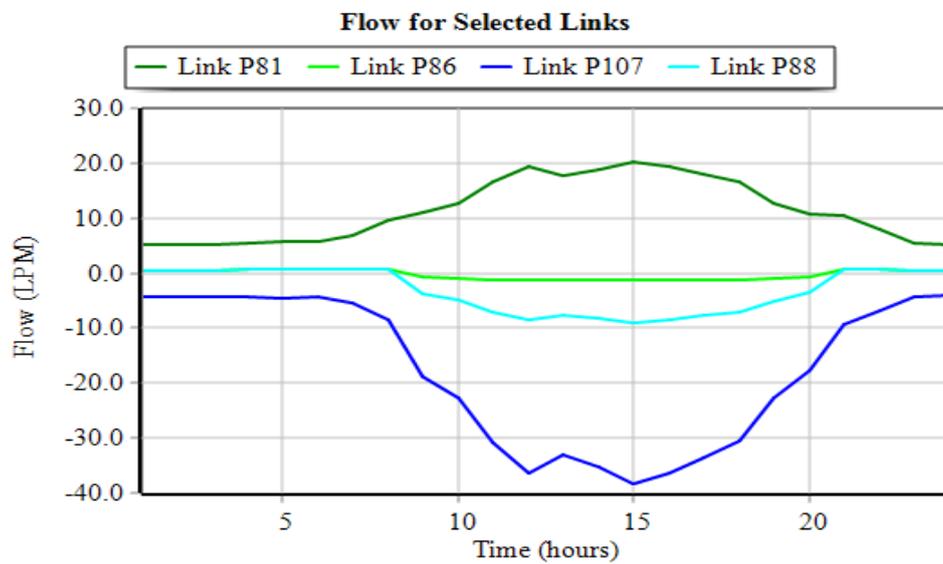


Figura 3.30: Andamento delle portate nei link P81, P86, P88 e P107 - Scenario 1

3.2.2 Scenario 2: Il giorno tipo - Distribuzione variabile

Con lo scenario 2 ci si pone come obiettivo l'approfondimento dell'assegnazione dei consumi alle varie utenze. In particolare, si andrà ad indagare l'unica utenza su cui si possono avanzare ulteriori ipotesi, che mantengano una base relativamente solida, aumentando il livello di dettaglio, ovvero quella relativa ai servizi igienici.

Il presente scenario vuole ricostruire, dato che l'obiettivo è quello di approfondire il precedente, anch'esso i consumi del giorno tipo lavorativo del 2018 utilizzando quindi lo stesso profilo di consumo, così come viene mantenuta la condizione al contorno sull'andamento dei carichi nel punto di immissione. Anche i consumi relativi alle mense vengono mantenuti i medesimi, con lo stesso time pattern dello scenario precedente, cioè con un valore pari ad 1 nelle ore diurne e pari a 0 in quelle notturne.

Per la ricostruzione dei consumi da assegnare ai servizi igienici sono stati utilizzati differenti metodi che hanno portato a risultati diversi. Come primo metodo, si è pensato di risalire ai consumi partendo dai valori delle portate di progetto delle reti idrosanitarie. Come criterio di calcolo è stato utilizzato quello contenuto nel progetto di norma Europea prEN 806. In generale, per dimensionare le reti idrosanitarie, è necessario conoscere il numero e la tipologia degli apparecchi sanitari. Ad ognuno di essi viene attribuita una portata unitaria in modo tale da poter calcolare la portata totale di ogni tratto di tubazione. La portata totale viene successivamente convertita in portata di progetto considerando un criterio di contemporaneità che nella prEN 806, viene tradotto in un diagramma che, in funzione della portata totale, permette di ricavare quella di progetto, ovvero la portata idonea per garantire il funzionamento nel campo di lavoro ottimale delle varie componenti. La norma effettua inoltre la distinzione tra edifici in funzione della destinazione d'uso quali residenziali, per uffici e simili, alberghi e ristoranti, ospedali e cliniche ed infine scuole e centri sportivi.

In base alle informazioni estrapolate dal rilievo e tramite una campagna di rilievo, limitata alle zone accessibili, è stato determinato il numero di apparecchi sanitari, vasi e lavabi, relativo ad ogni singola colonna d'acqua. Successivamente, si sono quindi definite le portate unitarie, secondo la figura 3.31, di ogni apparecchio, per poi calcolare la portata totale relativa ad ogni colonna d'acqua presente nel modello. Queste sono state convertite in portate di progetto tramite il diagramma di figura 3.32 nella quale, entrando con le portate totali, si ricavano quelle di progetto a cui, nella costruzione del diagramma, sono stati applicati dei coefficienti di contemporaneità.

Sono stati conteggiati un numero totale di vasi a cassetta e lavabi rispettivamente di 423 e 326 per un totale di 749 apparecchi. Si riportano soltanto i valori totali e non quelli relativi alle singole colonne in quanto ritenuti superflui. Si è ottenuta quindi una portata totale pari a 74,9 l/s che, effettuando la conversione per

Apparecchio	Acqua fredda l/sec	Acqua calda l/sec	Pressione m c.a.
Lavabo	0,1	0,1	5
Bidet	0,1	0,1	5
Vaso a cassetta	0,1	-	5
Vaso con passo rapido	1,5	-	15
Vaso con flussometro	1,5	-	15
Vasca da bagno	0,20	0,20	5
Doccia	0,15	0,15	5
Lavello da cucina	0,20	0,20	5
Lavabiancheria	0,10	-	5
Lavastoviglie	0,20	-	5
Orinatoio comandato	0,10	-	5

Figura 3.31: Valori della portata unitaria per apparecchio sanitario (fonte: norme prEN 806)

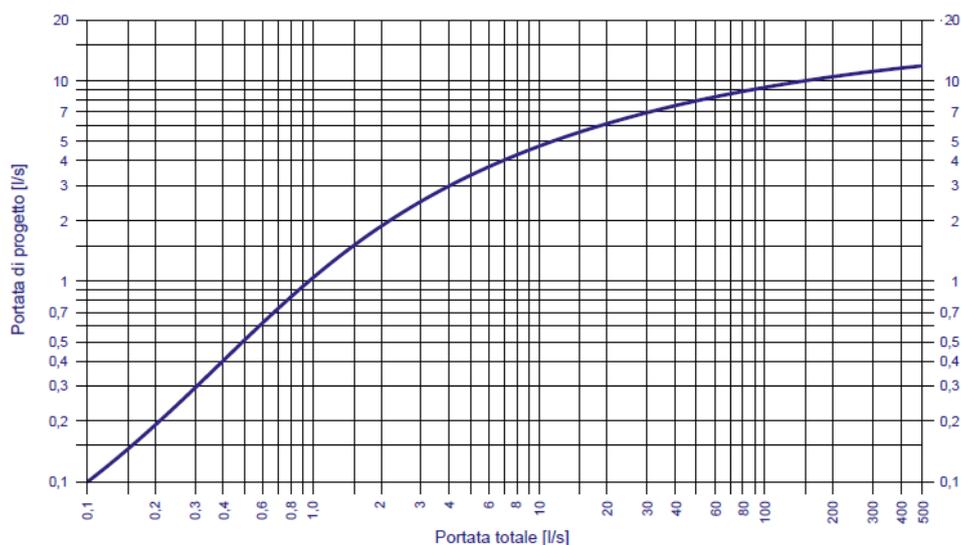


Figura 3.32: Portate di progetto in funzione delle portate totali (fonte: norme prEN 806)

ogni colonna d'acqua, corrispondono ad un totale di 62,48 l/s di progetto. Ottenuto questo risultato si è verificato che fosse utilizzabile come valore indicativo dei consumi della rete del Politecnico; i 62,48 l/s corrispondono a circa 224,93 m³/h. Questi valori non possono chiaramente essere utilizzati come base di consumo dei servizi igienici nel modello, dato che i consumi orari risultano nettamente inferiori, essendo al massimo 30,58 m³/h. Uno dei motivi per cui non si può utilizzare questo metodo per la ricostruzione dei consumi, è senz'altro il fine della costruzione

del metodo stesso. Infatti, il fine della creazione del metodo è il dimensionamento delle condotte in modo tale da garantire sempre certi valori minimi di portata agli apparecchi, andando a sovrastimare notevolmente i consumi. Un altro aspetto da considerare è il fatto di aver considerato come se i consumi si mantenessero costanti durante tutta l'ora considerata, mentre risulta necessario, per utilizzarli come valori di consumo, attribuire un coefficiente che permetta di tener conto del tempo e del numero di utilizzi nell'arco di tempo considerato.

Il secondo, ed ultimo, metodo utilizzato consiste nell'utilizzare come punto di partenza il conteggio degli apparecchi, effettuato per il metodo precedentemente descritto, e stimare un consumo per ogni gruppo di servizi igienici. Per effettuare la stima, sono state effettuate delle campagne di misurazione in sito, durante i giorni lavorativi, finalizzate al conteggio e alla definizione di un comportamento tipico degli utenti dei servizi igienici. In particolare, sono stati monitorati i principali servizi igienici, valutati in funzione della quantità di utilizzatori, a diverse ore del giorno, effettuando il conteggio degli utilizzatori, per poi assegnare ad ognuno di essi un volume medio utilizzato. I consumi stimati ad utilizzo sono:

- vaso: è stato considerato un volume medio ricavato da diverse tipologie di vasi, considerata la presenza sia di vasi con doppio scarico che a scarico singolo, pari a 5 l;
- lavabo: per la sua definizione è stato stimato il consumo di 1 l, corrispondente a circa 10/15 secondi di utilizzo alla portata media erogabile;

per un consumo totale ad utilizzo pari a 6 l. Per la stima degli utilizzi, dalla campagna di misura, sono stati rilevati una serie di bagni nella quale, in corrispondenza del cambio delle lezioni, si verificano delle code, causando il completo utilizzo dei servizi, per un tempo medio di circa 20 minuti. Durante questa saturazione dei servizi, sono stati monitorati i tempi che intercorrono tra l'ingresso e l'uscita del locale delle persone, risultati, in media, pari a 2 minuti. Per la definizione del volume d'acqua utilizzato durante questo lasso temporale, si è moltiplicato il numero di vasi con il numero di utilizzi, per ricavare il volume totale. Durante la restante parte del tempo, sempre nei sopraccitati servizi, gli utilizzi registrati sono rappresentabili in media dal valore di 1 utilizzo al minuto a gruppo, inteso come l'insieme dei servizi maschili e femminili. Il risultato è riportato in tabella 3.16, dove si è così ricostruito il consumo orario di questi bagni. Per i restanti servizi igienici, essendo meno frequentati, è stato stimato un consumo orario corrispondente a 2 utilizzi all'ora per ogni gruppo, indipendentemente dal numero di vasi presenti. Per ogni nodo si riportano, in tabella 3.17, il numero di vasi, di lavabi, di piani serviti dalla colonna d'acqua con la relativa stima dei consumi, espressa sia in l/h che in l/min, poiché verranno inseriti, utilizzando quest'ultima grandezza, nel modello di Epanet.

Tabella 3.16: Consumi stimati nei bagni a maggior afflusso

Junction	Vasi	Volume (20') (l/h)	Volume (40') (l/h)
9	20	1200	240
92	8	480	240
96	12	720	240
26	10	600	240
35	16	960	240
44	8	480	240
81	12	720	240
88	10	600	240
132	9	540	240
147	5	300	240
77	10	600	240
TOTALE		7200	2640
		9840	

Tabella 3.17: Valori stimati di consumo per ogni gruppo di servizi igienici

Junction	Vasi	Lavabi	Piani	Q (l/h)	Q (l/min)
4	4	4	1	12	0,20
5	4	4	1	12	0,20
8	4	4	1	12	0,20
9	5	3	4	1440	24,00
17	4	4	2	24	0,40
18	5	3	1	12	0,20
21	2	1	1	12	0,20
26	10	8	1	840	14,00
27	2	1	5	60	1,00
31	2	1	4	48	0,80
32	2	1	1	12	0,20
35	4	4	5	1248	20,80
38	2	1	5	60	1,00
42	2	1	5	60	1,00
44	4	4	5	768	12,80
53	16	16	1	12	0,20

Continua nella prossima pagina

Continua dalla pagina precedente

Junction	Vasi	Lavabi	Piani	Q (l/h)	Q (l/min)
55	18	17	1	12	0,20
67	2	1	5	60	1,00
68	2	1	5	60	1,00
69	2	1	2	24	0,40
77	5	4	2	840	14,00
78	2	1	1	12	0,20
79	4	4	5	60	1,00
81	12	7	1	960	16,00
82	2	1	5	60	1,00
83	1	1	1	12	0,20
88	10	6	1	840	14,00
91	2	1	1	12	0,20
92	18	17	1	720	12,00
93	2	1	1	12	0,20
96	15	13	1	960	16,00
97	4	2	1	12	0,20
100	4	4	1	12	0,20
102	2	1	1	12	0,20
103	4	4	1	12	0,20
108	2	1	4	48	0,80
110	2	1	2	24	0,40
114	4	3	1	12	0,20
115	2	1	3	36	0,60
119	3	2	5	60	1,00
124	2	1	4	48	0,80
128	4	4	1	12	0,20
129	2	1	2	24	0,40
132	9	6	1	840	14,00
139	1	1	1	12	0,20
140	4	2	1	12	0,20
147	5	5	5	588	9,80
149	4	4	5	60	1,00
Totale				11 100	185,00

Si conclude dalla pagina precedente

Si noti come il valore di consumo orario così calcolato, pari a 185,00 l/min, risulti, in questo caso, confrontabile con i valori di consumo registrati per il giorno tipo. Si è deciso quindi, di utilizzare questo valore medio nel presente scenario di

simulazione, mantenendo comunque il time pattern precedentemente creato per lo scenario 2, di figura 3.25, al fine di assegnare la variazione nel tempo del suddetto valor medio calcolato.

Per quanto riguarda la domanda assegnata ai laboratori, durante la fascia di orario notturna, viene utilizzata la configurazione precedentemente definita nello scenario 2, ovvero si assegna ad ogni nodo rappresentante un laboratorio, un consumo pari al consumo di base diviso per il numero di laboratori, affiancato dal pattern variabile calcolato rapportando il consumo orario registrato a tale valore. In questo modo, la totalità del consumo notturno viene rappresentata dall'utenza dei laboratori. Il profilo globale di consumo, formato da mense, bagni e laboratori, così definito, non copre però la totalità dei consumi orari del giorno tipo in esame, perciò si è ipotizzato di assegnare la restante parte del consumo diurno ai laboratori, modificando il time pattern, riportato in figura 3.33, in modo tale da rappresentare il volume mancante.

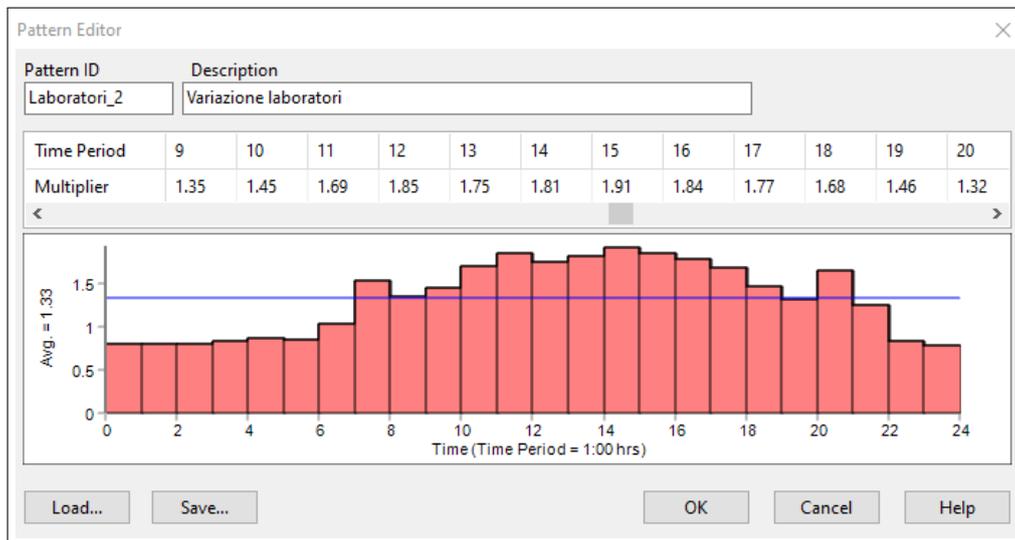


Figura 3.33: Time pattern assegnato ai laboratori

I risultati della simulazione così costruita, sono visibili in figura 3.37, nella quale si sono differenziati i nodi in funzione del carico e le tubazioni per portata. Dai risultati, riportati per le ore 15:00, ovvero l'ora di massimo consumo, si evince come i carichi siano variati rispetto allo scenario precedente. In particolare, sono variate le domande ai nodi che vedono un aumento per i laboratori, mentre per i servizi igienici il valore risulta aumentato o diminuito a seconda dei criteri sopraesposti, determinando rispettivamente una maggiore o minore perdita di carico rispetto alla precedente situazione. I carichi variano da 40 cm, in prossimità dell'allacciamento, fino ai 185 cm in corrispondenza dei punti più lontani, con diametri bassi e domande elevate.

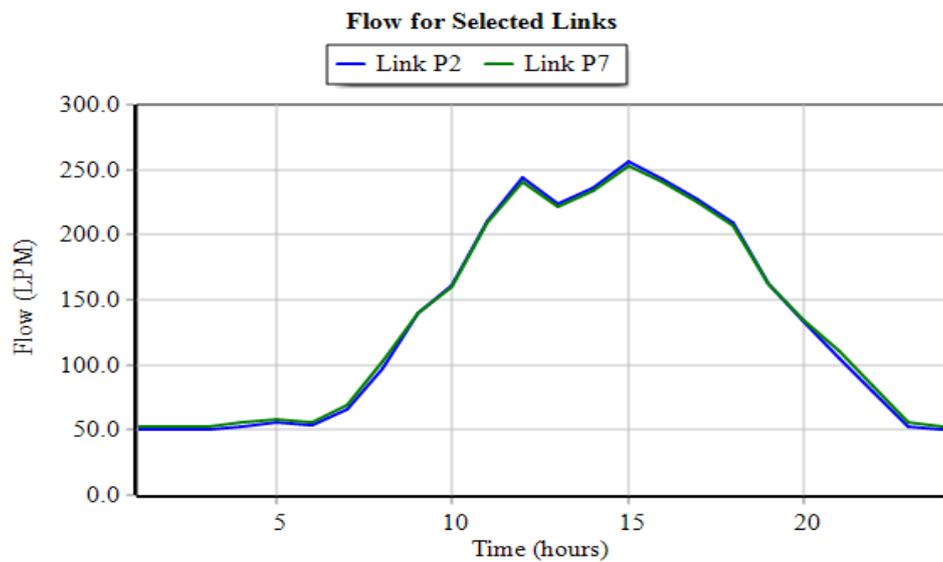


Figura 3.34: Andamento delle portate nei link P2 e P7 - Scenario 2

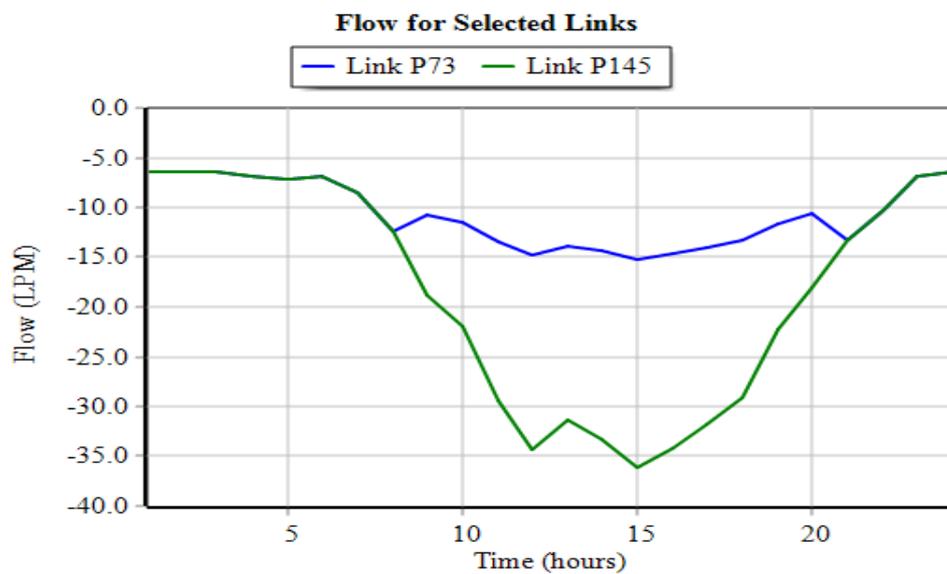


Figura 3.35: Andamento delle portate nei link P73 e P145 - Scenario 2

Osservando nuovamente il comportamento delle tubazioni P2 e P7, poste in prossimità dell'allaccio alla rete pubblica, si noterà una quasi perfetta simmetria nella distribuzione della portata nelle due dorsali, visibile in figura 3.34.

A questo punto diventa nuovamente interessante analizzare il comportamento ai lati estremi delle due maglie. Partendo da quella più esterna, si riportano in figura

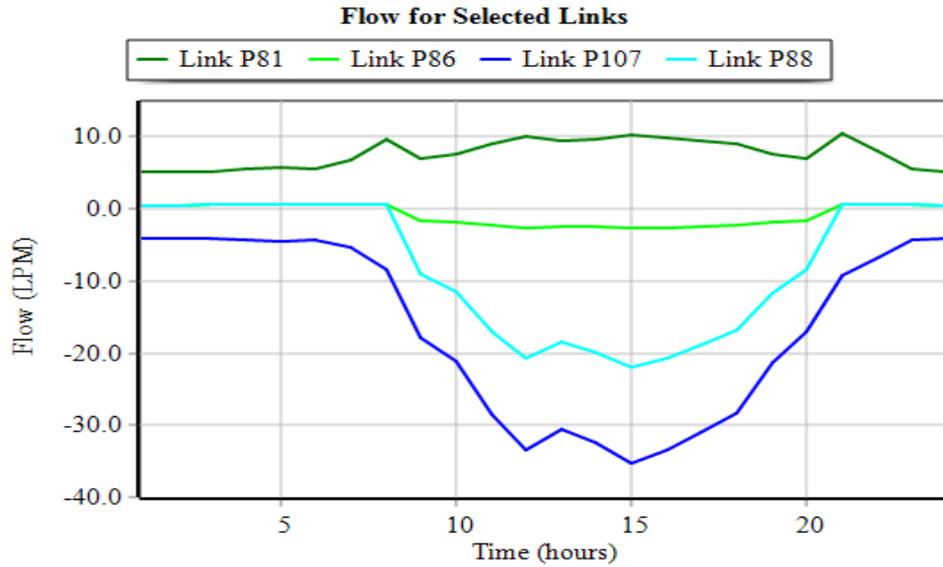


Figura 3.36: Andamento delle portate nei link P81, P86, P88 e P107 - Scenario 2

3.35 gli andamenti della portata, dalla quale si nota come il flusso risulti monodirezionale durante tutta la giornata, non invertendo mai la direzione come accadeva nello scenario 1 (si ricorda come il segno negativo della portata, corrisponda ad una percorrenza della maglia in verso antiorario).

Nella maglia interna, si nota come il comportamento risulta identico al precedente con l'unica differenza presente nel link P88 dove si verifica un aumento della portata a discapito di quella passante per il link P81.

In conclusione, anche in questo scenario, si assiste ad una distribuzione dell'acqua prevalentemente affidata ad una parte della rete, nello specifico alle dorsali che costituiscono lo scheletro vero e proprio della rete, mentre, i collegamenti che formano le due maglie, risultano poco coinvolti nella distribuzione globale del volume. Questo risultato, mostra come le utenze siano distribuite molto simmetricamente sia in termini di locazione nello spazio che in termini di prelievi, rispetto al punto di allaccio con la rete pubblica di distribuzione dell'acqua.

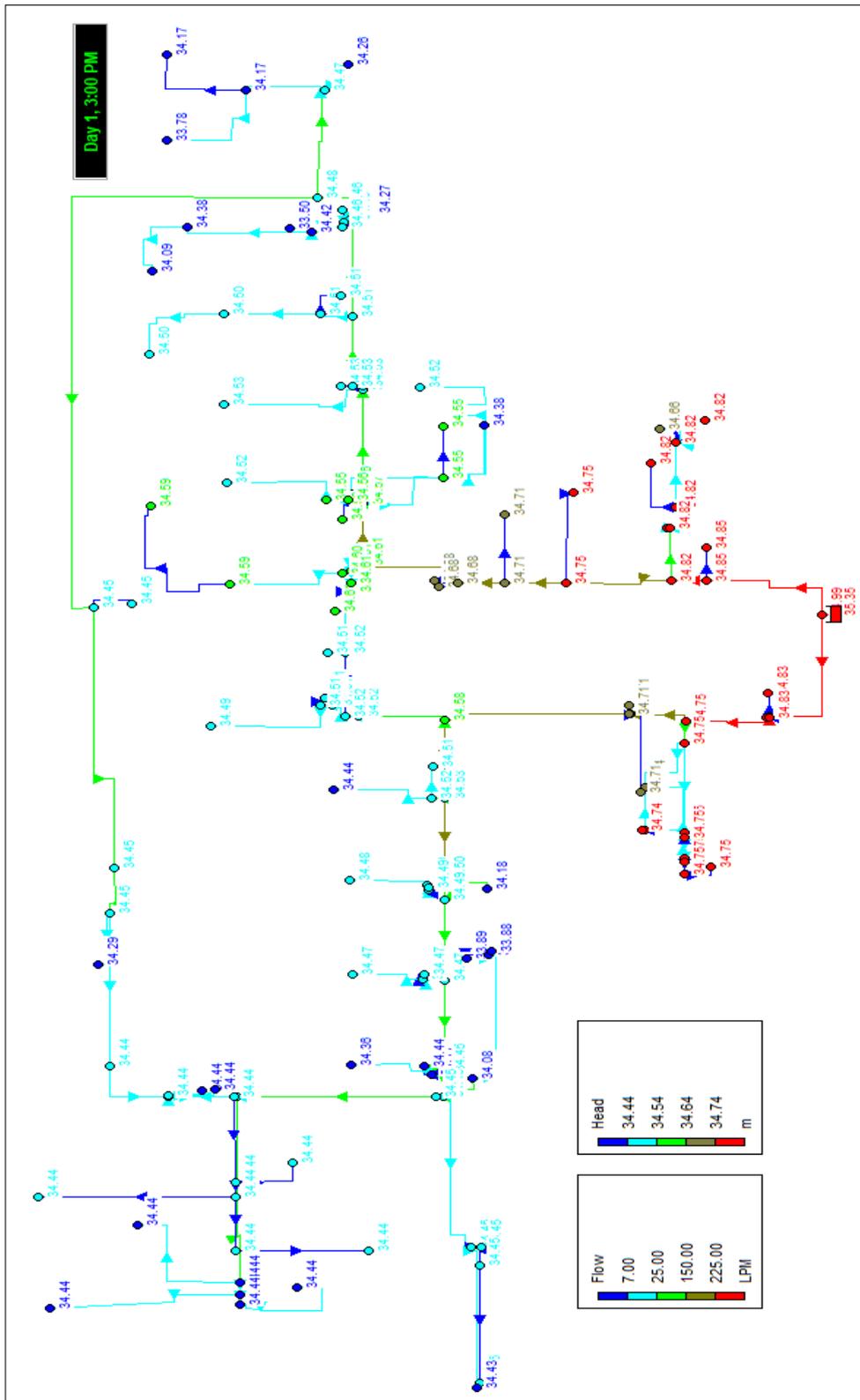


Figura 3.37: Risultati scenario 2 - Ore 15:00

3.2.3 Scenario 3: Giorno di massimo consumo

Con lo scenario numero 3, si vuole rappresentare il giorno di massimo consumo dell'anno 2018. In particolare, tale giorno risulta essere mercoledì 17 ottobre, nella quale il volume giornaliero è aumentato del 216%, rispetto al giorno tipo. Nonostante il cospicuo aumento, come visibile nella serie storica dell'anno 2018 di figura A.10, si è subito scartata l'ipotesi che si trattasse di un outlier, in quanto, osservando gli andamenti della settimana precedente, si nota già un incremento dei consumi che si protrae fino alla metà dell'aprile nell'anno successivo, con una breve interruzione nel periodo delle vacanze natalizie, in cui i valori ritornano nelle medie annuali. L'aumento, si verifica sia nelle ore notturne che in quelle diurne, con una maggiore intensità in quest'ultima fascia oraria (vedasi figure A.50, A.51 e A.52, che riportano la divisione dei consumi per fascia oraria). Nella tabella 3.18, si riportano i valori di consumo registrati il mercoledì 17 ottobre, che vengono diagrammati nella figura 3.38 nella quale si riportano anche i consumi relativi al giorno tipo in questione per rendere immediata l'entità dell'aumento verificatosi.

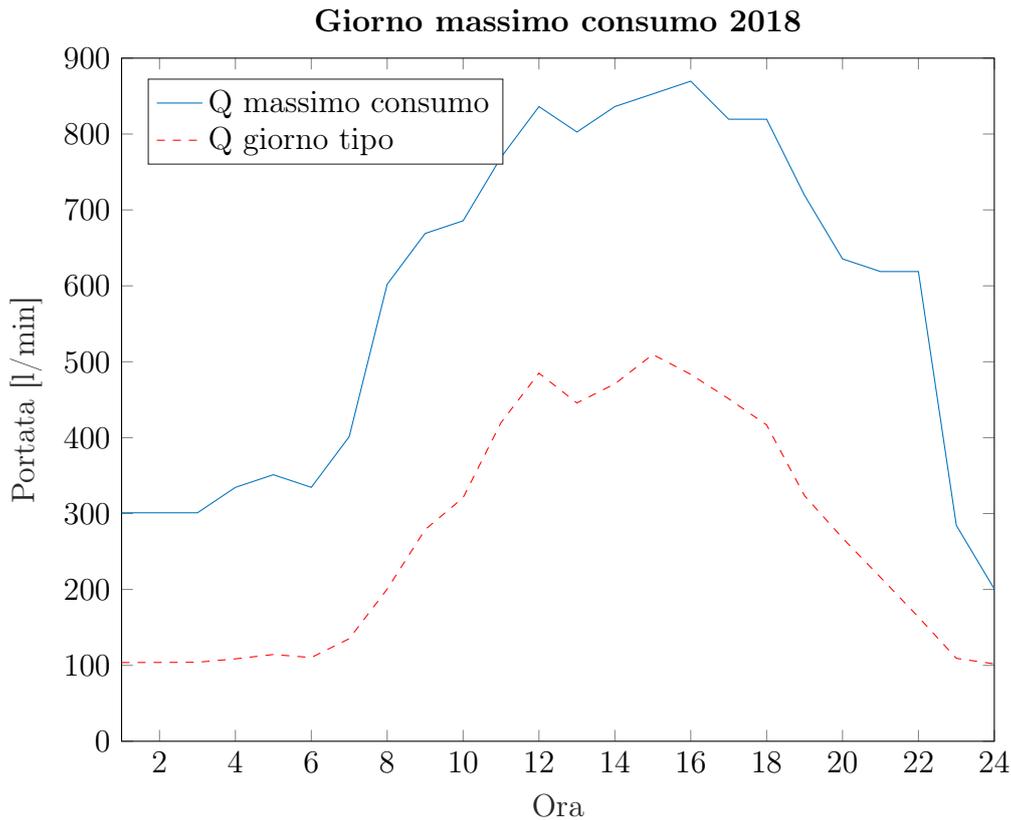


Figura 3.38: Giorno di massimo consumo, portata in l/min

Tabella 3.18: Valori di portata nel giorno di massimo consumo del 2018

Fascia	Ora	Q (m ³ /h)	Q (l/min)
Notturna	1	18,06	301,02
	2	18,06	301,02
	3	18,06	301,02
	4	20,07	334,47
	5	21,07	351,19
	6	20,07	334,47
	7	24,08	401,36
	8	36,12	602,04
Diurna	9	40,14	668,93
	10	41,14	685,66
	11	46,16	769,27
	12	50,17	836,17
	13	48,16	802,72
	14	50,17	836,17
	15	51,17	852,89
	16	52,18	869,61
	17	49,17	819,44
	18	49,17	819,44
	19	43,15	719,10
	20	38,13	635,49
Notturna	21	37,13	618,76
	22	37,13	618,76
	23	17,06	284,30
	24	12,04	200,68

L'ipotesi avanzata, per la rappresentazione dei consumi, è quella di assegnare tutta la portata in eccesso, rispetto al giorno tipo, ad un solo nodo rappresentante l'utenza di laboratorio. Questa ipotesi si basa sul fatto che l'aumento si è verificato in maniera quasi istantanea, ad indicare l'inizio di una nuova attività a forte richiesta di domanda idrica. Lo scenario così definito prevede, quindi, di utilizzare per la rappresentazione del consumo nel giorno tipo, le condizioni descritte nello scenario 2, mentre la portata in eccesso, viene assegnata interamente ad un nodo rappresentate un laboratorio. Nello specifico si è calcolata una base demand, ovvero il valore medio di domanda, pari a 311,23 l/min. Le sue variazioni temporali, calcolate come rapporto tra la portata oraria in eccesso e il valore appena citato, sono rappresentati dal time pattern di figura 3.39.

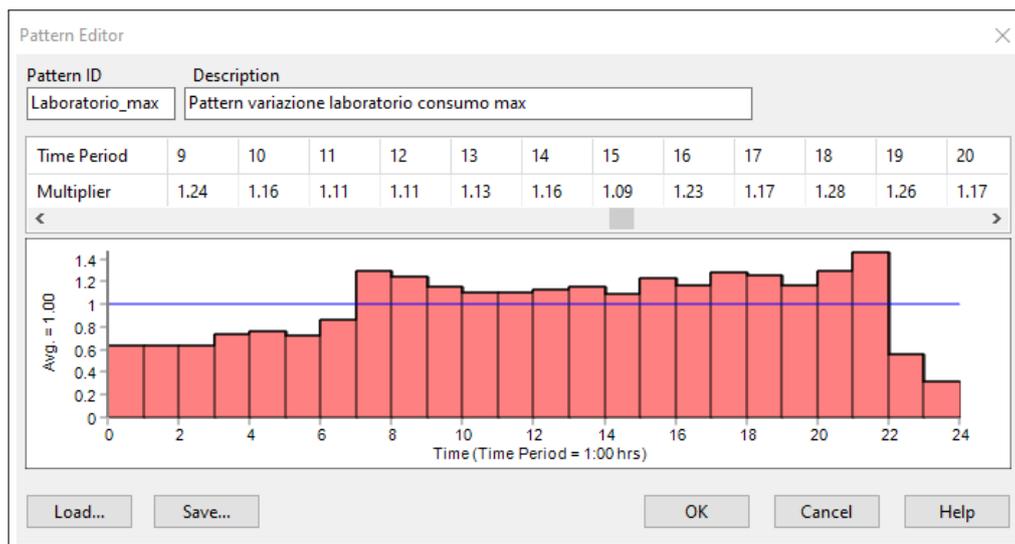


Figura 3.39: Time pattern assegnato ai laboratorio di massimo consumo

Dato che non si conosce l'utenza specifica responsabile dell'incremento di domanda idrica, si sono valutate diverse simulazioni assegnando il valore di domanda, rappresentante l'aumento, ad un nodo di laboratorio alla volta, per poi effettuare la verifica della rete. Una simulazione di questo tipo, consente di localizzare i possibili punti di prelievo della portata, effettuando la verifica sulla rete tramite il modello, oltre che ad evidenziare come si redistribuiscono le portate nelle condotte della rete, nella situazione in cui un nodo richieda molta domanda idrica.

A titolo esemplificativo, si riporta, seguendo lo schema di rappresentazione dei risultati utilizzata negli scenari precedenti, il risultato della verifica della rete, avendo identificato il nodo 63 come nodo di prelievo massimo. Dai risultati della presente simulazione, riportati in figura 3.42, si nota come i carichi siano sensibilmente variati rispetto agli scenari precedenti, a causa della maggior portata circolante nella rete. Nel dettaglio, le perdite di carico si attestano su valori che vanno dai 30 cm, nei nodi vicini al punto di immissione, fino ai 362 cm nel nodo 63, a cui è stata assegnata la maggior domanda.

Per quanto riguarda la distribuzione delle portate nei due lati della rete, visibile in figura 3.40, si nota come la situazione rimanga analoga ai precedenti scenari con una suddivisione abbastanza equa tra i due rami, con una leggera predominanza del lato sinistro.

Come ci si può aspettare, vista l'alta domanda richiesta dal nodo 63, nella maglia esterna, in figura 3.41, in nessuna ora della giornata, la portata inverte il flusso andando sempre ad alimentare il suddetto nodo. Analizzando i valori di portata nelle tubazioni che confluiscono nella diramazione a servizio del nodo 63, denominate P55 e P69, come la maggior parte della portata viene fornita dalla P55. In

particolare, dalla condotta P55 arriva il 66,7% della portata confluyente nel nodo, mentre il 33,3% proviene dalla maglia esterna, ovvero dall'altro lato della rete.

Dalla presente simulazione si nota come la rete risulti verificata, dato che le pressioni ai nodi non diventano mai negative. Si è evidenziato inoltre come, a differenza dei due scenari precedenti, la maglia esterna risulti molto coinvolta nella distribuzione della portata alle varie utenze.

Al fine di effettuare un confronto, si riporta in figura 3.43 il risultato della simulazione avendo assegnato la domanda massima, ed il relativo pattern, al nodo 131. Si noter  come anche in questo caso le portate si distribuiscano equamente al nodo d'ingresso, con una leggera prevalenza dal lato destro, mentre, a differenza del caso precedente, la maglia esterna risulta poco coinvolta alla distribuzione della portata al nodo in esame. Nello specifico, le portate confluyente nella condotta terminante con il nodo 131, risultano per la P127 pari al 95,9% mentre per la P89 soltanto il rimanente 4,1%.

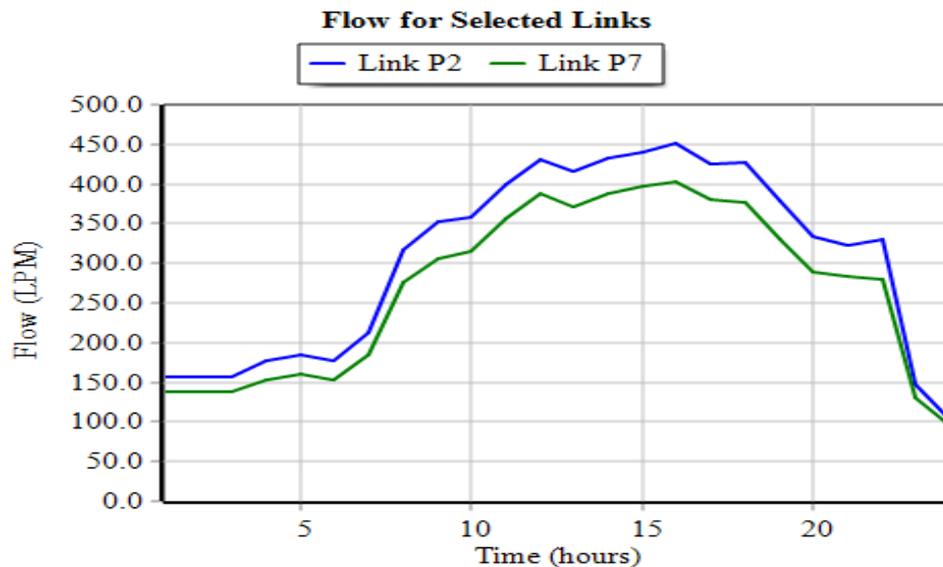


Figura 3.40: Andamento delle portate nei link P2 e P7 - Scenario 3

Dopo aver descritto due esempi di simulazioni effettuate, si riportano i risultati di tutti i nodi di laboratorio considerati nella tabella 3.19, dove per non vengono riportati tutti i laboratori presenti ma soltanto quelli pi  significativi, essendo quelli non analizzati analoghi, sia per dimensioni di condotta che per posizione spaziale, ad uno analizzato. La posizione dei nodi nella rete, viene illustrata in figura 3.44, dove viene evidenziata l'elevazione dei nodi assieme al diametro delle condotte terminanti nel nodo interessato dall'analisi. Dalla tabella si nota come in alcuni nodi la pressione risulta negativa, a indice del fatto che la rete non riesce a convogliare una portata cos  elevata in tali nodi. Nello specifico, si nota come i nodi con diametro inferiore ai 50 mm comportano una pressione negativa a causa

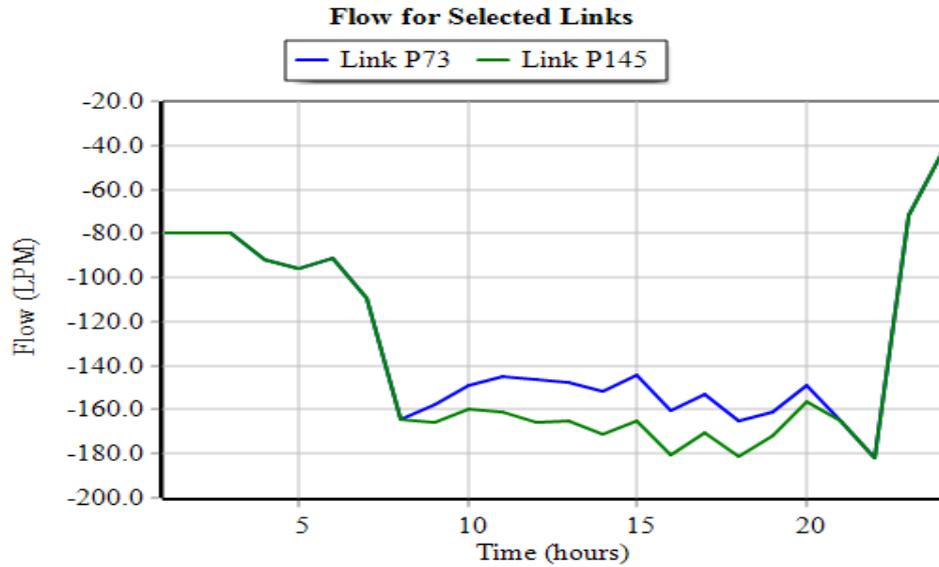


Figura 3.41: Andamento delle portate nei link P73 e P145 - Scenario 3

delle alte perdite di carico. Eccezion fatta per il nodo 120, che nonostante abbia un diametro di 50 mm non verifica la rete, a causa di una maggiore lunghezza della condotta stessa. Per i nodi in cui la portata risulta negativa, sono state calcolate, per tentativi, le massime portate convogliabili a tali nodi, in modo che la pressione risulti sempre positiva. Per quest'ultimi è stata nuovamente ricavata sia la velocità massima che quella minima, riportati in tabella 3.20.

In conclusione, tramite lo scenario 3, sono state analizzate diverse condizioni di domanda idrica ai nodi per poter circoscrivere le possibili aree in cui si è potuto verificare l'aumento di consumi. Inoltre, è stato possibile osservare il comportamento dell'intera rete, evidenziando la redistribuzione delle portate nelle varie condotte, in condizioni di stress idrico, ovvero con un'elevata richiesta ai nodi, evidenziando l'importante funzione svolta dalle maglie della rete, in particolare di quella esterna che risulta maggiormente coinvolta nella distribuzione della portata. Inoltre, si è visto come le velocità in condotta risultino comunque abbastanza contenute, nonostante le elevate portate in circolo nella rete.

Tabella 3.19: Risultati dello scenario 3

Nodo	Elev (m)	Link	Diametro (mm)	V. min (m/s)	V. max (m/s)	Note:
28	5	P27	32	2,06	9,42	Pressione negativa
33	5	P32	50	0,85	3,86	
39	5	P39	80	0,33	1,51	
43	5	P43	32	2,06	9,42	Pressione negativa
48	5	P47	32	2,06	9,42	Pressione negativa
54	5	P52	50	0,85	3,86	
63	5	P62	100	0,21	0,96	
73	15	P72	50	0,85	3,86	
84	5	P85	50	0,85	3,86	
109	5	P110	50	0,85	3,86	
117	10	P118	40	1,32	6,03	Pressione negativa
118	5	P211	32	2,06	9,42	Pressione negativa
120	5	P122	50	0,85	3,86	Pressione negativa
126	10	P123	80	0,33	1,51	
131	0	P131	80	0,33	1,51	
141	5	P140	15	9,39	42,86	Pressione negativa
143	15	P143	25	3,38	15,43	Pressione negativa
148	5	P148	25	3,38	15,43	Pressione negativa

Tabella 3.20: Risultati scenario 3 - Nodi pressione negativa

Nodo	Q max ammissibile (l/min)	V. min (m/s)	V. max (m/s)
28	167	1,11	5,05
43	178	1,18	5,39
48	104	0,69	3,15
117	226	0,96	4,38
118	117	0,78	3,54
120	274	0,74	3,40
141	45	1,36	6,20
143	63	0,68	3,12
148	59	0,64	2,92

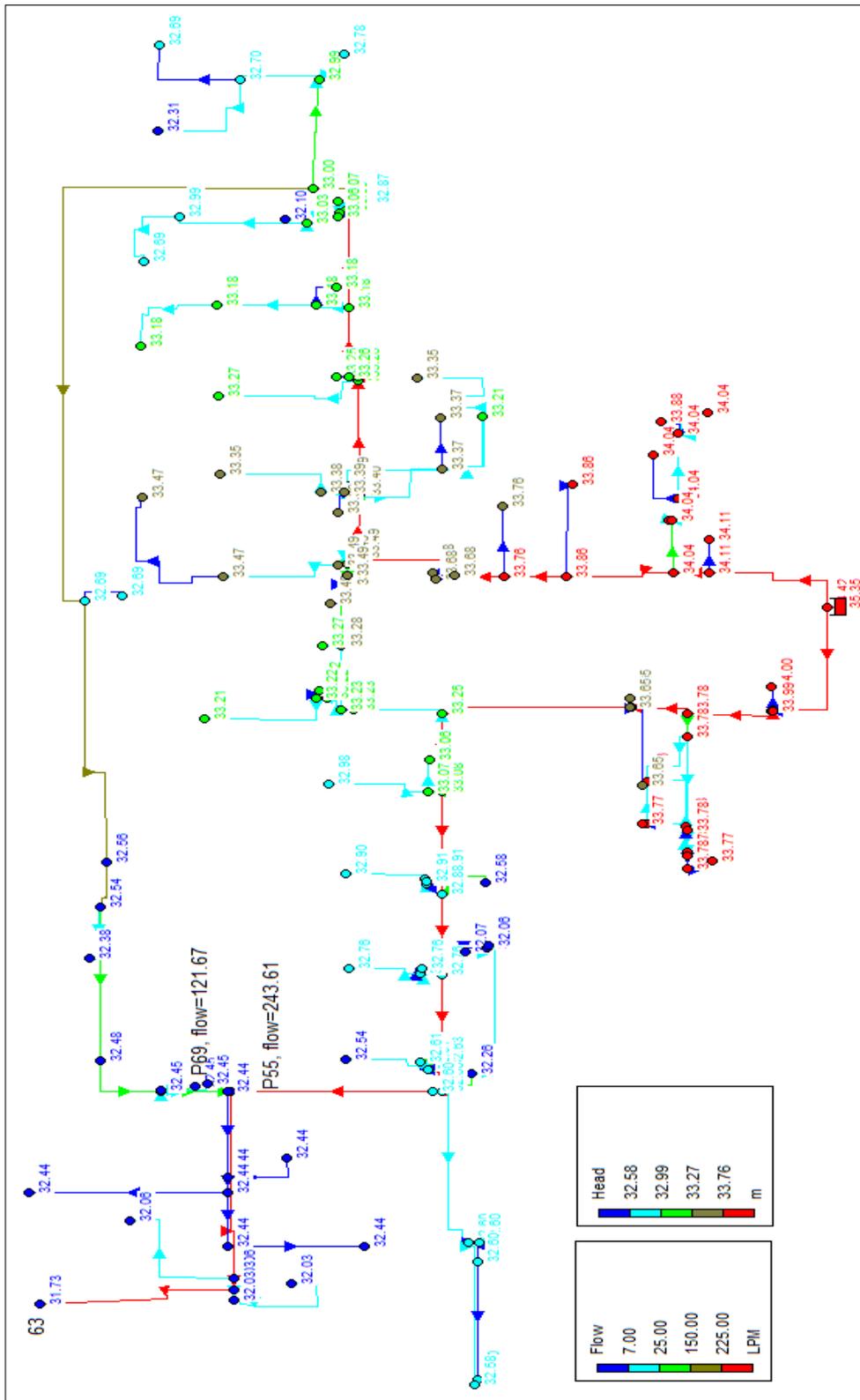


Figura 3.42: Risultati nodo 63 scenario 3 - Ore 15:00

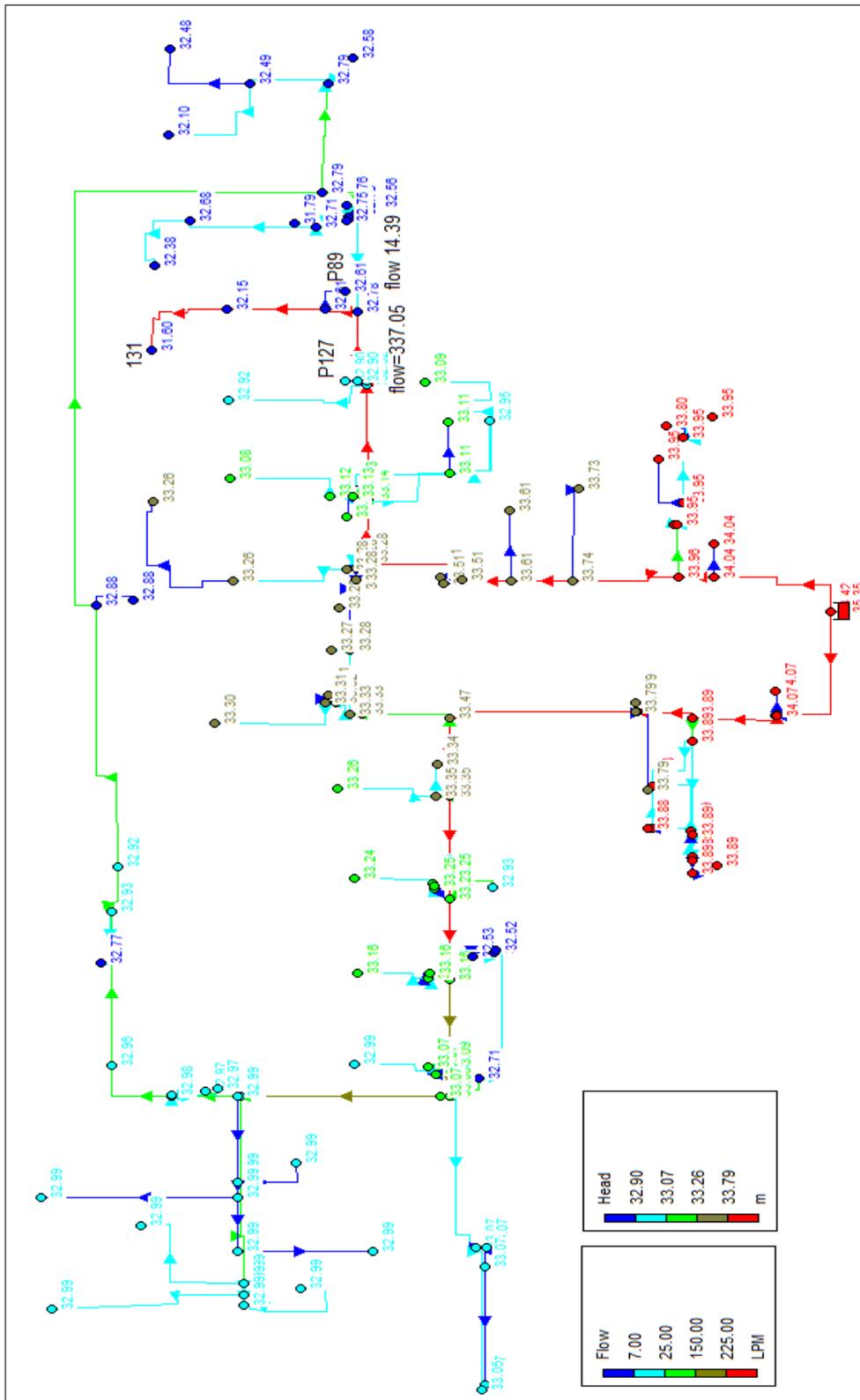


Figura 3.43: Risultati nodo 131 scenario 3 - Ore 15:00

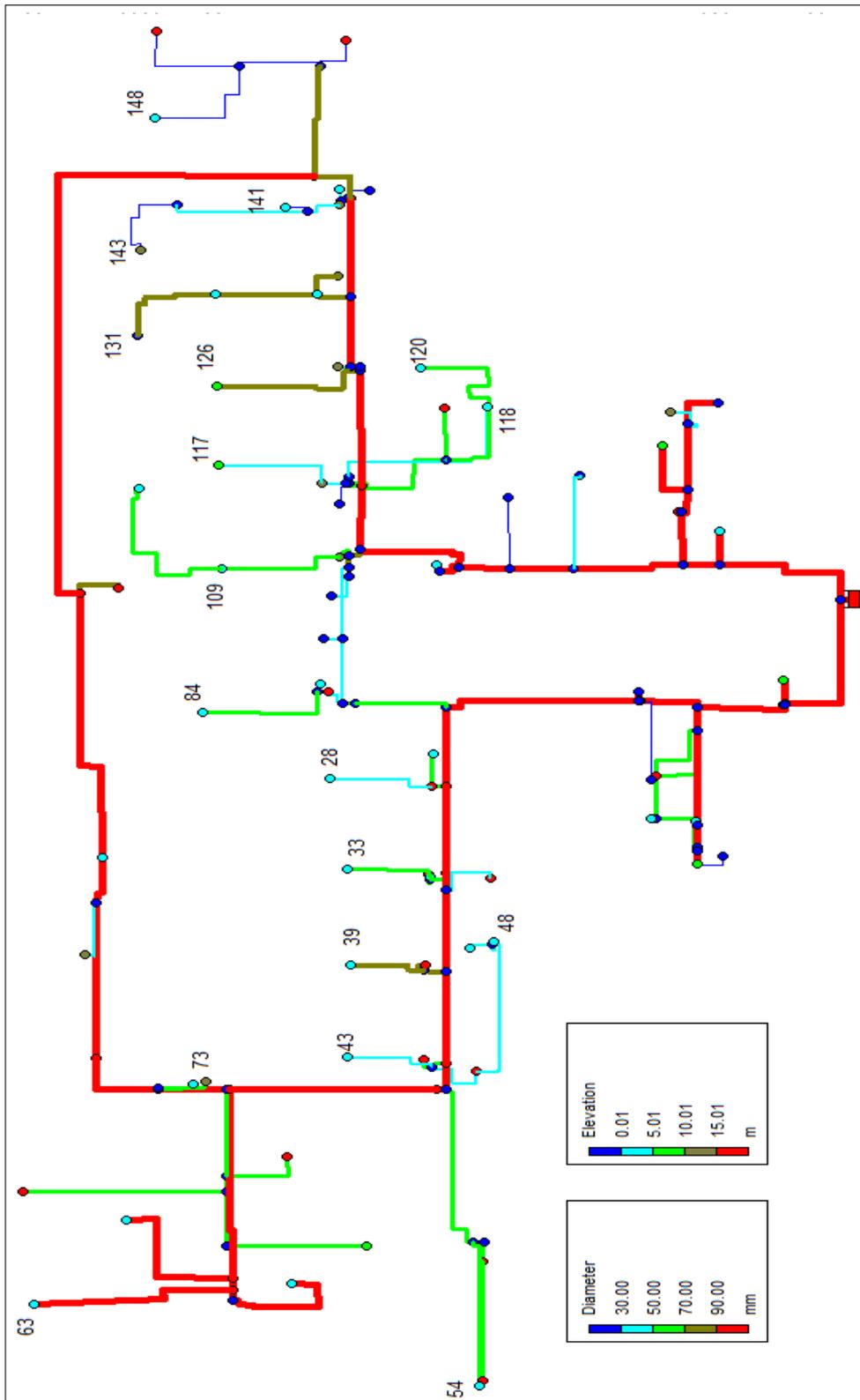


Figura 3.44: Distribuzione spaziale dei nodi di laboratorio analizzati

3.3 Proposte d'intervento

Nelle sezioni precedenti, sono stati analizzati i consumi dell'acqua potabile della Sede Centrale del Politecnico di Torino e, inoltre, si è cercato di ricostruire il profilo di consumo relativo alle varie utenze. In questa sezione, si vogliono presentare delle tecnologie e dei metodi per andare a limitare i consumi, riducendo principalmente gli sprechi.

Se da un lato certi valori di consumo risultano necessari, quali, ad esempio i prelievi dei laboratori, dei servizi ausiliari, dei bar e mense, dall'altro si potrebbe cercare di tenerli sotto controllo, qualora si ritengano eccessivi. Per poter controllare attivamente i consumi delle principali utenze, è necessario ampliare il sistema di monitoraggio dell'acqua esistente, in quanto, essendo presente nel solo punto d'ingresso della rete, non consente di individuare in maniera precisa, l'utenza responsabile del prelievo anomalo. Chiariamo subito che, il concetto di prelievo anomalo, può essere causato da un'intensificazione della normale attività di laboratorio, così come da una variazione, un cambio, di macchinari, o di progetto, che prevedono l'utilizzo di acqua come fluido di processo, oppure, il caso di un maggiore consumo non giustificato causato, ad esempio, da sprechi o utilizzi eccessivi rispetto alla condizione normale di lavoro. In quest'ultimo caso, è quindi possibile intervenire per limitare il prelievo di acqua, utilizzando gli strumenti di monitoraggio, ovvero si deve prevedere l'installazione di misuratori di portata in grado di acquisire e tramettere i valori rilevati, nonché di una postazione per la registrazione e l'elaborazione dei dati, con l'obiettivo di individuare la causa dell'incremento.

Per poter individuare in maniera univoca la causa responsabile dell'aumento di consumo, è necessario installare gli strumenti di monitoraggio su ogni tubazione che costituisce una diramazione, dalla rete principale verso ogni laboratorio. In questo modo, le utenze che più sono soggette ad un aumento di consumo idrico, risultano monitorate e controllate, garantendo l'individuazione puntuale della causa di tale incremento. In questa configurazione, l'ostacolo principale alla sua realizzazione, sarebbe l'elevato numero di strumenti da mettere in campo, anche se, l'investimento garantirebbe sicuramente un ritorno, sia ambientale, tramite la miglior gestione della risorsa idrica, che ovviamente economica, con il minor fatturato in bolletta.

Un'altra metodologia, per limitare l'installazione degli strumenti di misura, prevede il loro inserimento soltanto in alcuni punti della rete, definiti in modo tale da poter compartimentare la rete, al fine di individuare l'area nella quale si verifica l'aumento di consumo. Oltre al misuratore presente, in questa configurazione, si prevede l'inserimento di altri 4 misuratori di portata, localizzati nei punti individuati nella figura 3.45. La loro posizione, con una coppia situata ai lati della maglia esterna di condotte e l'altra sulle ramificazioni laterali delle dorsali di destra e sinistra, è stata studiata in modo tale, da formare 4 zone distinte, sulla quale poter calcolarne i relativi consumi. In questa configurazione, l'utenza non risulta più individuata in maniera univoca, ma è da ricercarsi all'interno della relativa area.

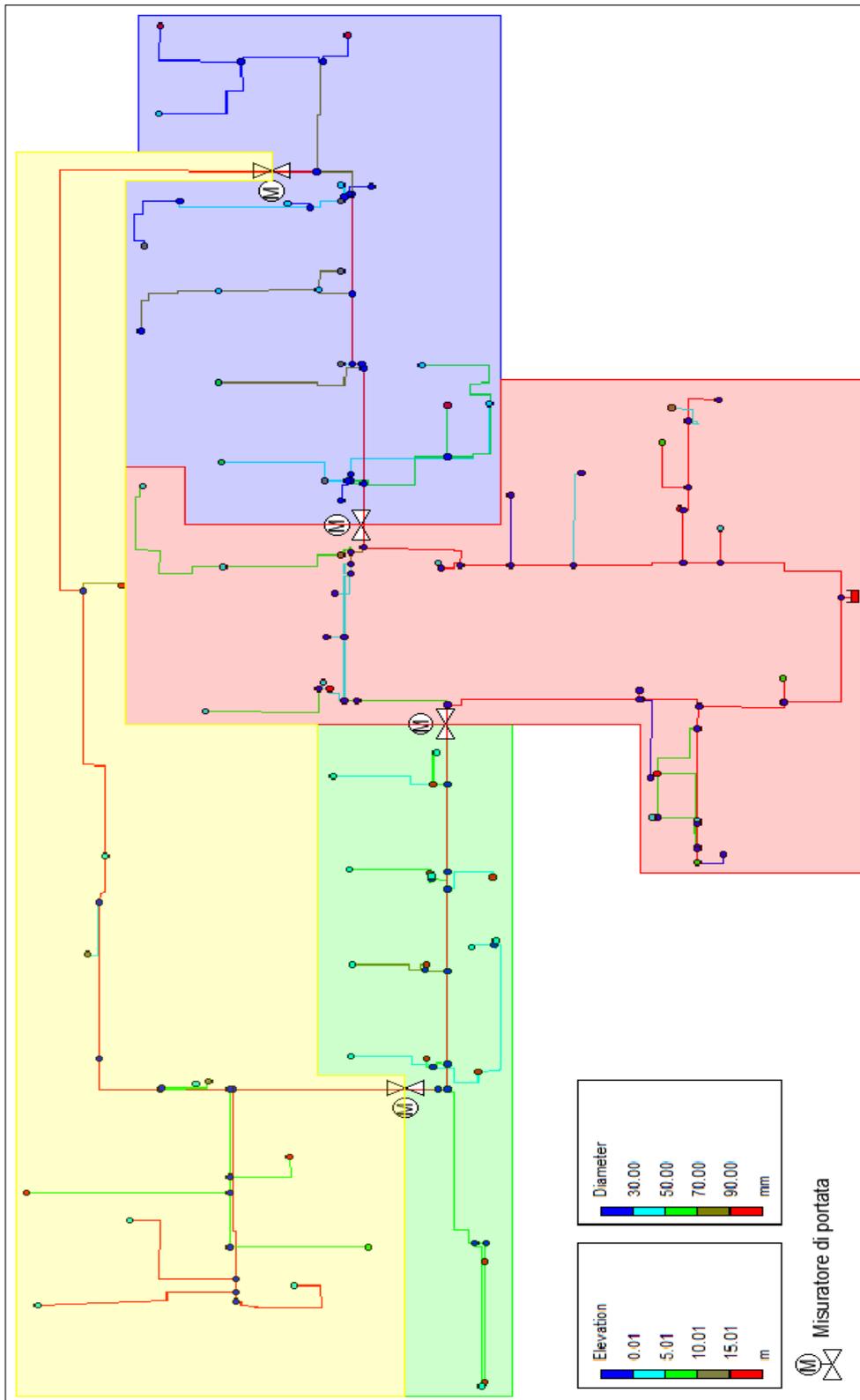


Figura 3.45: Punti di installazione dei misuratori di portata

Oltre alla riduzione dei consumi per le utenze di laboratorio, è possibile effettuare degli interventi per la diminuzione dei consumi relativi ai servizi igienici. Durante la campagna di rilievo, sono anche state valutate le forniture relative dei vasi e dei lavabi, al fine di considerare l'eventuale sostituzione di alcuni componenti per il conseguimento di un risparmio idrico. Dal sopralluogo sono stati individuati numerosi servizi nella quale sono presenti scarichi di tipo monoflusso, per i wc, mentre i lavabi sono spesso dotati di miscelatore monocomando. Queste tipologie di tecnologie risultano svantaggiose, dal punto di vista dei consumi, in quanto i primi non consentono di regolare il volume d'acqua da utilizzare nello scarico, mentre, i secondi, sono spesso la causa di sprechi di acqua poiché utilizzati nella maniera scorretta o perché se ne dimentica la chiusura. Per ovviare a questi sprechi di acqua potabile, sono disponibili sul mercato dei dispositivi, anche a basso prezzo, che consentono di risolvere queste problematiche, senza peggiorare la qualità del servizio.

In particolare, per i vasi, si suggerisce l'installazione di cassette a doppio pulsante, in ogni servizio igienico presente nell'Ateneo, per ridurre il volume utilizzato nello scarico (il volume delle cassette più recenti va dai 3 litri, per lo scarico parziale, ai 6 litri per quello completo). Per non sostituire la tecnologia attualmente installata, un metodo per ridurre l'eccessivo volume di scarico, prevede l'inserimento di oggetti nella cassetta, ad esempio bottiglie di plastica riempite di sabbia, per diminuire il volume d'acqua immagazzinato e, di conseguenza, utilizzato nello scarico.

Se nel caso dei vasi è possibile ridurre il consumo limitando il volume dello scarico, per i lavabi sono invece possibili diverse soluzioni per il risparmio idrico. Il più comune intervento di riduzione dei consumi, è l'installazione di dispositivi frangigetto. Questi dispositivi, da installare nella parte terminale del rubinetto, creano una miscela di aria-acqua, che va a diminuire il volume di acqua in uscita dal rubinetto stesso. Il frangigetto non riduce il volume totale in uscita dal rubinetto, ma soltanto quello di acqua, dato che una parte del volume totale è costituita da aria, garantendo un risparmio di circa il 20% del volume utilizzato, variabile a seconda del modello. Questi dispositivi sono comunemente già presenti nei rubinetti, essendo montati in fase di fabbricazione, mentre in quelli più datati risultano assenti. La loro facilità di installazione non richiede, inoltre, la presenza di un idraulico, consentendo di limitare i costi di installazione, visto il bassissimo prezzo di questi dispositivi, che parte dai 50 centesimi, fino ai 2 €, cadauno.

Un dispositivo più efficace dei frangigetto, è il riduttore di flusso che permette di ridurre addirittura il 50% in più del volume, rispetto al frangigetto. Questo dispositivo è un rompigetto aerato, di forma cilindrica installato al posto del frangigetto, che permette di ridurre il flusso di acqua erogata, frammentando l'acqua in piccole particelle e miscelandola con l'aria presente nel getto, senza incidere sulla resa e sul comfort del getto stesso. Il dispositivo, consente di limitare la pressione, stabilizzandola e regolandone la portata. Questo dispositivo è, quindi, l'insieme

di un miscelatore aria-acqua e di un riduttore di portata. Anche in questo caso, il costo è limitato, partendo da circa i 2 ai 10 € al pezzo. Anche in questo caso, l'installazione è molto semplice, di rapida esecuzione e non prevede la presenza di un idraulico.

I dispositivi visti in precedenza, consentono di ridurre il volume utilizzato, senza eliminare gli sprechi di acqua dovuti ad un eccessivo utilizzo o a rubinetti lasciati aperti. Questi problemi sono risolvibili tramite la sostituzione del rubinetto con tecnologie in grado di limitare l'erogazione nel tempo dell'acqua. La soluzione qui descritta, prevede l'installazione di rubinetti temporizzati. Questi sono dei dispositivi automatici che si azionano premendo un pulsante, posto sul rubinetto, che consentono di definire a priori il tempo di erogazione dell'acqua. Il risparmio derivato da questo dispositivo, viene conseguito limitando l'uso irrazionale delle persone, pari a circa il 25%, ed evitando che i rubinetti vengano lasciati aperti.

Un altro dispositivo che ne segue i medesimi principi, è il rubinetto elettronico. Questo dispositivo, consente di usufruire del flusso di acqua avvicinando le mani al sensore posto in prossimità dell'uscita del getto. Il grande vantaggio di questa tecnologia, viene conseguito erogando l'acqua soltanto per il tempo necessario all'utente, garantendo un risparmio di circa il 50% sul volume utilizzato. La nota dolente di questi dispositivi è senz'altro il prezzo che varia dai 50 ai 200 € per le migliori marche sul mercato.

Capitolo 4

Conclusioni

Dalle analisi effettuate sui valori di portata in ingresso al Politecnico di Torino, è stato possibile trarne delle conclusioni.

La prima parte del lavoro ha riguardato l'analisi dei dati di portata, rilevati dal sistema di monitoraggio della Sede Centrale, al fine di tracciare un profilo di consumo dell'utenza. I dati di consumo sono disponibili grazie ad un sistema di monitoraggio che acquisisce il valore di portata ad intervalli di 15 minuti. La serie di dati a disposizione inizia il 1 gennaio del 2009 e termina il 23 luglio 2019, giorno di richiesta dell'estrazione dei valori di consumo.

La prima analisi è stata svolta tramite l'ausilio del software *Matlab*, tramite il quale si sono potute effettuare diverse analisi partendo dai dati a disposizione. In particolare, si è iniziata l'analisi aggregando i dati per descrivere la più ragionevolmente ampia finestra di tempo, in modo tale da ricavare un andamento globale del consumo. In seguito, si è proceduto restringendo progressivamente l'intervallo temporale di analisi. Nello specifico, si è partiti costruendo le serie storiche relative ad ogni anno di dati disponibili, esprimendo il dato come consumo totale giornaliero. Alle serie storiche, è stato affiancato un ulteriore elemento per conferire maggiore dettaglio alle analisi, quale il calendario cronologico delle attività accademiche. Tramite quest'ultimo si sono suddivisi i giorni in tre tipologie, in funzione dell'attività svolta all'interno dell'Ateneo, quali: lavorativo, sessione esami di profitto e festivo. Dalle analisi condotte è risultata una certa somiglianza nei valori di consumo relativi ai giorni lavorativi e di sessione esami, a indicare una simile composizione dell'utenza finale dell'acqua, invece i giorni festivi risultano essere nettamente differenti, in termini di consumo, rispetto alle altre due categorie. Successivamente è stata analizzata la scala temporale mensile al fine di individuare comportamenti peculiari tra i vari anni e tra gli stessi mesi. In seguito, l'intervallo di tempo si è concentrato sulla definizione di una settimana tipo, al fine di descrivere il comportamento dei consumi in una settimana in cui le attività vengono svolte a regime. Per quest'ultima scala, sono stati valutati i consumi utilizzando sia i consumi giornalieri che quelli orari. Partendo dai consumi orari, è stato definito il

giorno tipo corrispondente alle varie tipologie di giorno sopraelencate. Un'ultima distinzione è stata condotta suddividendo i prelievi diurni, dalle 8:00 alle 20:00, da quelli notturni, dalle 20:00 alle 8:00. Tramite questa distinzione è stato possibile circoscrivere nel tempo le varie anomalie nei consumi e di caratterizzare maggiormente la tipologia di utenza. Infine, sono stati calcolati i valori di dotazione, per ottenere un indice di confronto con quelli che sono i valori di consumo domestico. Oltre alla dotazione, l'utenza è stata caratterizzata calcolando i coefficienti di punta per evidenziare le grandi variazioni di prelievo che sussistono durante le scale di tempo descritte in precedenza.

La seconda parte del presente elaborato di tesi, è formata dalla costruzione del modello idraulico al fine di descrivere la distribuzione spaziale della domanda idrica tramite la ricostruzione dei profili di consumo per le varie utenze individuate.

La costruzione del modello idraulico è stata effettuata tramite il software *Epanet* che consente di effettuare delle simulazioni numeriche di reti in pressione. La costruzione del modello è stata basata sul rilievo delle tubazioni di adduzione dell'acqua potabile, effettuato nell'ottobre del 2015, nella quale sono indicate le dimensioni delle condotte nonché l'utenza servita nei vari punti di diramazione. Sono state individuate quattro tipologie di utenze quali, laboratori, servizi sanitari, bar e mense ed infine i servizi ausiliari, anche se quest'ultimi non sono stati rappresentati nei vari scenari in quanto ritenuti trascurabili. In seguito, si sono definiti vari scenari nella quale sono state ipotizzate diverse condizioni di consumo da assegnare alle varie utenze. In particolare, con il primo scenario si vuole rappresentare il giorno tipo lavorativo dell'anno 2018, ricavato dalle analisi effettuate nella prima parte del lavoro, utilizzando, per le varie utenze, dei valori medi di prelievo. Con il secondo, si è voluto ricostruire lo stesso profilo di consumo, andando però a caratterizzare l'utenza relativa ai servizi igienici spazialmente, tramite una campagna di rilievo e quantitativamente tramite dei affiancando i valori presenti in letteratura, con il monitoraggio effettuato durante la campagna di rilievo. Nel terzo scenario, si è voluto ricostruire il flusso di portata presente nella rete, nella condizione di massimo utilizzo, calcolato utilizzando le analisi svolte nella prima parte relative ai coefficienti di punta. In questo scenario sono state considerate diverse condizioni di prelievo al fine di localizzare le aree potenzialmente interessate dal maggior incremento nel prelievo di acqua potabile.

In conclusione, il lavoro svolto ha permesso di delineare l'andamento dei consumi con un elevato grado di dettaglio, di avanzare delle proposte di intervento riguardanti i dispositivi installati nei servizi igienici, ed inoltre si sottolinea come, tramite le analisi svolte sul modello idraulico, sia stato possibile individuare le tubazioni più adatte ad un ampliamento del sistema di monitoraggio dei consumi, al fine di migliorare la gestione della risorsa idrica.

Appendice A

Grafici integrativi

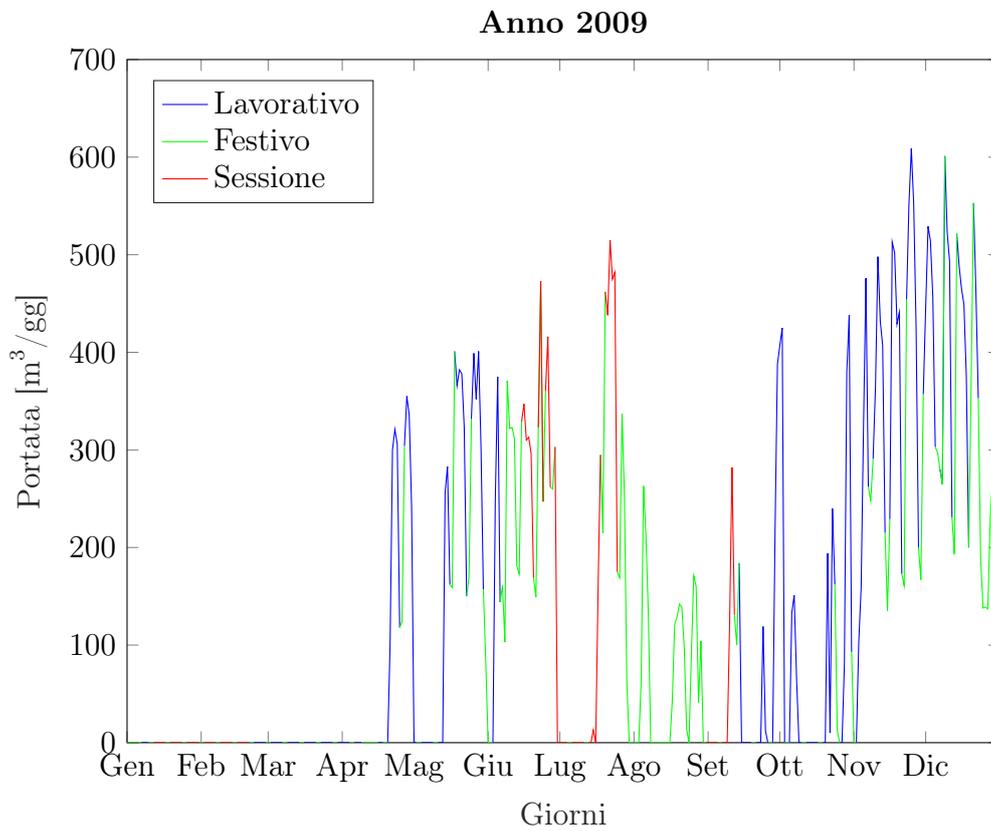


Figura A.1: Andamento dei consumi nell'anno 2009

Tabella A.1: Risultati della suddivisione dell'anno 2009

Tipologia	Volume (m ³)	Numero di giorni (-)	Portata media (m ³ /gg)
Lavorativo	25 784,00	73	353,21
Sessione esami	6 419,00	19	337,84
Festivo	13 578,00	75	181,04

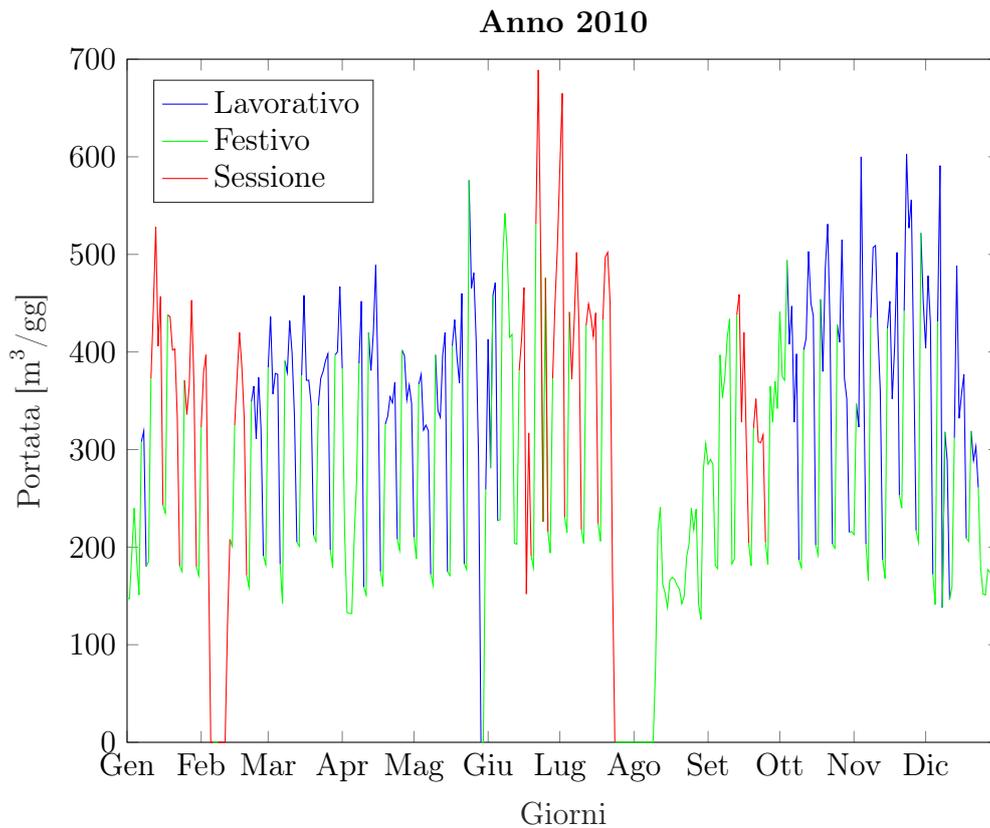


Figura A.2: Andamento dei consumi nell'anno 2010

Tabella A.2: Risultati della suddivisione dell'anno 2010

Tipologia	Volume (m ³)	Numero di giorni (-)	Portata media (m ³ /gg)
Lavorativo	51 143,00	127	402,70
Sessione esami	25 833,00	64	403,64
Festivo	32 164,00	148	217,32

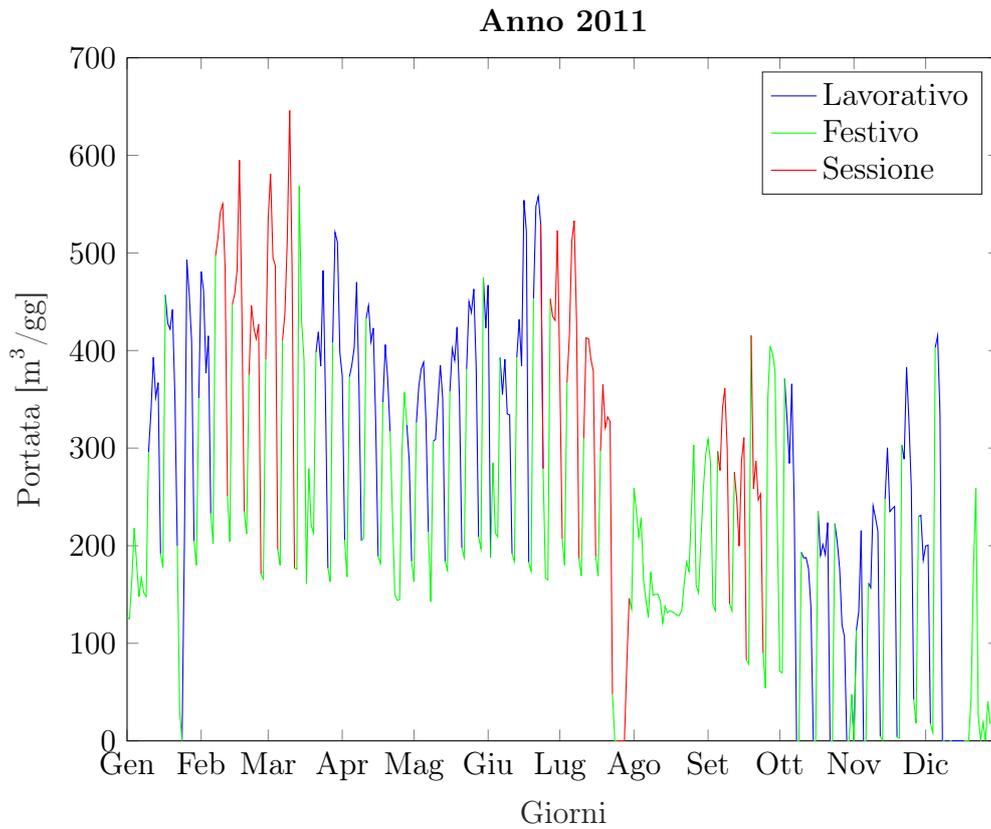


Figura A.3: Andamento dei consumi nell'anno 2011

Tabella A.3: Risultati della suddivisione dell'anno 2011

Tipologia	Volume (m ³)	Numero di giorni (-)	Portata media (m ³ /gg)
Lavorativo	43 464,80	128	339,57
Sessione esami	24 530,80	61	402,14
Festivo	25 241,10	148	170,55

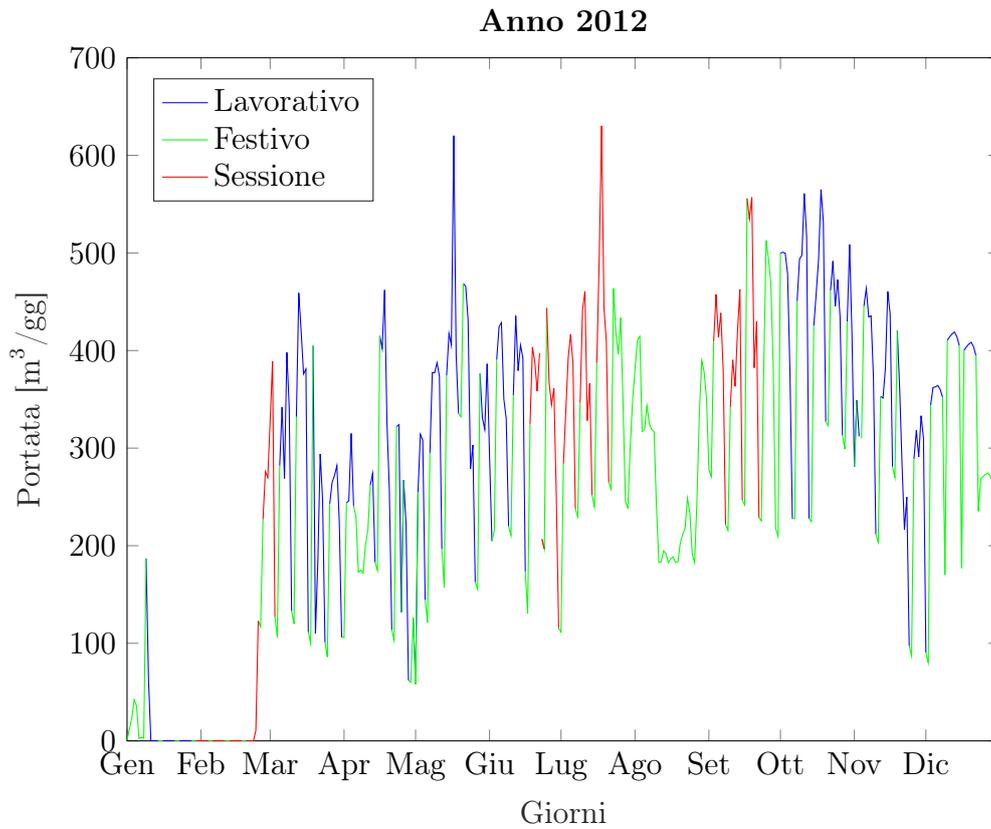


Figura A.4: Andamento dei consumi nell'anno 2012

Tabella A.4: Risultati della suddivisione dell'anno 2012

Tipologia	Volume (m ³)	Numero di giorni (-)	Portata media (m ³ /gg)
Lavorativo	47 741,39	129	370,09
Sessione esami	17 803,74	46	387,04
Festivo	32 638,60	147	222,03

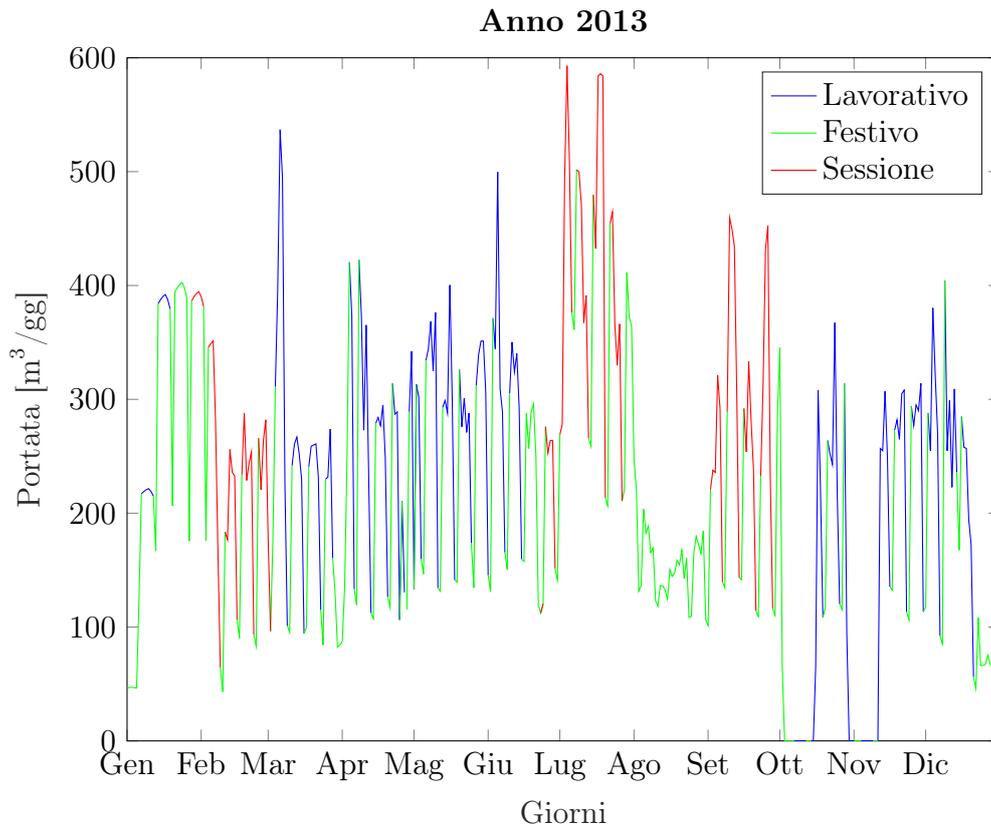


Figura A.5: Andamento dei consumi nell'anno 2013

Tabella A.5: Risultati della suddivisione dell'anno 2013

Tipologia	Volume (m ³)	Numero di giorni (-)	Portata media (m ³ /gg)
Lavorativo	34 799,61	117	297,43
Sessione esami	23 368,69	69	338,68
Festivo	24 423,79	153	159,63

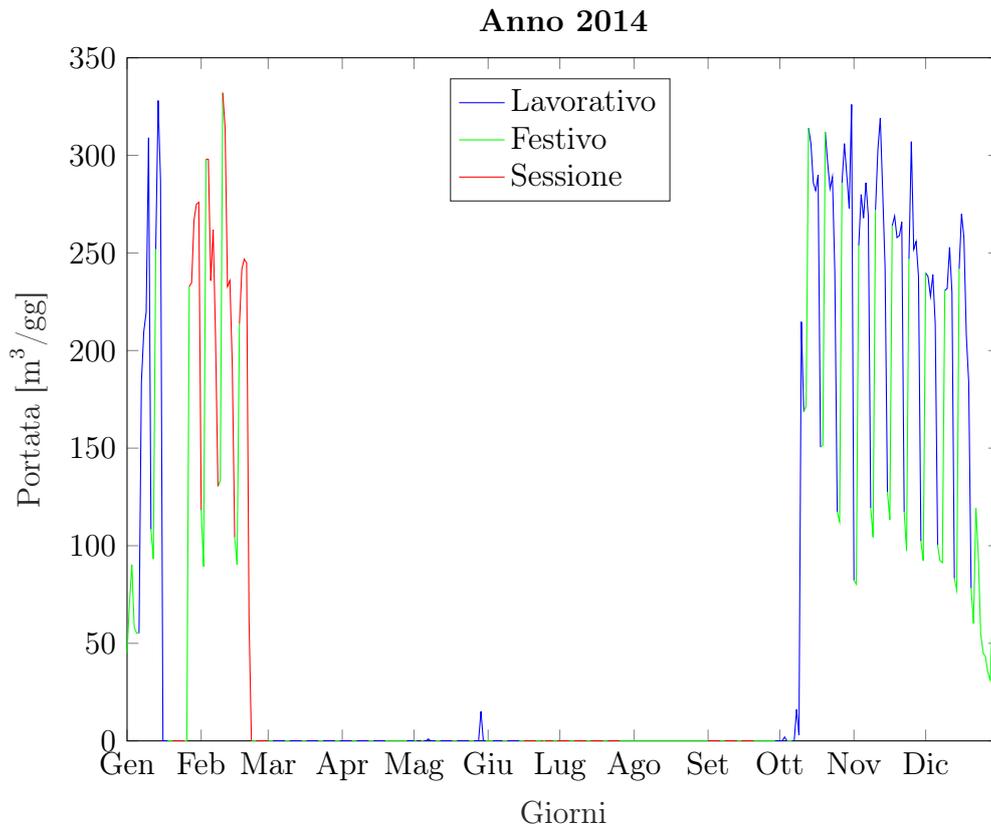


Figura A.6: Andamento dei consumi nell'anno 2014

Tabella A.6: Risultati della suddivisione dell'anno 2014

Tipologia	Volume (m ³)	Numero di giorni (-)	Portata media (m ³ /gg)
Lavorativo	15 129,27	63	240,15
Sessione esami	4902,61	20	245,13
Festivo	4283,51	46	93,12

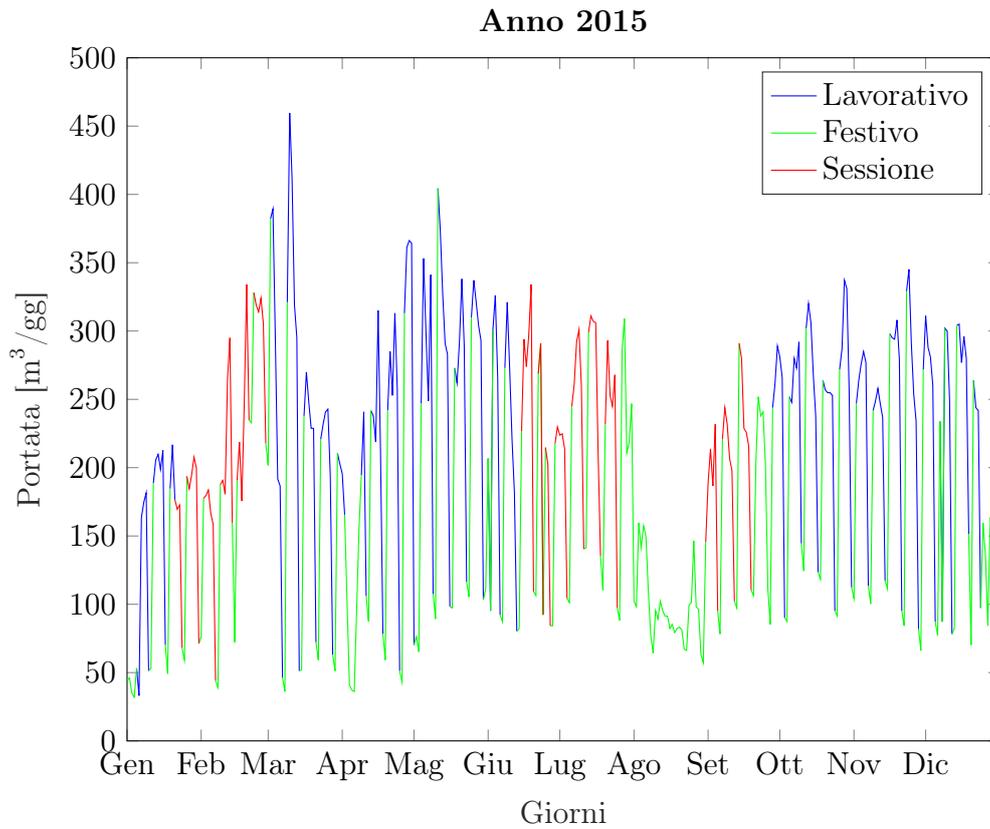


Figura A.7: Andamento dei consumi nell'anno 2015

Tabella A.7: Risultati della suddivisione dell'anno 2015

Tipologia	Volume (m ³)	Numero di giorni (-)	Portata media (m ³ /gg)
Lavorativo	38 296,77	142	269,70
Sessione esami	17 144,09	72	238,11
Festivo	15 932,99	151	105,52

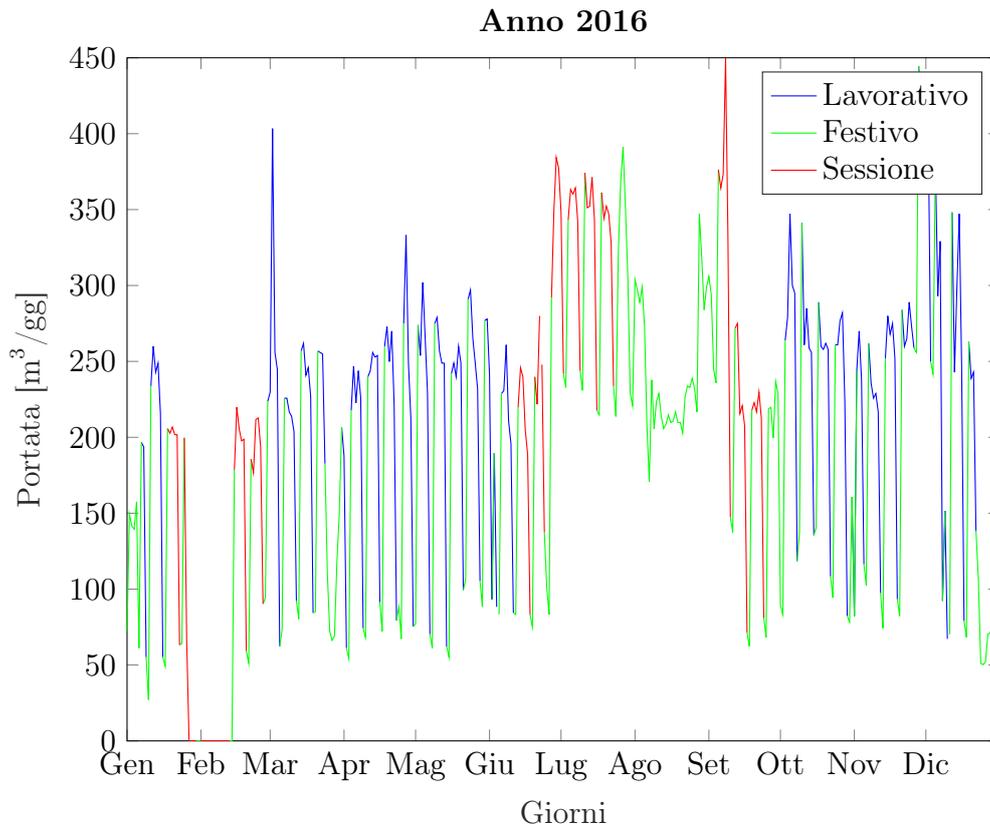


Figura A.8: Andamento dei consumi nell'anno 2016

Tabella A.8: Risultati della suddivisione dell'anno 2016

Tipologia	Volume (m ³)	Numero di giorni (-)	Portata media (m ³ /gg)
Lavorativo	34 192,86	131	261,01
Sessione esami	16 587,21	61	271,92
Festivo	23 034,04	155	148,61

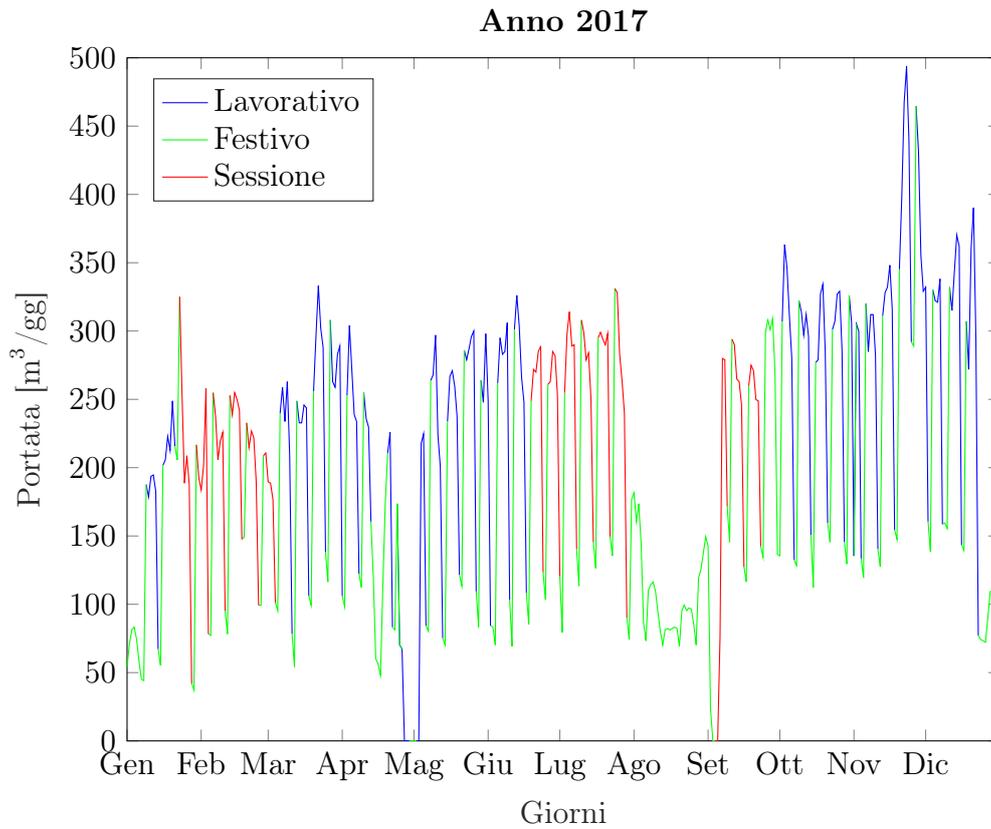


Figura A.9: Andamento dei consumi nell'anno 2017

Tabella A.9: Risultati della suddivisione dell'anno 2017

Tipologia	Volume (m ³)	Numero di giorni (-)	Portata media (m ³ /gg)
Lavorativo	37 658,61	131	287,47
Sessione esami	18 451,52	73	252,76
Festivo	17 594,62	151	116,52

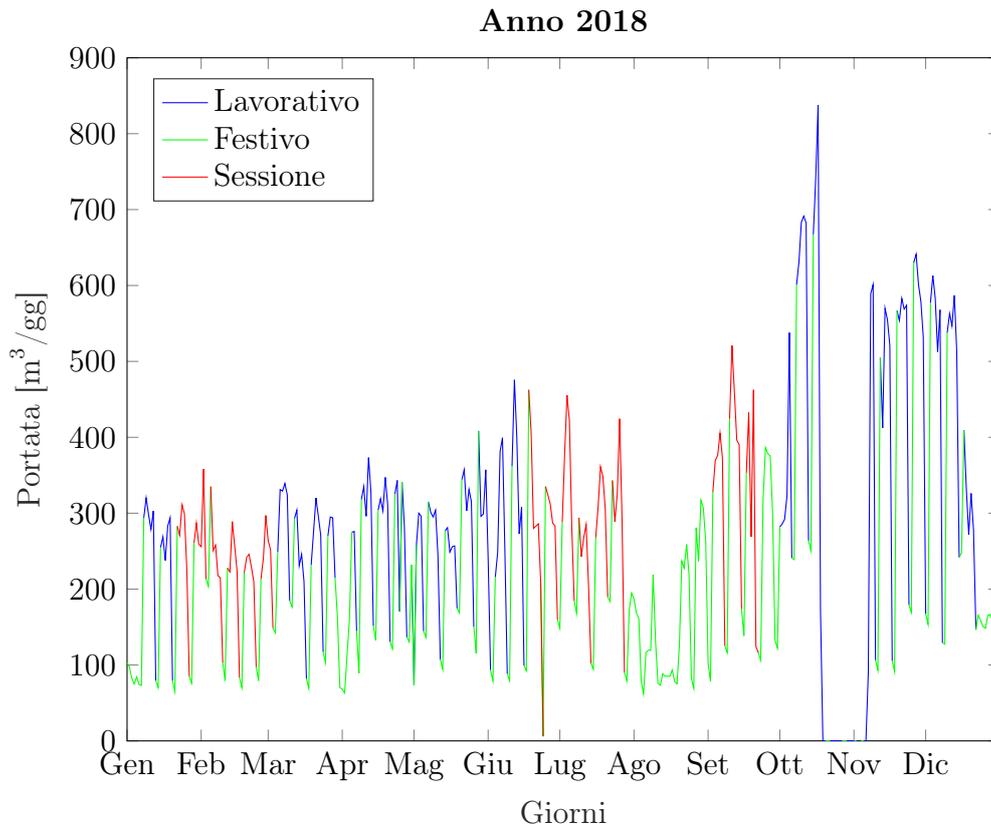


Figura A.10: Andamento dei consumi nell'anno 2018

Tabella A.10: Risultati della suddivisione dell'anno 2018

Tipologia	Volume (m ³)	Numero di giorni (-)	Portata media (m ³ /gg)
Lavorativo	47 768,86	125	382,15
Sessione esami	23 047,09	75	307,29
Festivo	20 813,53	146	142,56

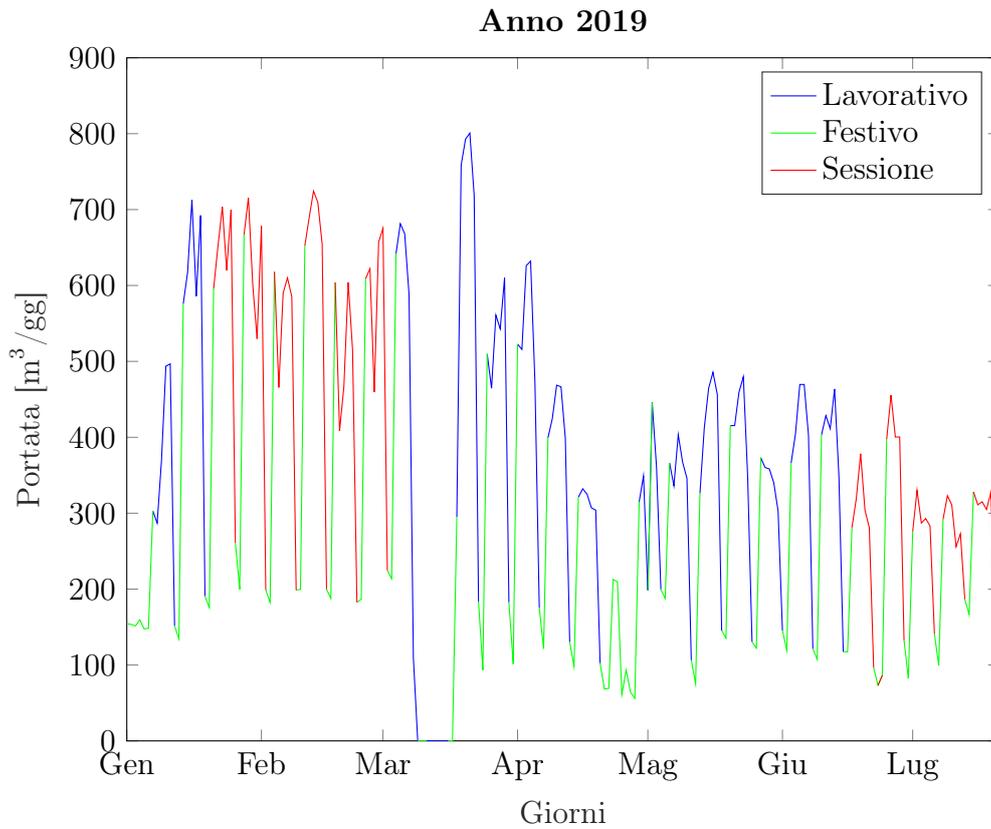


Figura A.11: Andamento dei consumi nell'anno 2019

Tabella A.11: Risultati della suddivisione dell'anno 2019

Tipologia	Volume (m ³)	Numero di giorni (-)	Portata media (m ³ /gg)
Lavorativo	33 847,69	74	457,40
Sessione esami	26 680,41	56	476,44
Festivo	9416,91	65	144,88

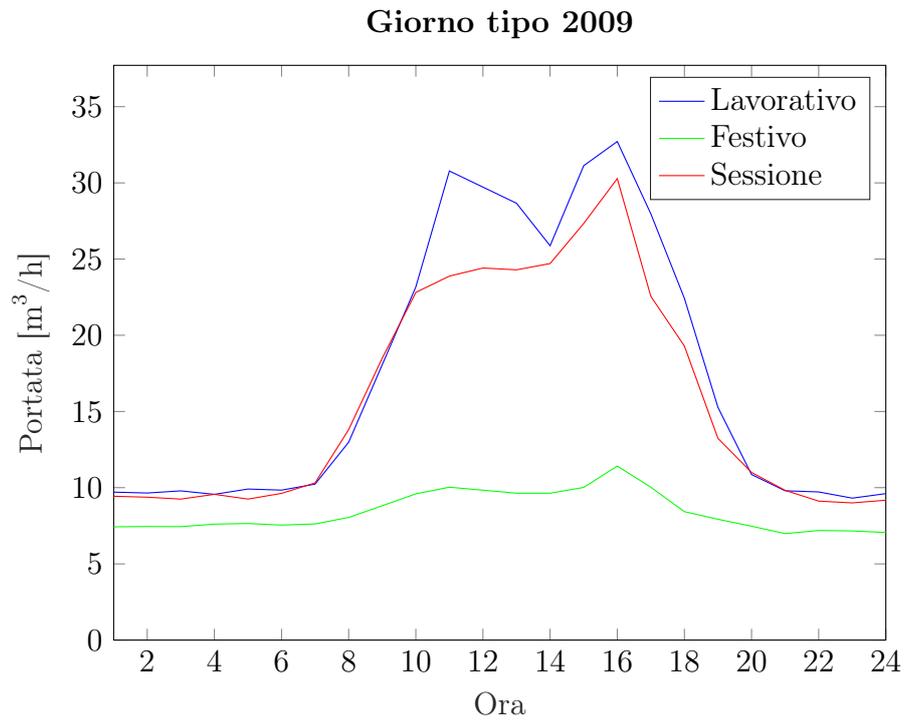


Figura A.12: Andamento dei consumi nel giorno tipo dell'anno 2009

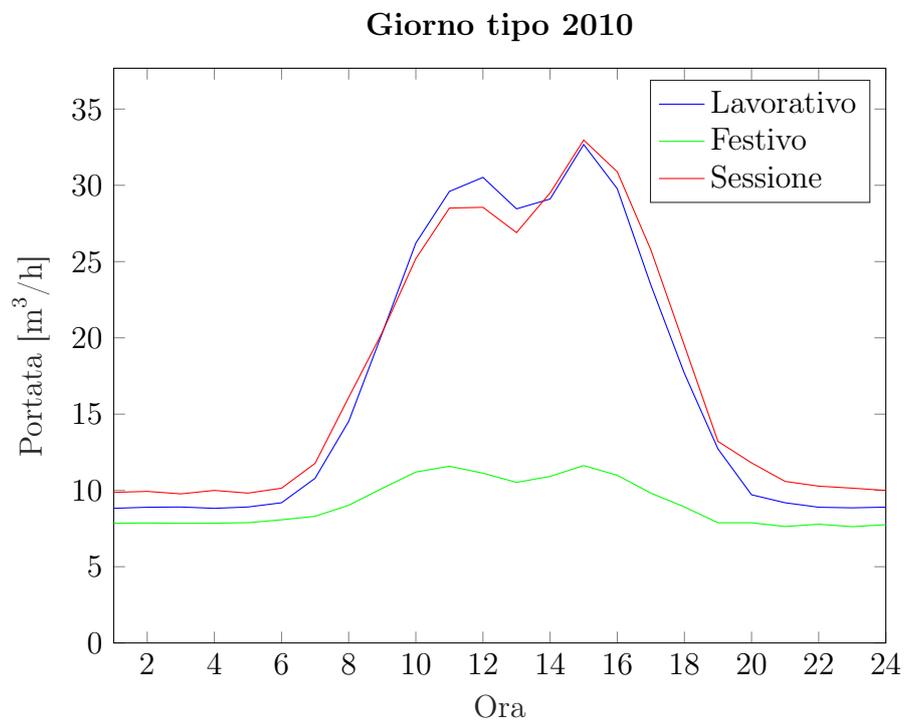


Figura A.13: Andamento dei consumi nel giorno tipo dell'anno 2010

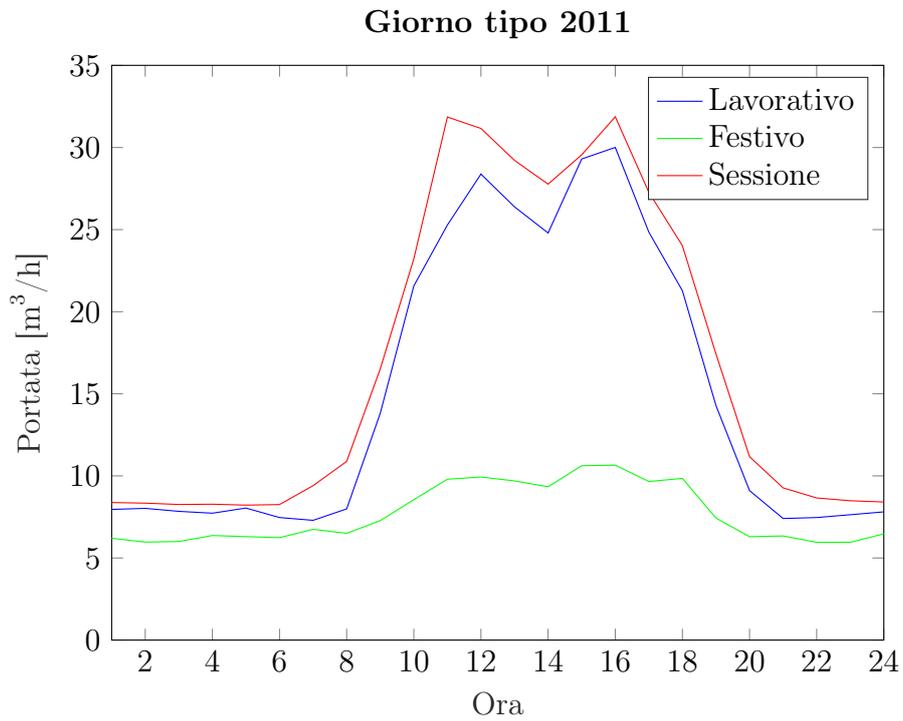


Figura A.14: Andamento dei consumi nel giorno tipo dell'anno 2011

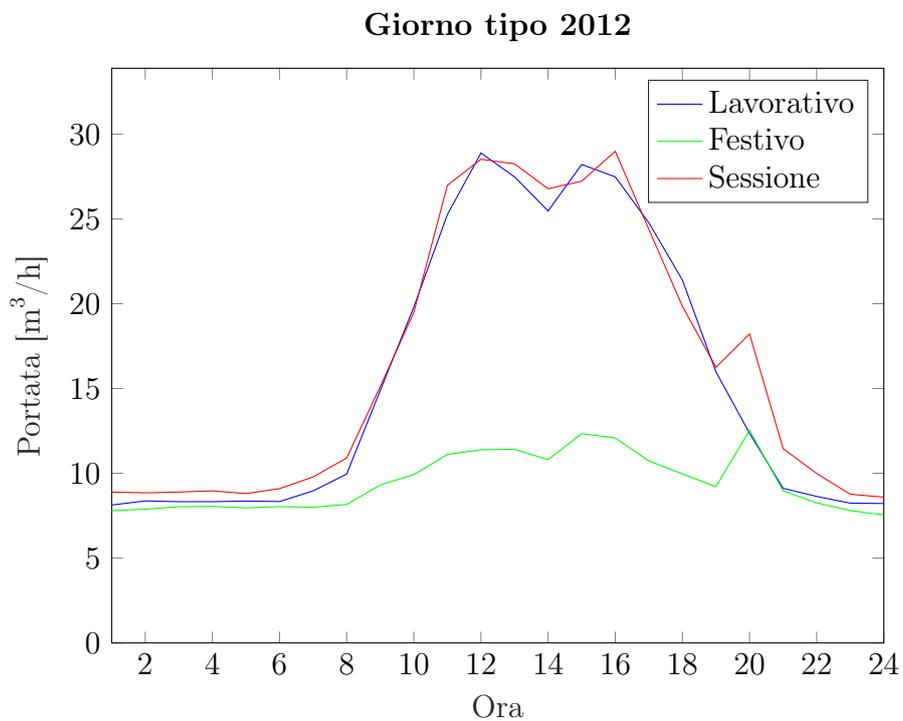


Figura A.15: Andamento dei consumi nel giorno tipo dell'anno 2012

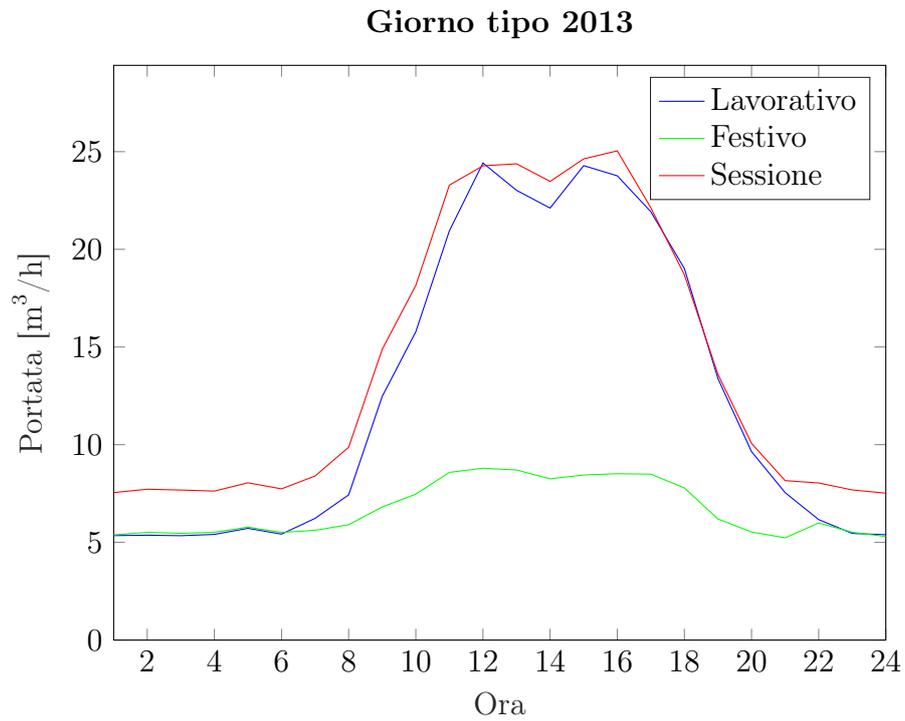


Figura A.16: Andamento dei consumi nel giorno tipo dell'anno 2013

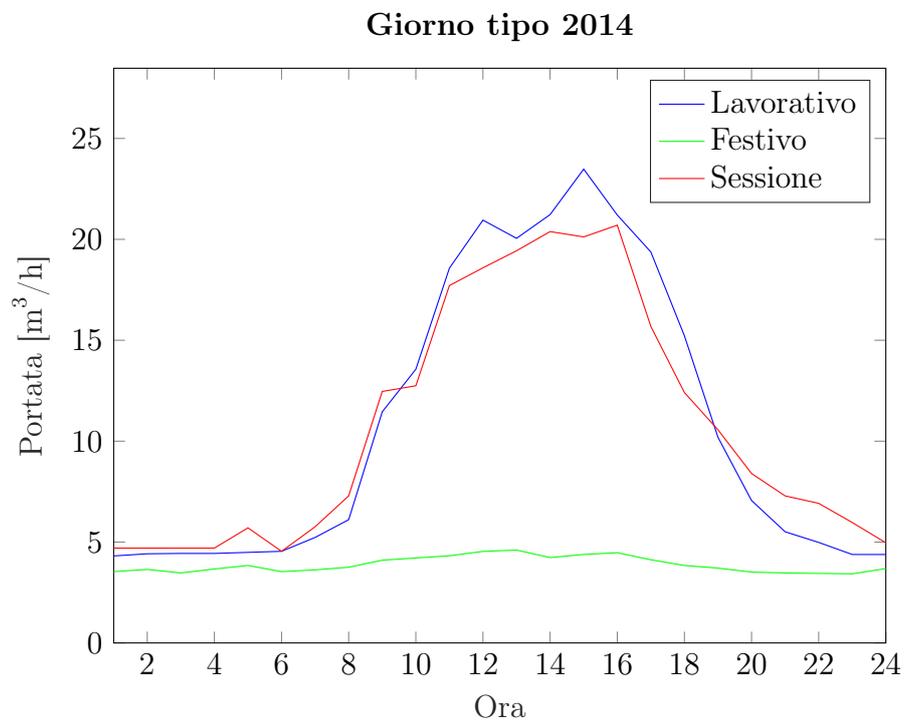


Figura A.17: Andamento dei consumi nel giorno tipo dell'anno 2014

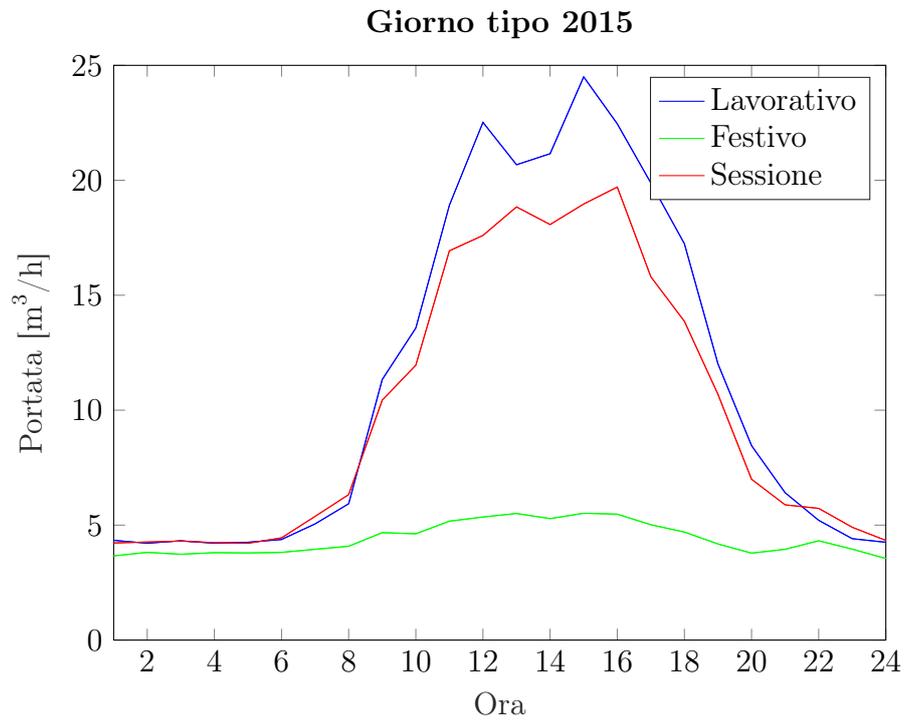


Figura A.18: Andamento dei consumi nel giorno tipo dell'anno 2015

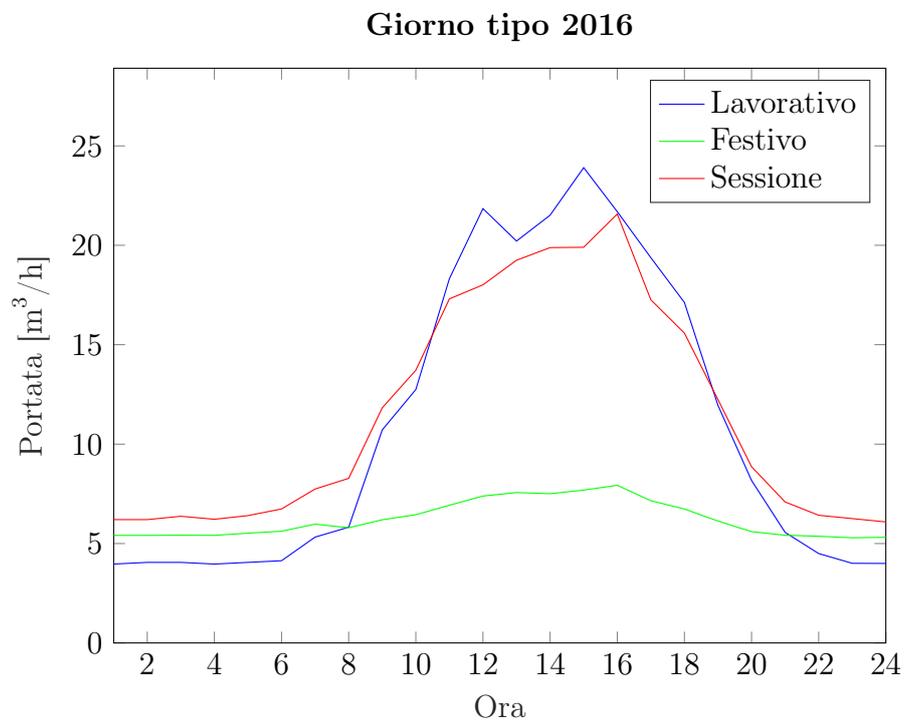


Figura A.19: Andamento dei consumi nel giorno tipo dell'anno 2016

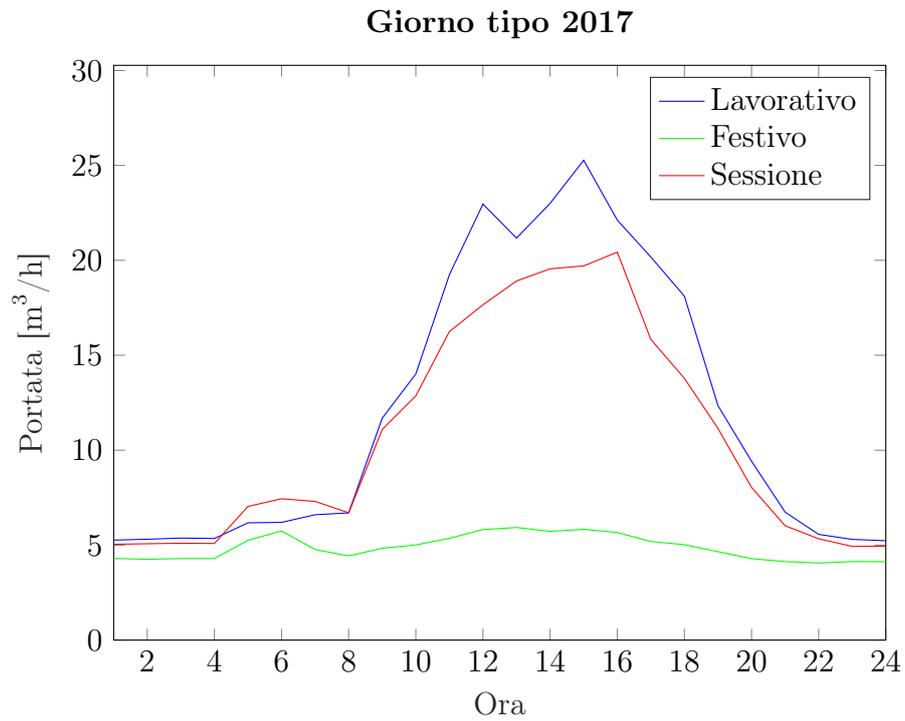


Figura A.20: Andamento dei consumi nel giorno tipo dell'anno 2017

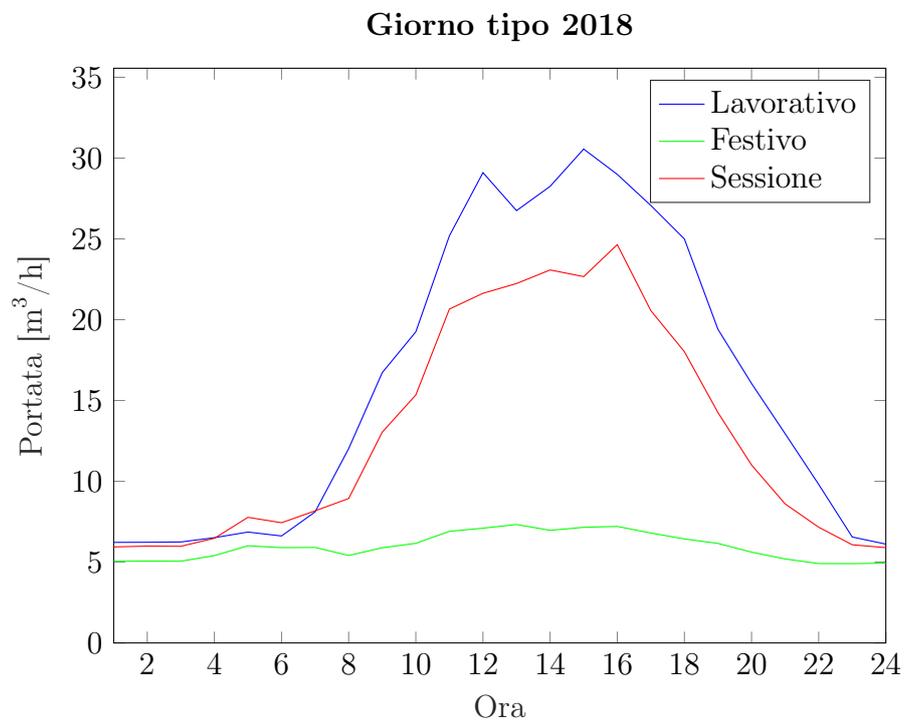


Figura A.21: Andamento dei consumi nel giorno tipo dell'anno 2018

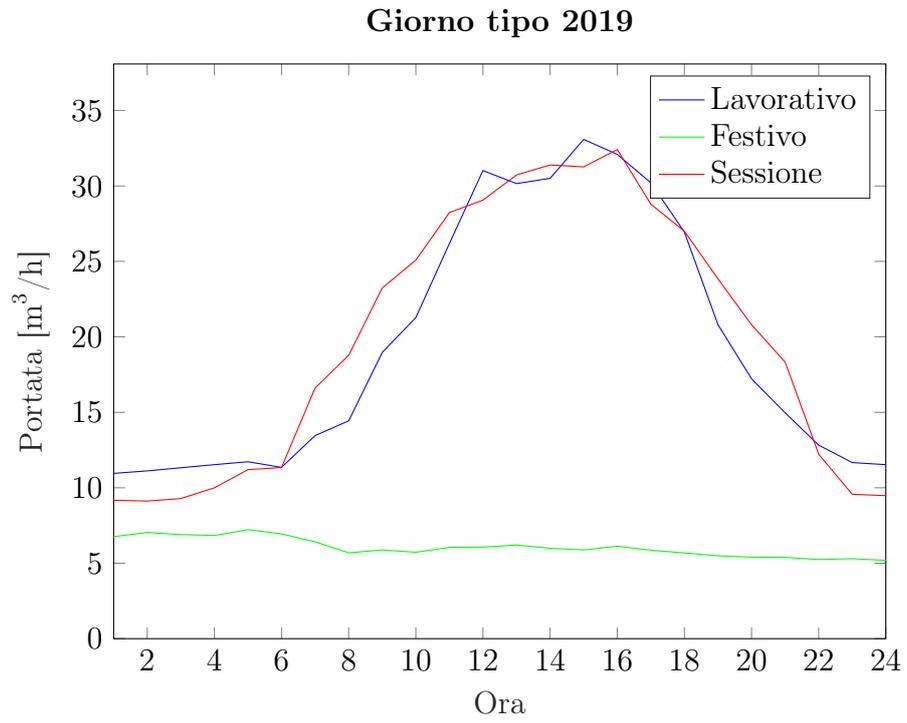


Figura A.22: Andamento dei consumi nel giorno tipo dell'anno 2019

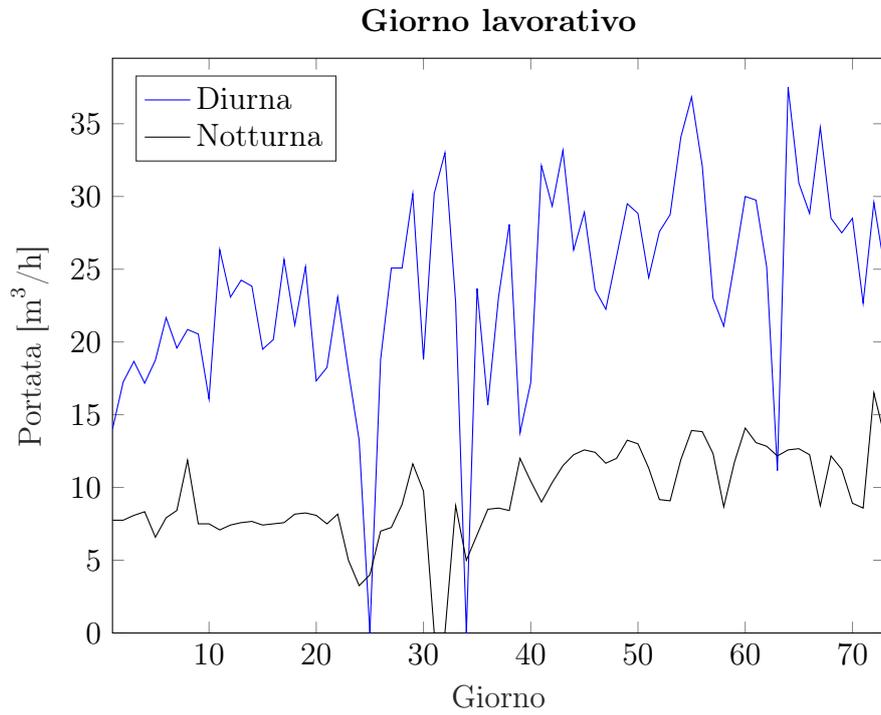


Figura A.23: Consumi diurni e notturni nell'anno 2009 - Lavorativo

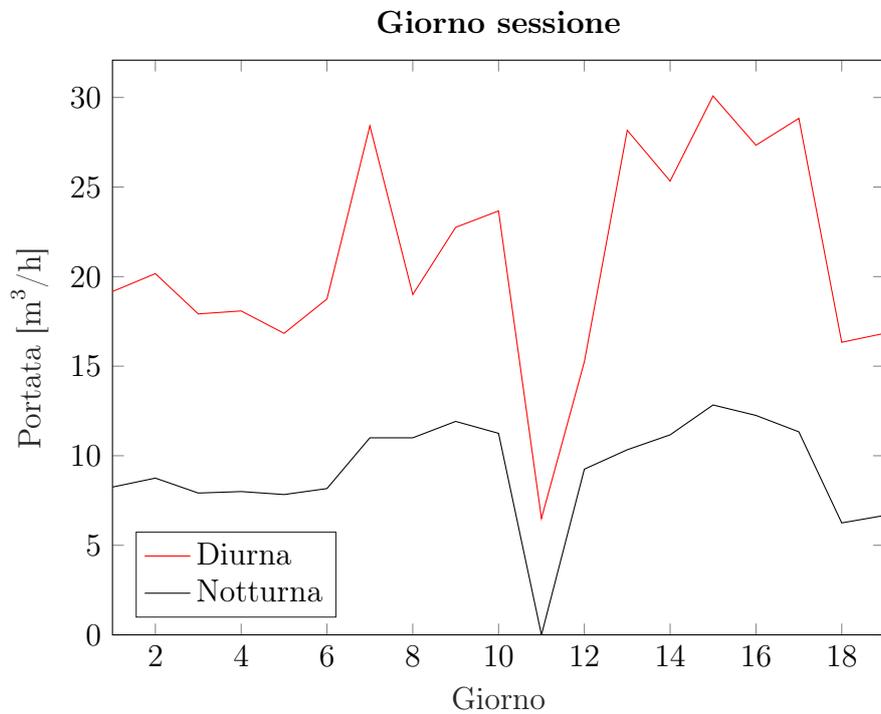


Figura A.24: Consumi diurni e notturni nell'anno 2009 - Sessione esami

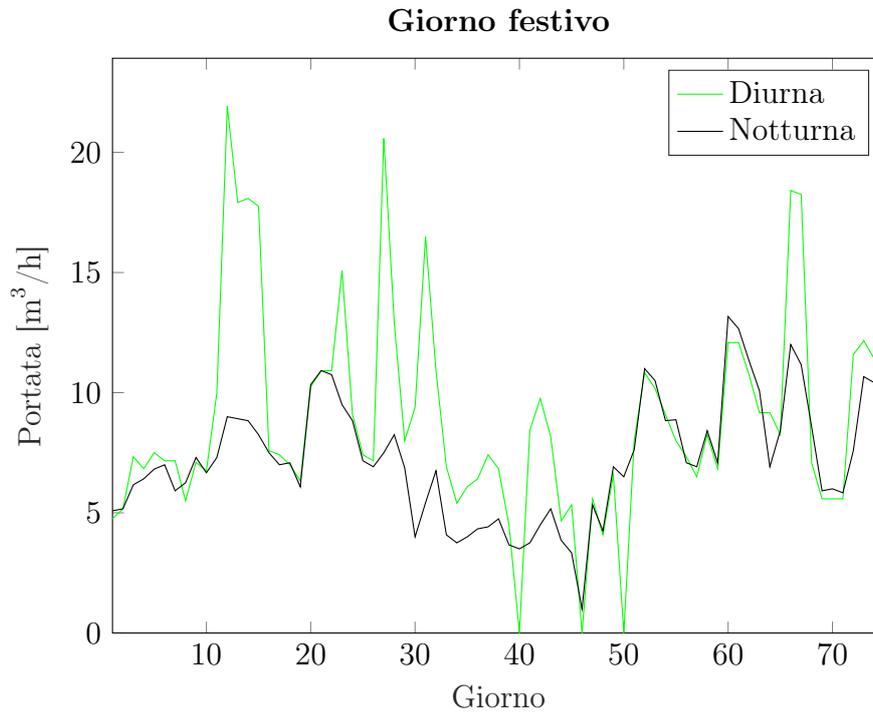


Figura A.25: Consumi diurni e notturni nell'anno 2009 - Festivo

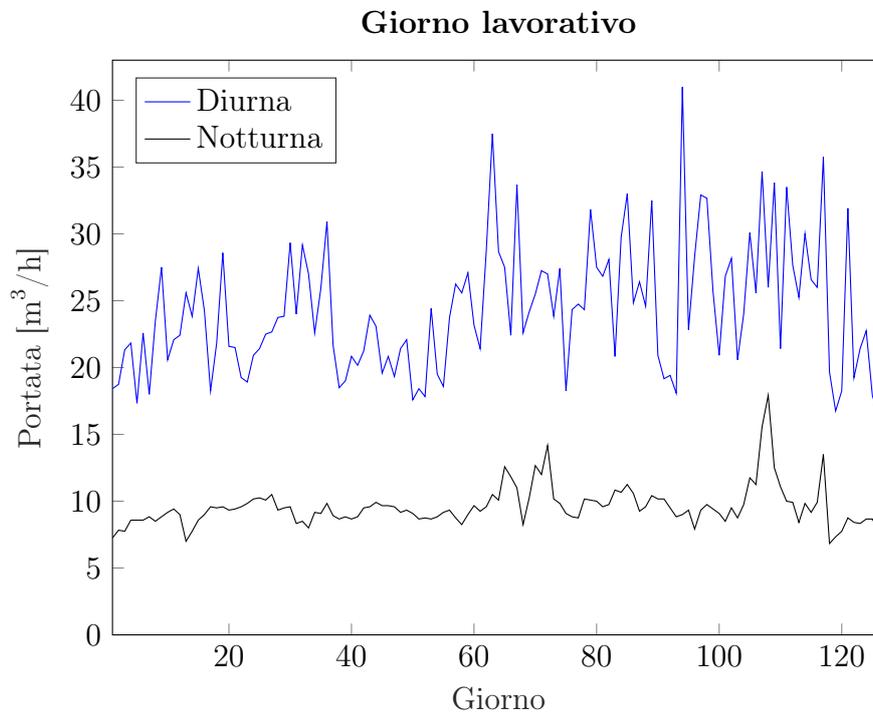


Figura A.26: Consumi diurni e notturni nell'anno 2010 - Lavorativo

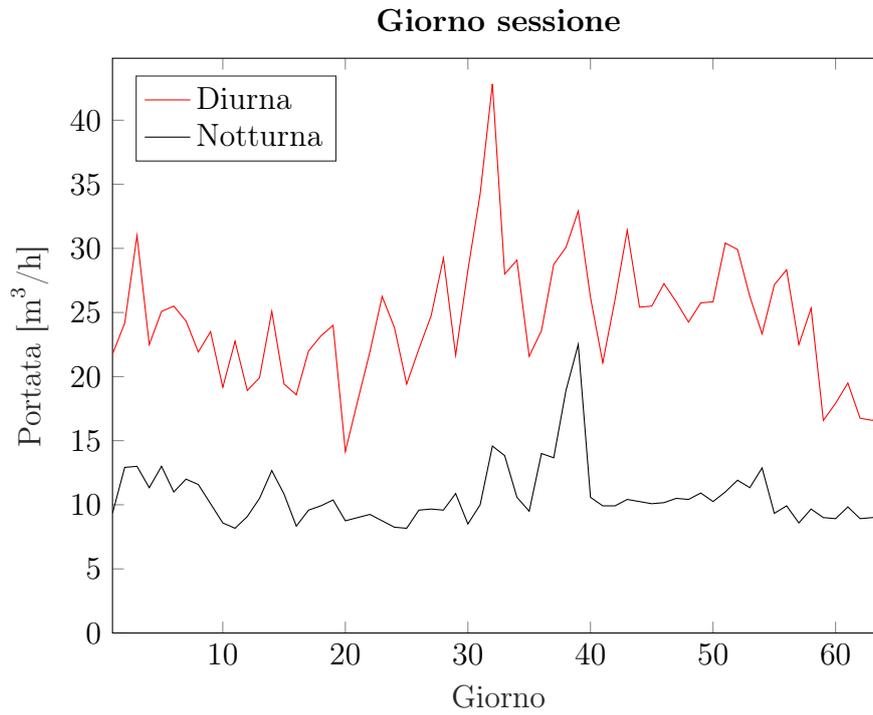


Figura A.27: Consumi diurni e notturni nell'anno 2010 - Sessione esami

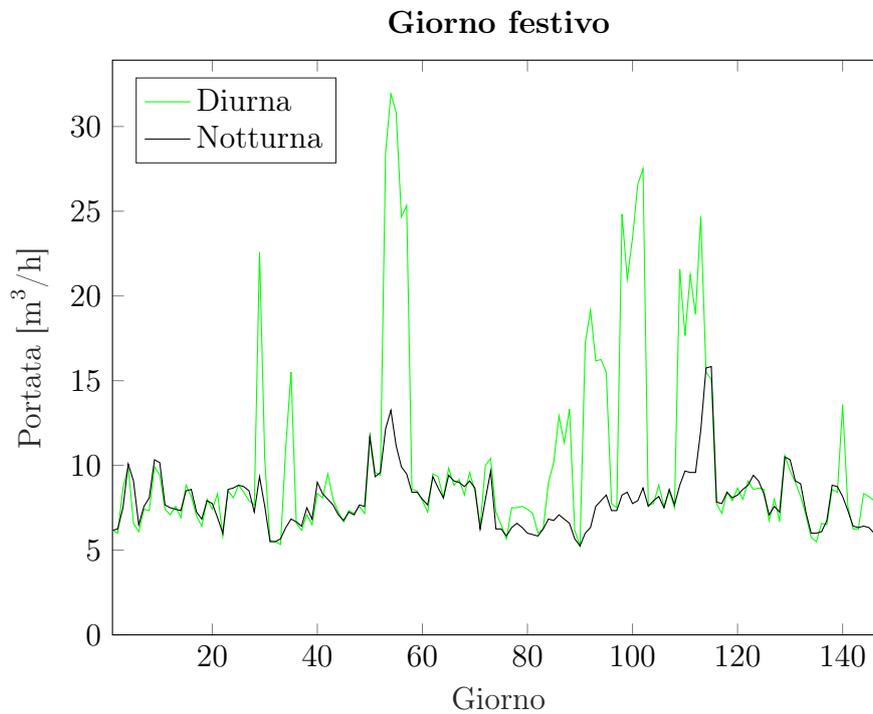


Figura A.28: Consumi diurni e notturni nell'anno 2010 - Festivo

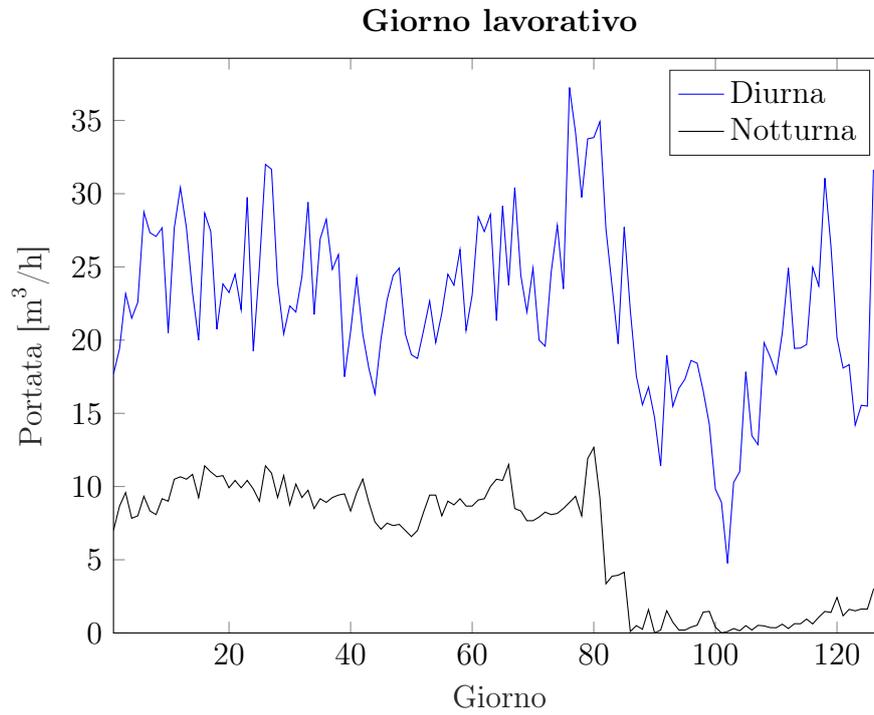


Figura A.29: Consumi diurni e notturni nell'anno 2011 - Lavorativo

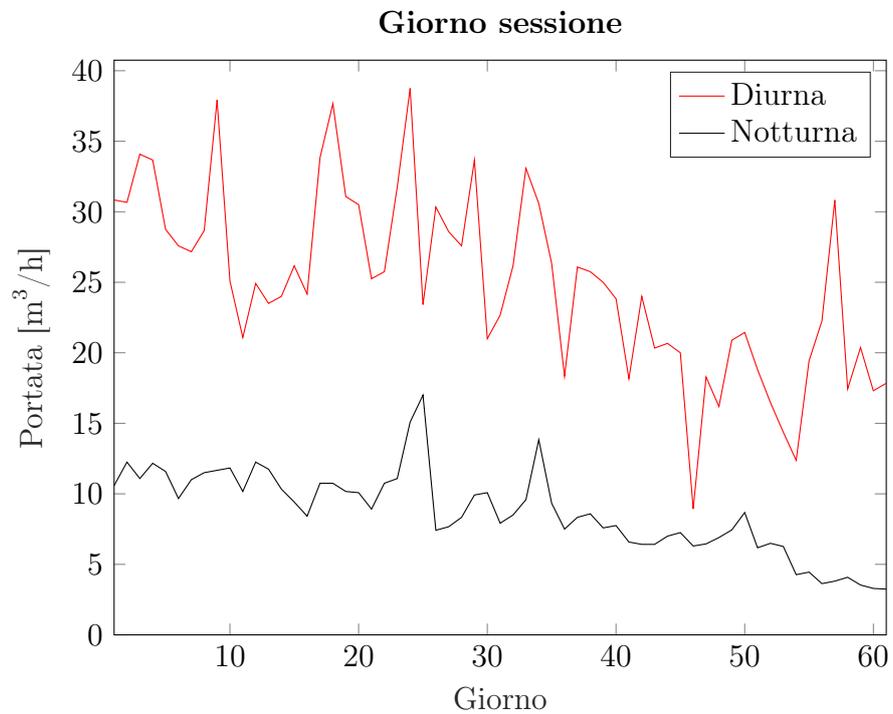


Figura A.30: Consumi diurni e notturni nell'anno 2011 - Sessione esami

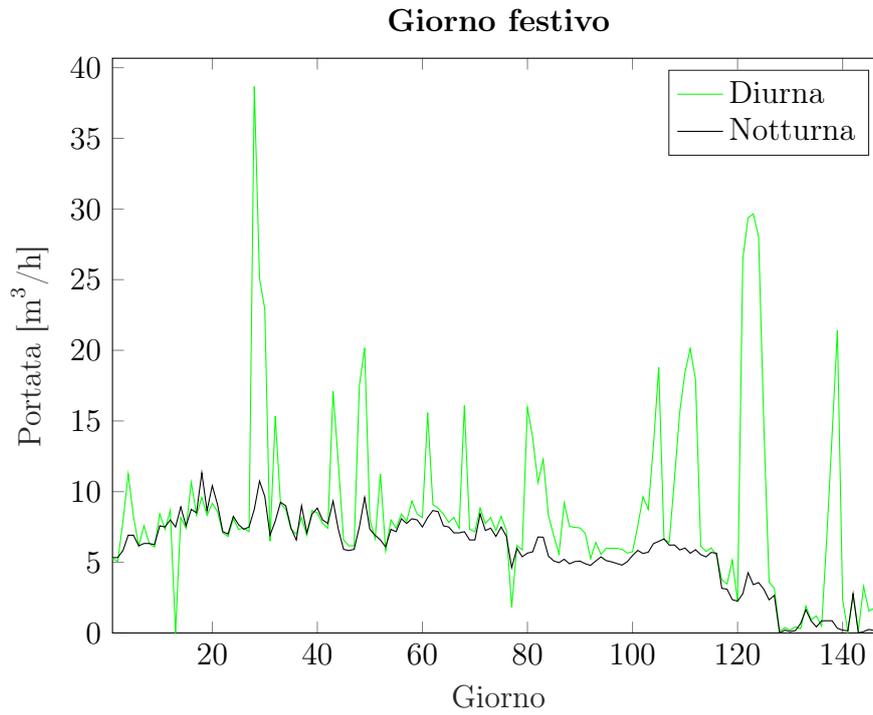


Figura A.31: Consumi diurni e notturni nell'anno 2011 - Festivo

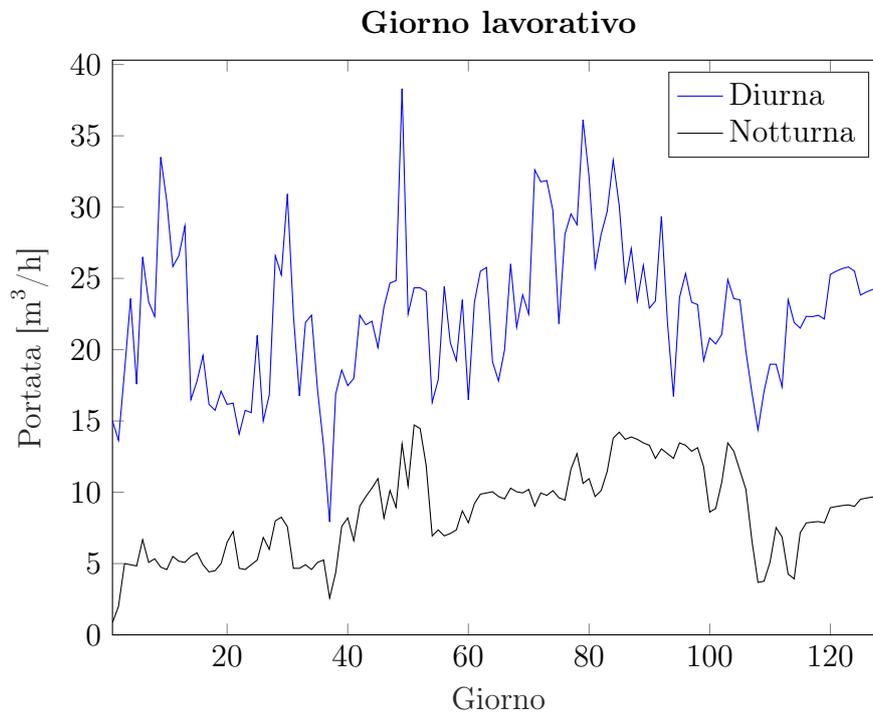


Figura A.32: Consumi diurni e notturni nell'anno 2012 - Lavorativo

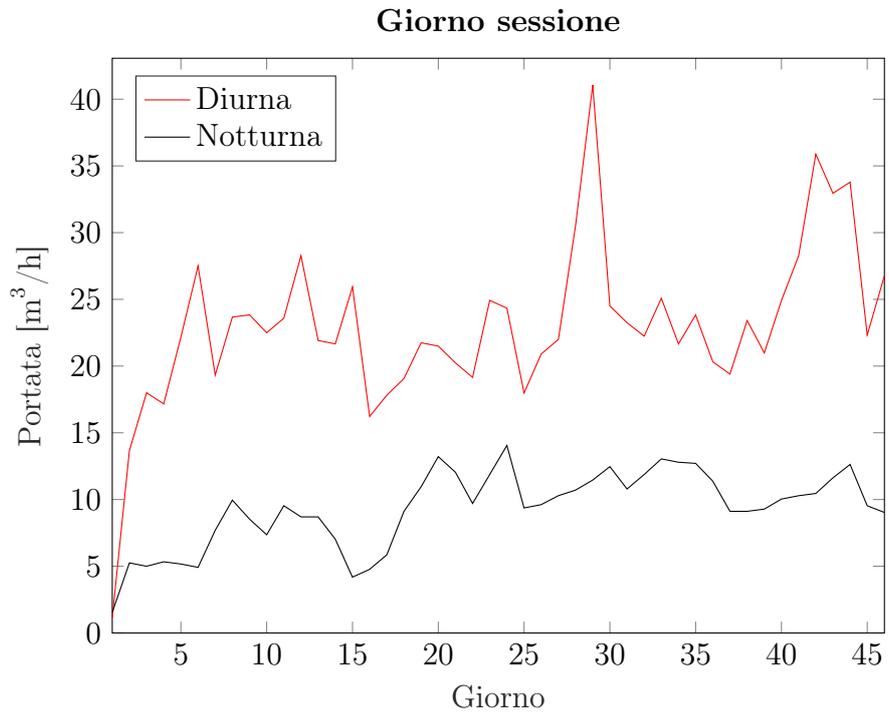


Figura A.33: Consumi diurni e notturni nell'anno 2012 - Sessione esami

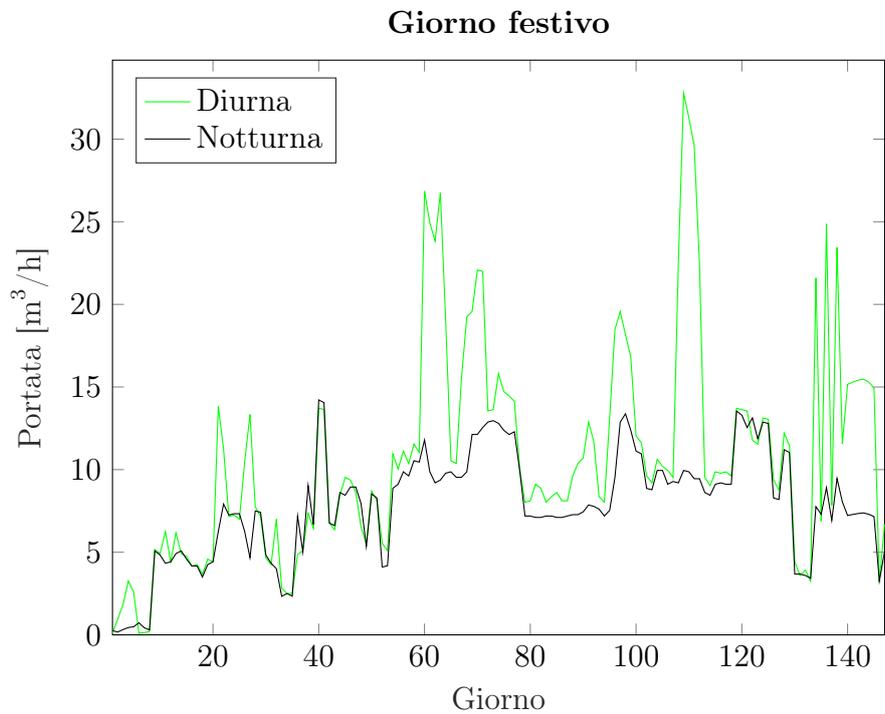


Figura A.34: Consumi diurni e notturni nell'anno 2012 - Festivo

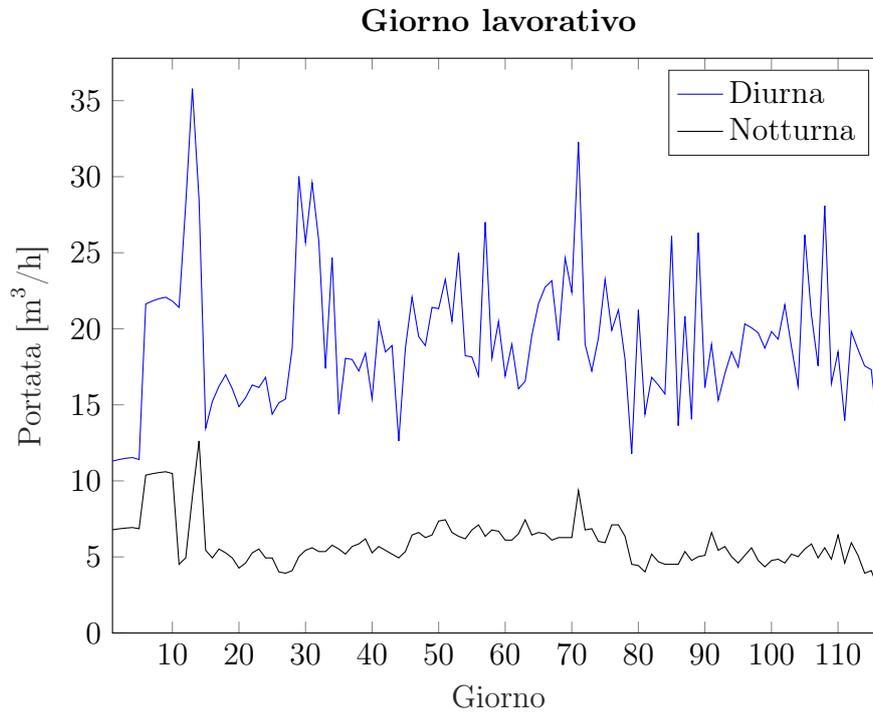


Figura A.35: Consumi diurni e notturni nell'anno 2013 - Lavorativo

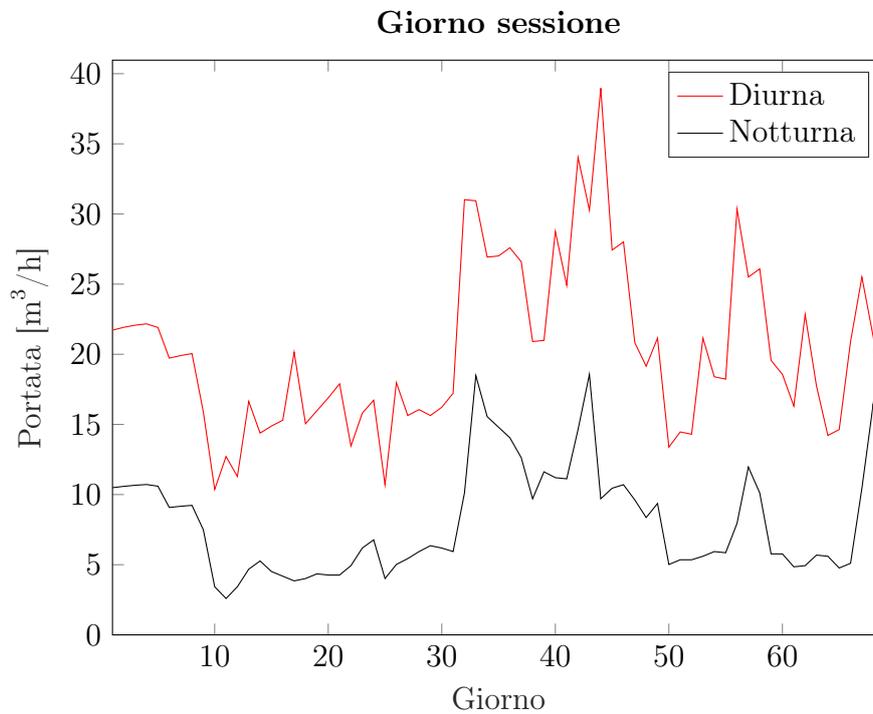


Figura A.36: Consumi diurni e notturni nell'anno 2013 - Sessione esami

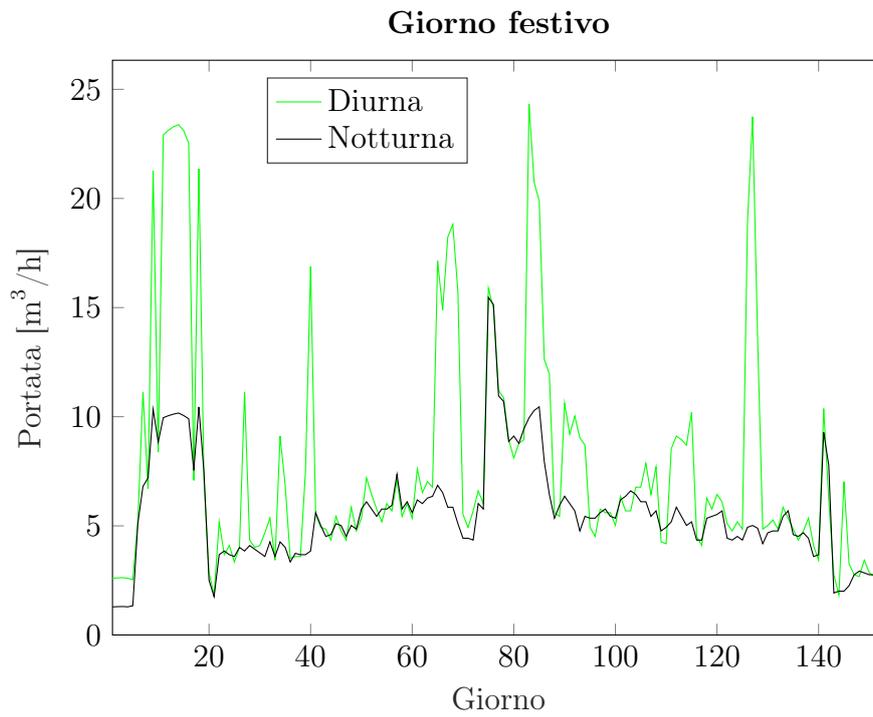


Figura A.37: Consumi diurni e notturni nell'anno 2013 - Festivo

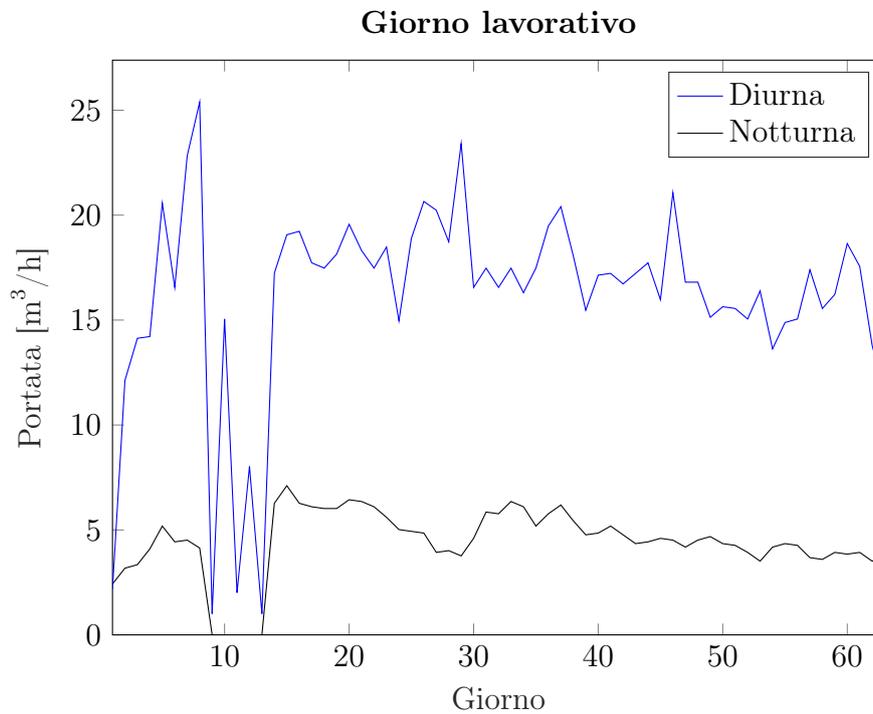


Figura A.38: Consumi diurni e notturni nell'anno 2014 - Lavorativo

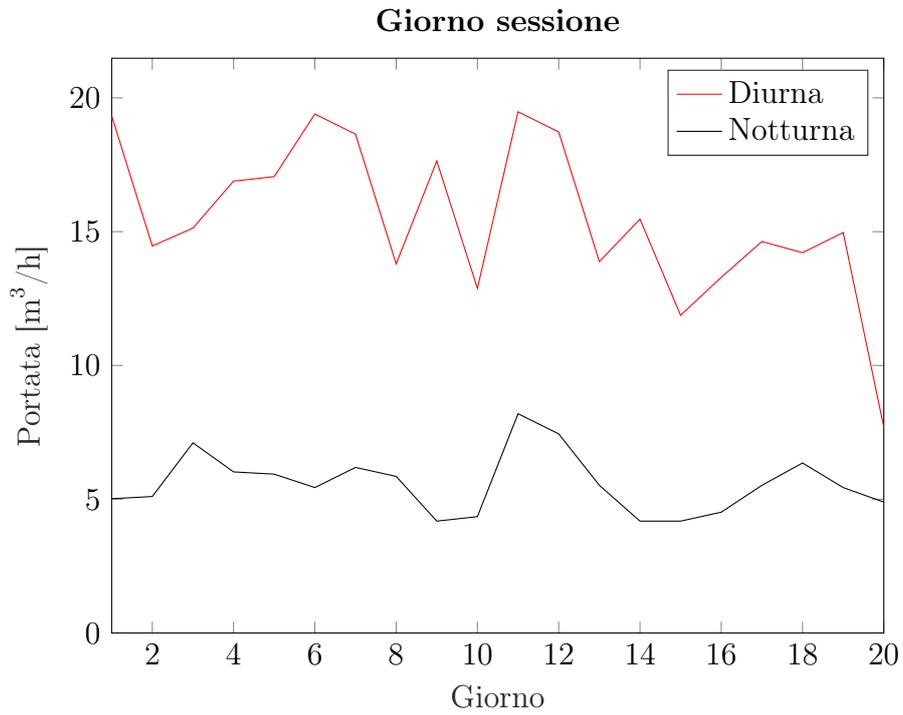


Figura A.39: Consumi diurni e notturni nell'anno 2014 - Sessione esami

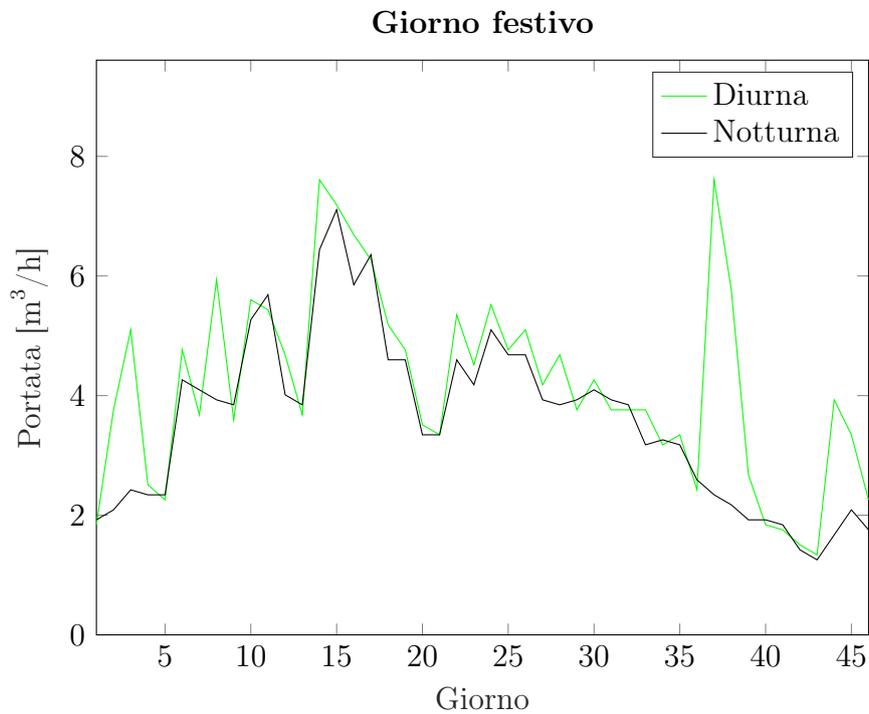


Figura A.40: Consumi diurni e notturni nell'anno 2014 - Festivo

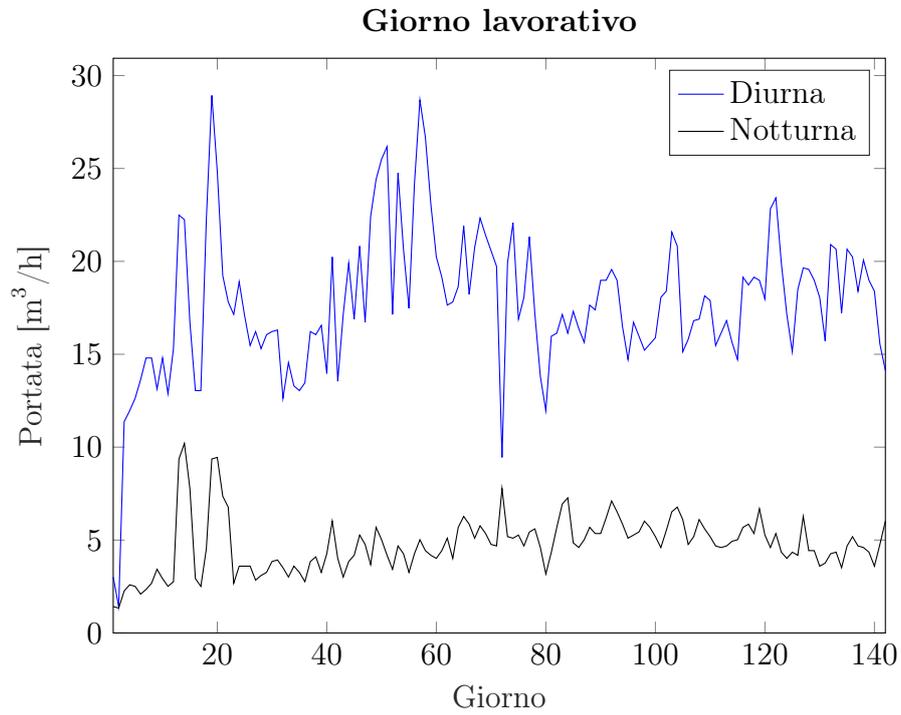


Figura A.41: Consumi diurni e notturni nell'anno 2015 - Lavorativo

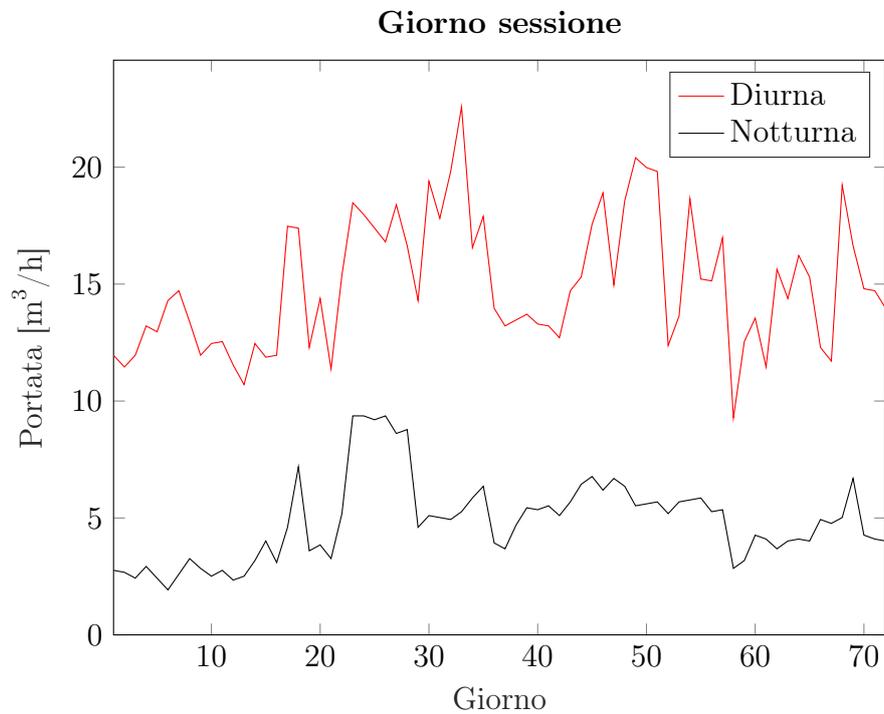


Figura A.42: Consumi diurni e notturni nell'anno 2015 - Sessione esami

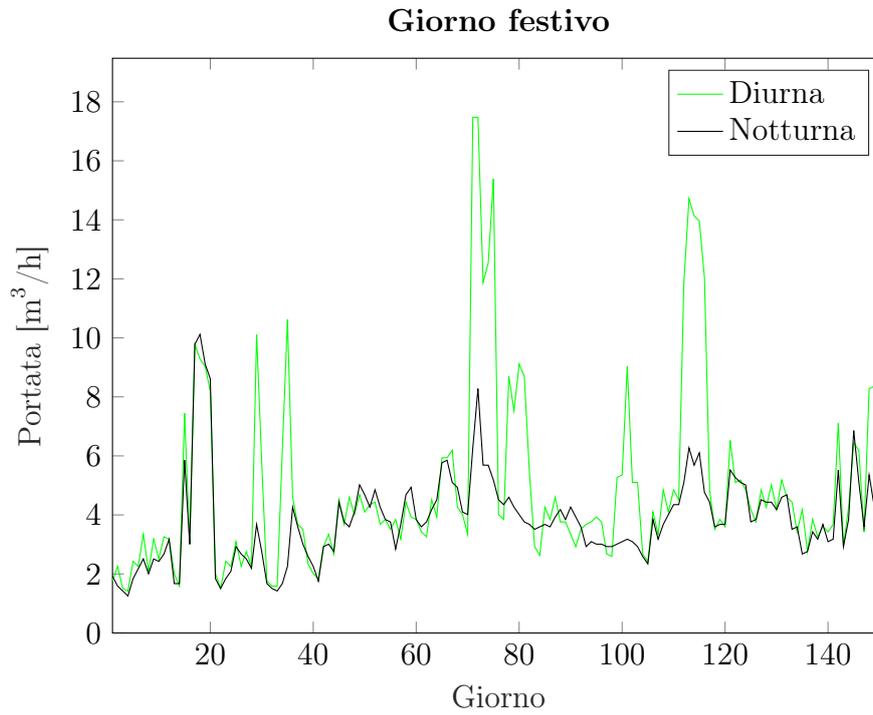


Figura A.43: Consumi diurni e notturni nell'anno 2015 - Festivo

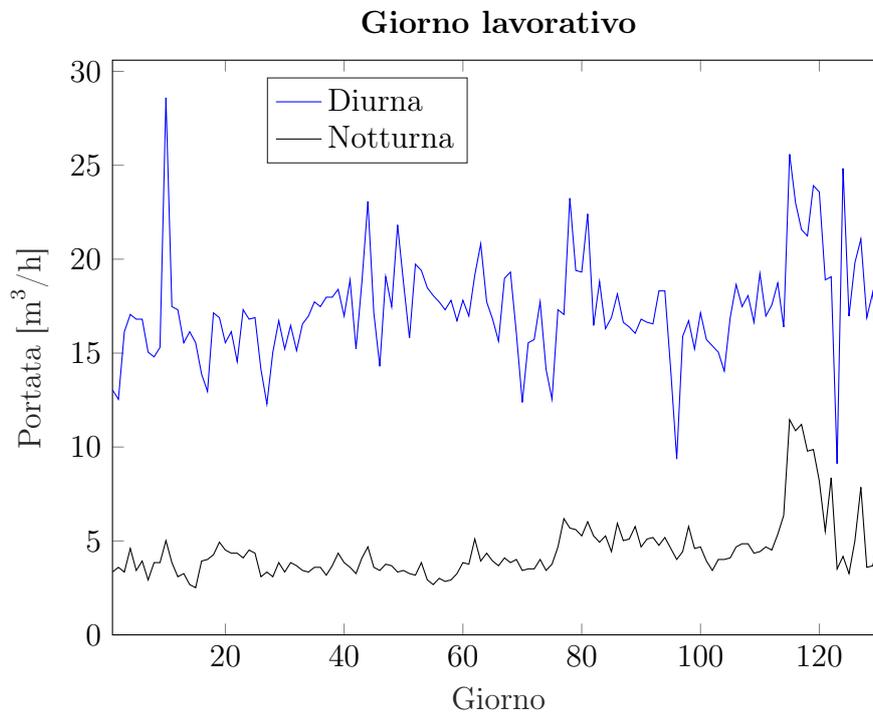


Figura A.44: Consumi diurni e notturni nell'anno 2016 - Lavorativo

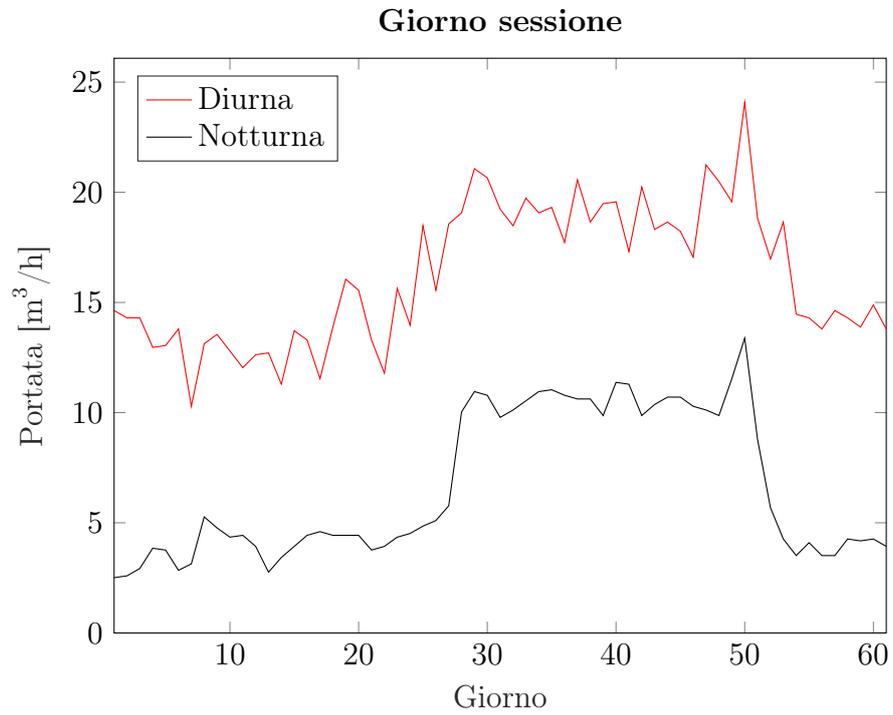


Figura A.45: Consumi diurni e notturni nell'anno 2016 - Sessione esami

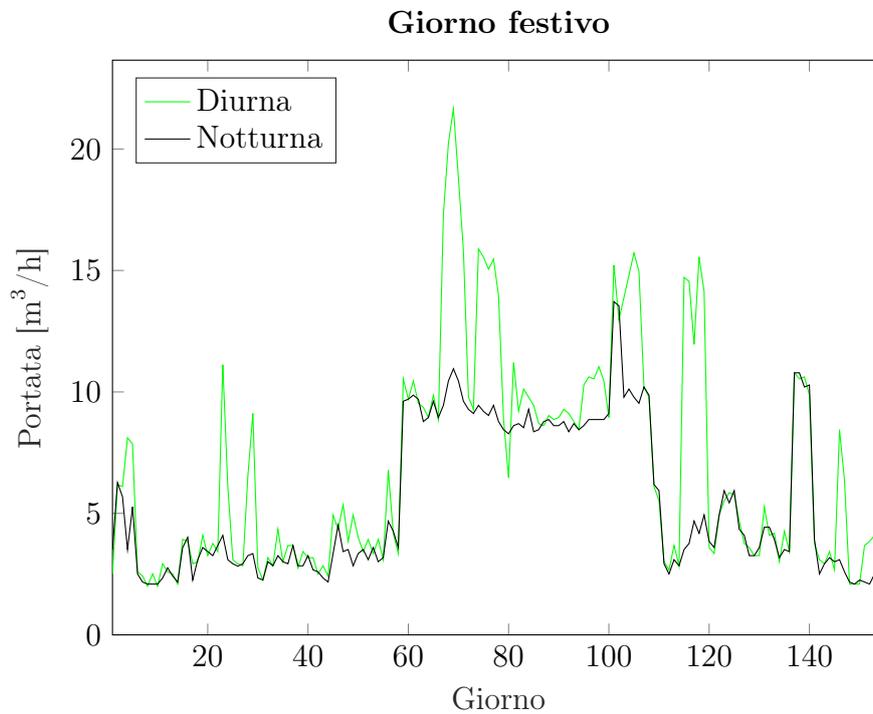


Figura A.46: Consumi diurni e notturni nell'anno 2016 - Festivo

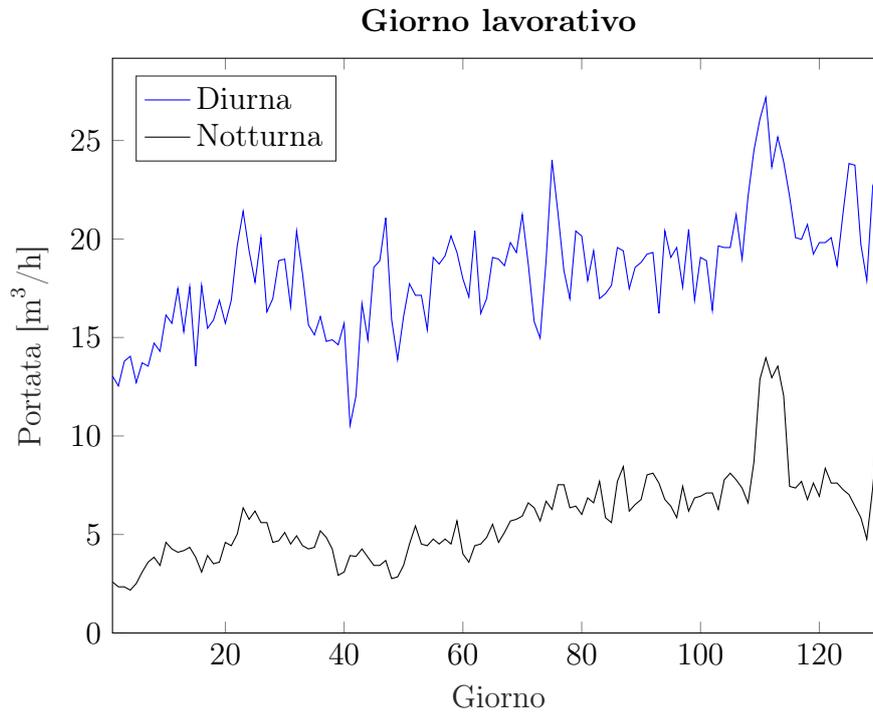


Figura A.47: Consumi diurni e notturni nell'anno 2017 - Lavorativo

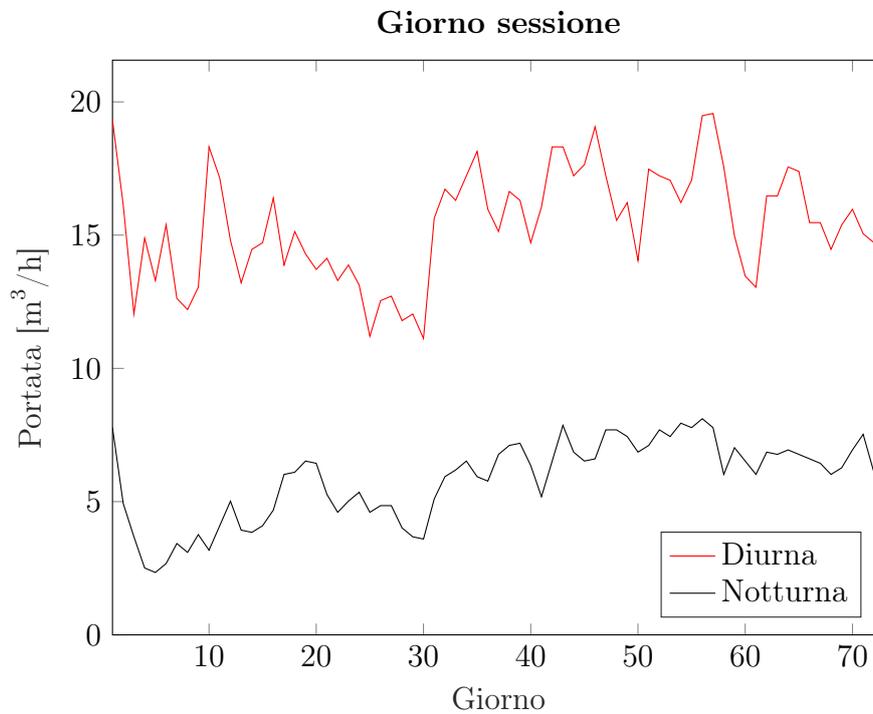


Figura A.48: Consumi diurni e notturni nell'anno 2017 - Sessione esami

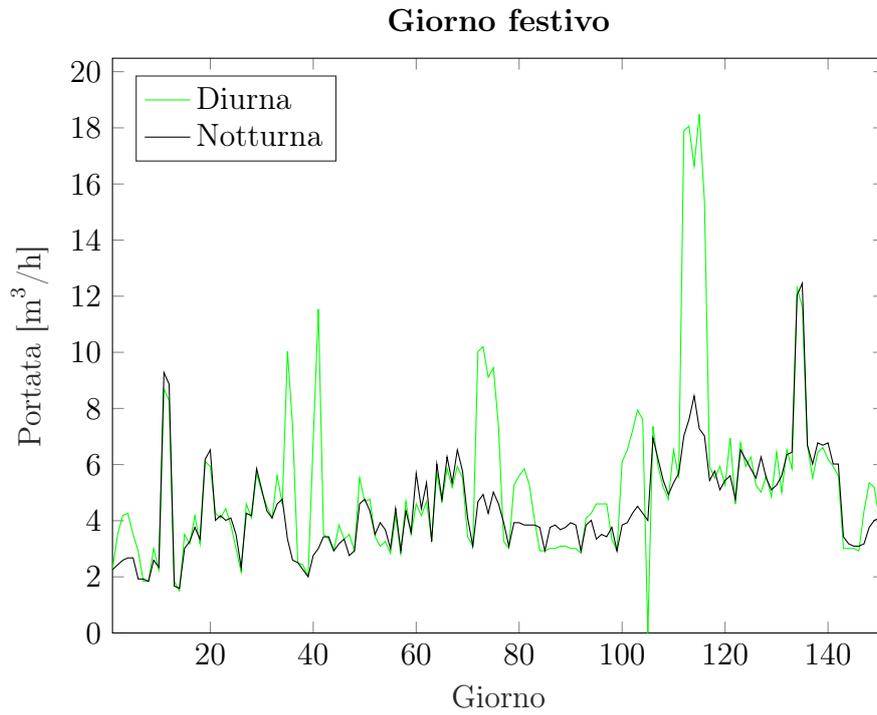


Figura A.49: Consumi diurni e notturni nell'anno 2017 - Festivo

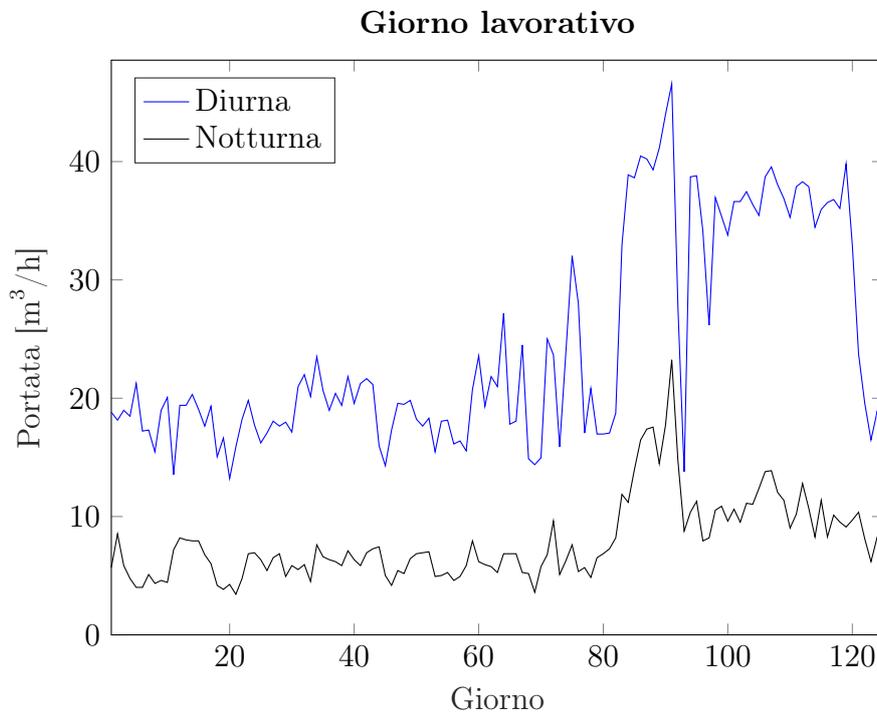


Figura A.50: Consumi diurni e notturni nell'anno 2018 - Lavorativo

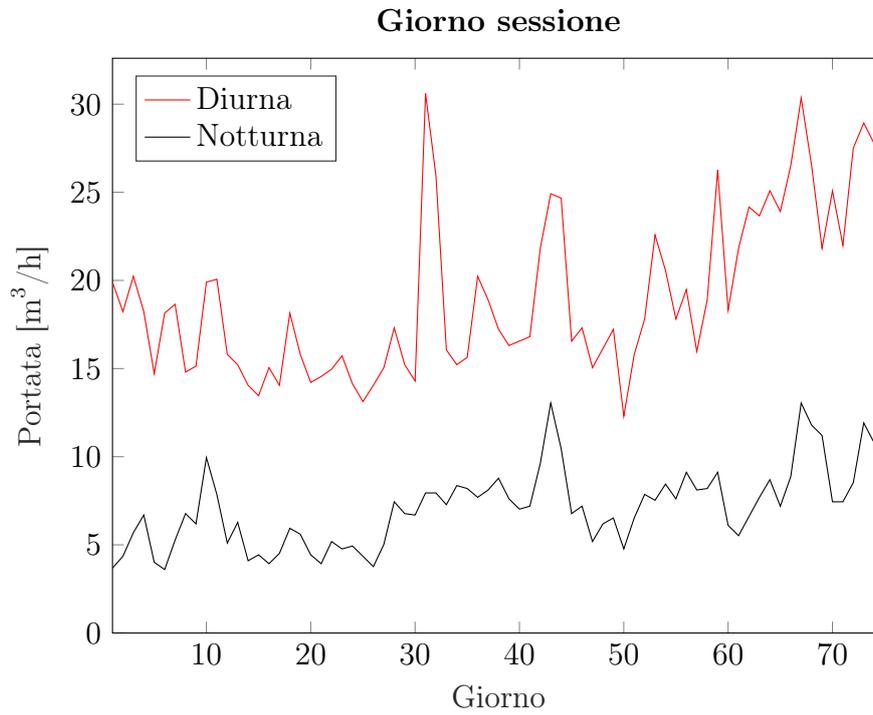


Figura A.51: Consumi diurni e notturni nell'anno 2018 - Sessione esami

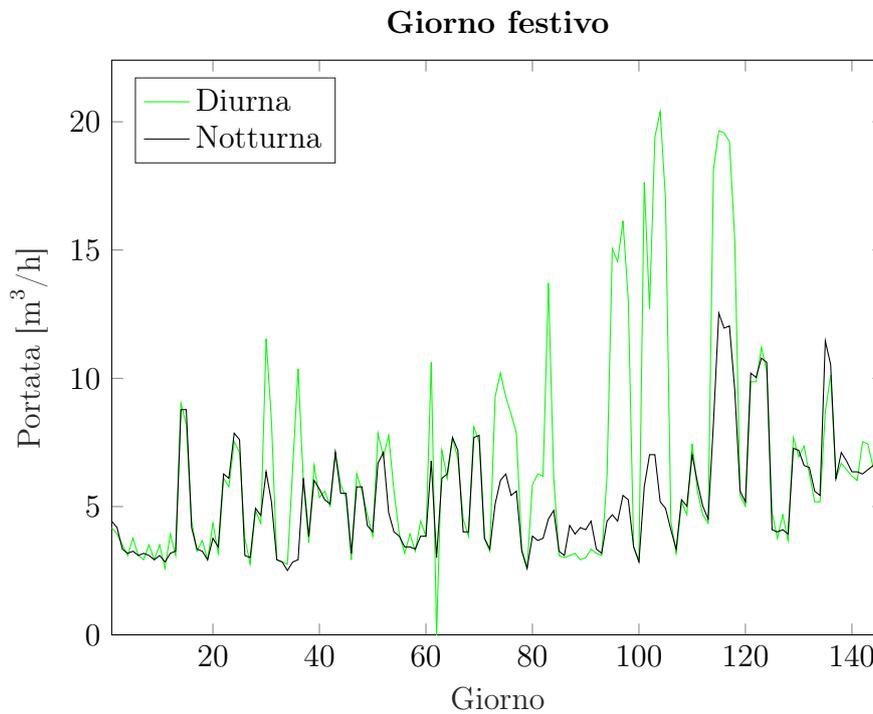


Figura A.52: Consumi diurni e notturni nell'anno 2018 - Festivo

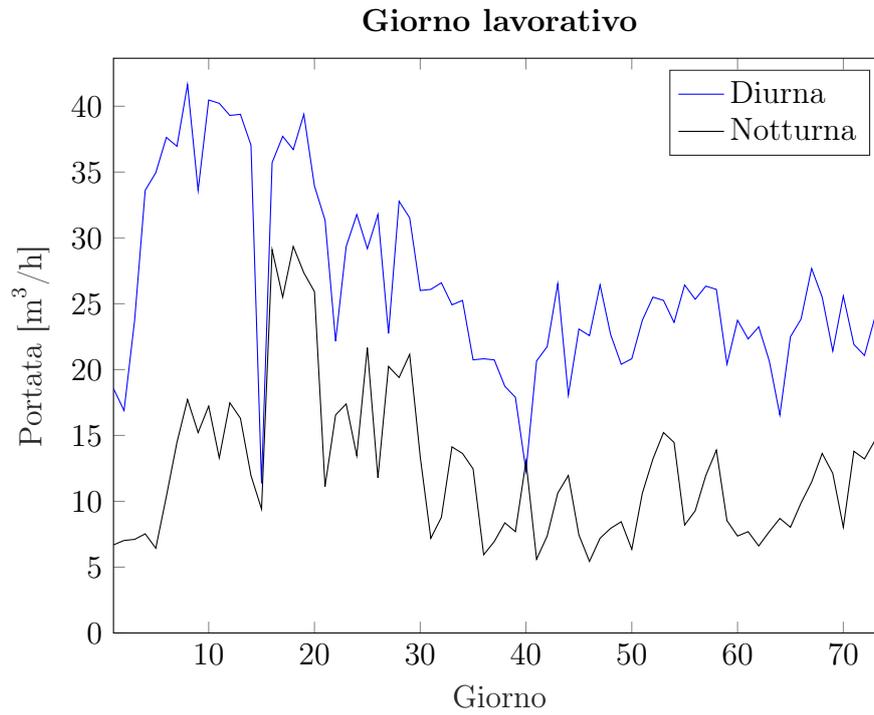


Figura A.53: Consumi diurni e notturni nell'anno 2019 - Lavorativo

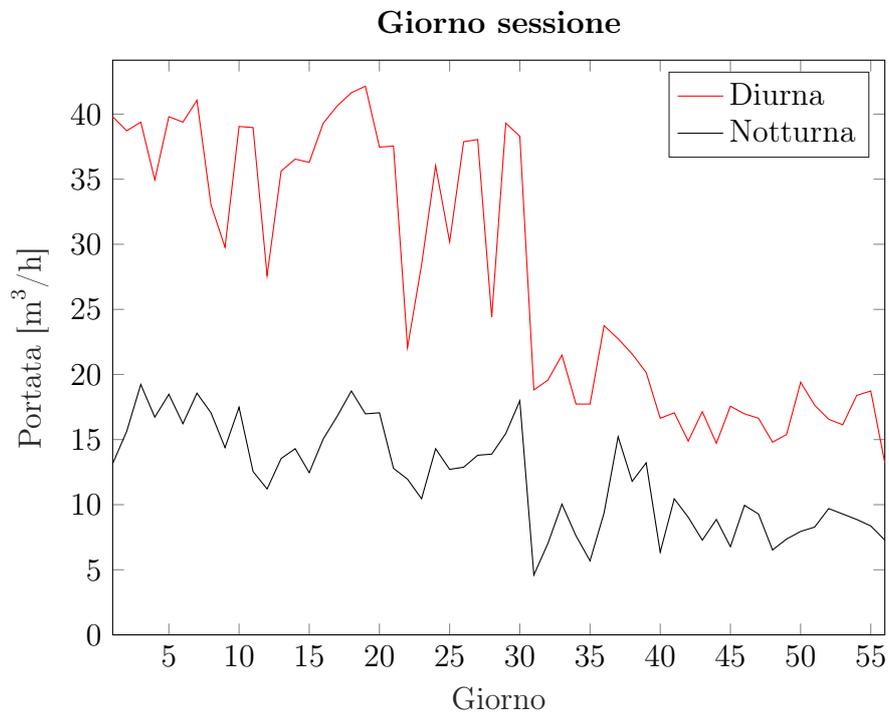


Figura A.54: Consumi diurni e notturni nell'anno 2019 - Sessione esami

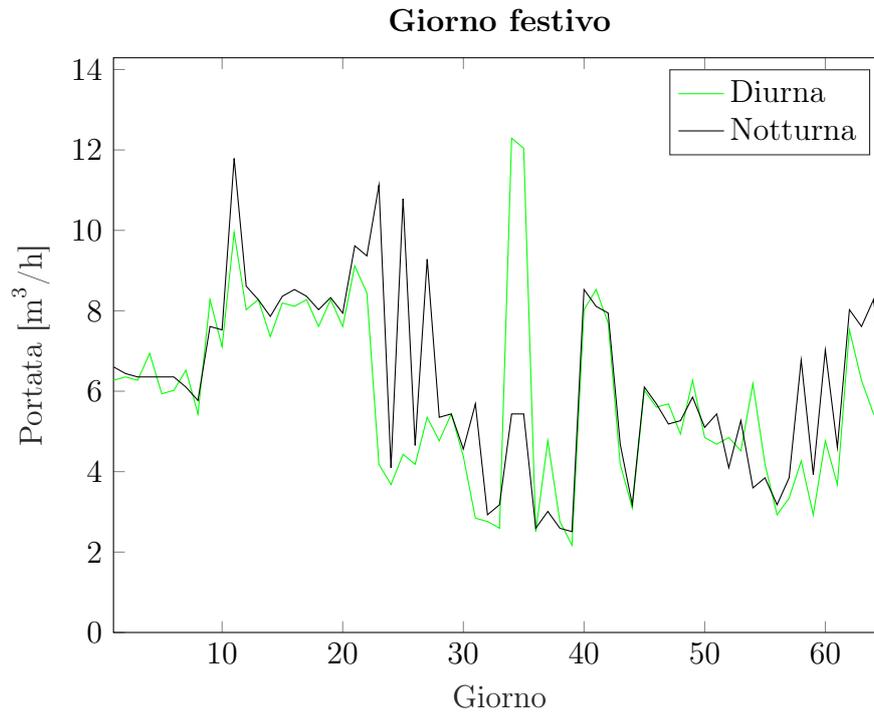


Figura A.55: Consumi diurni e notturni nell'anno 2019 - Festivo

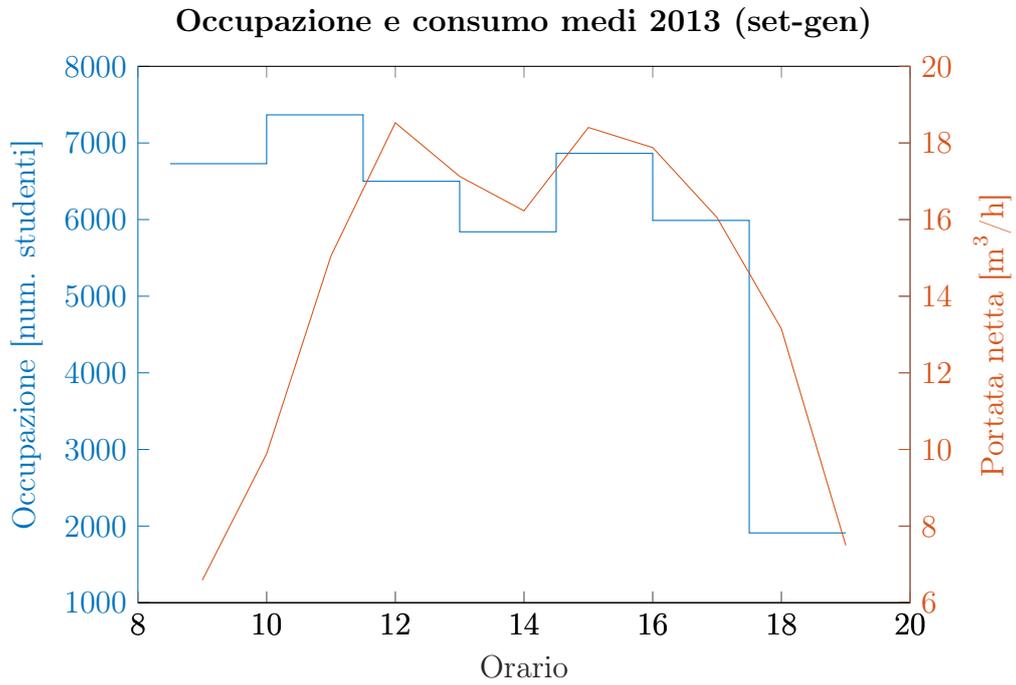


Figura A.56: Andamento dell'occupazione e del consumo - Anno 2013

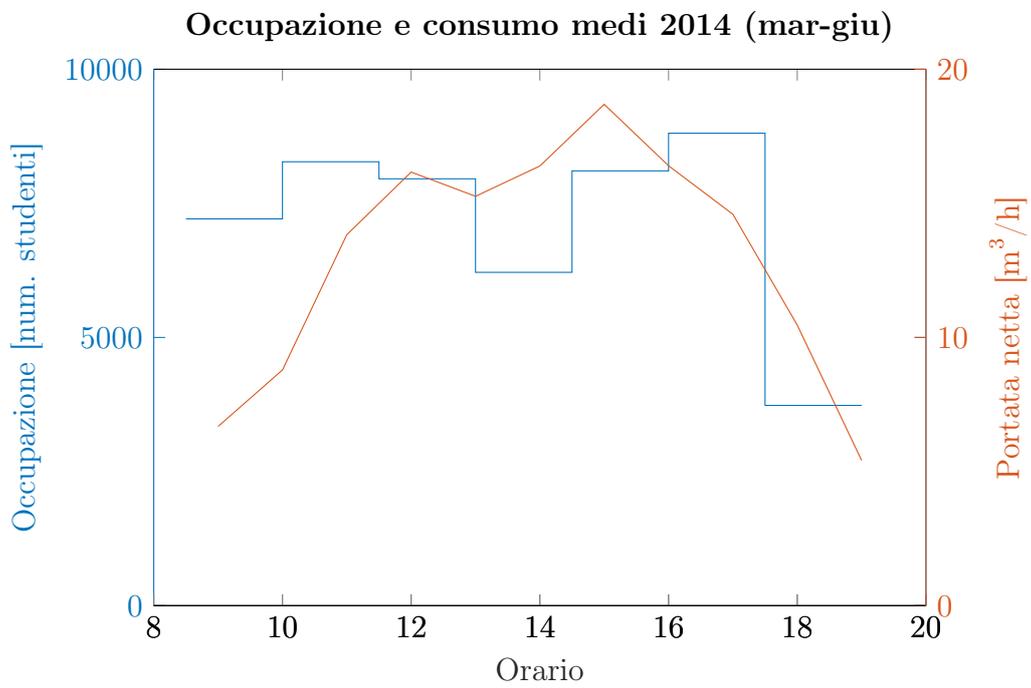


Figura A.57: Andamento dell'occupazione e del consumo - Anno 2014

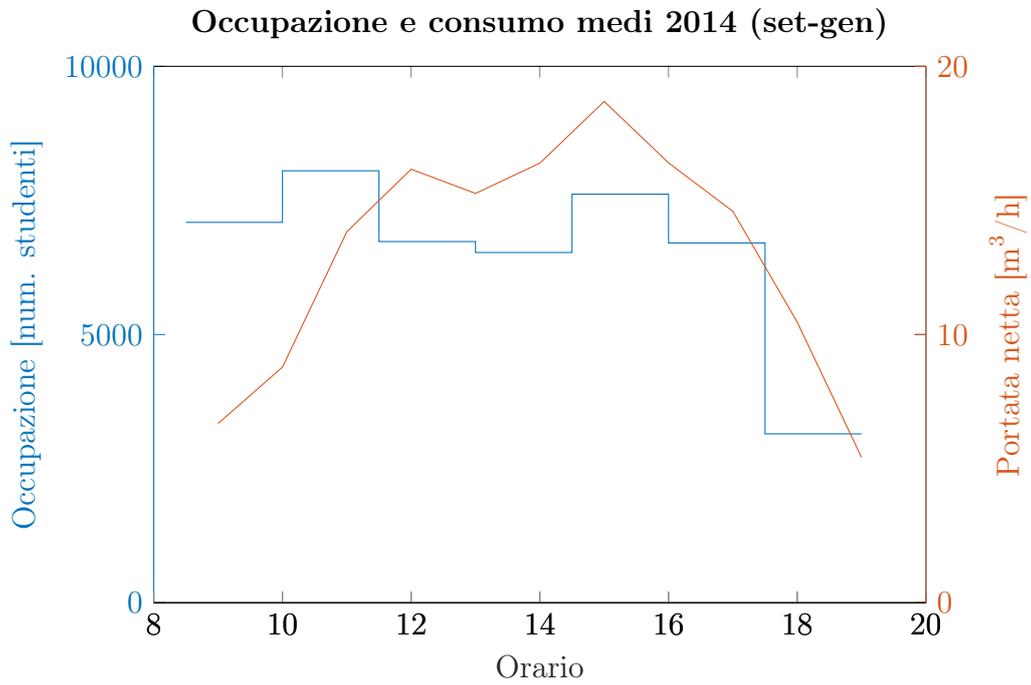


Figura A.58: Andamento dell'occupazione e del consumo - Anno 2014

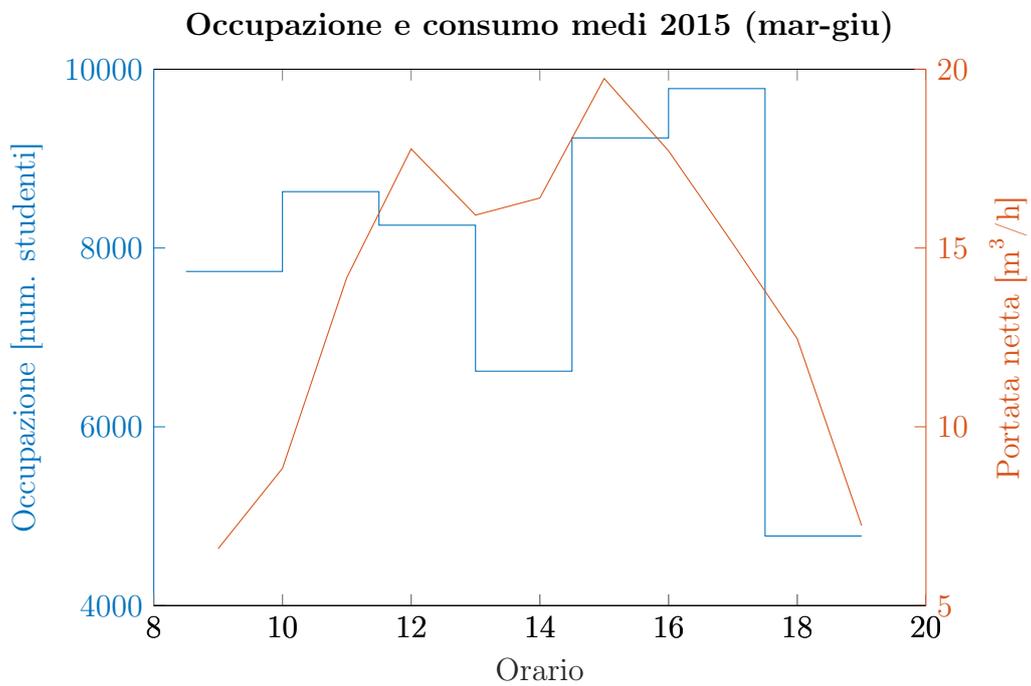


Figura A.59: Andamento dell'occupazione e del consumo - Anno 2015

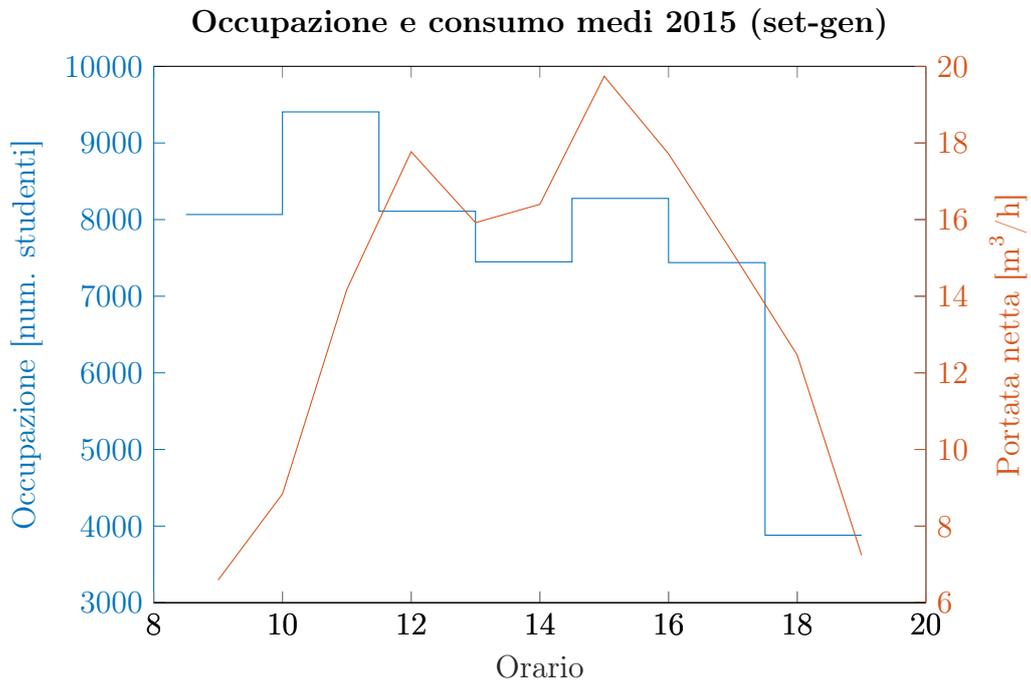


Figura A.60: Andamento dell'occupazione e del consumo - Anno 2015

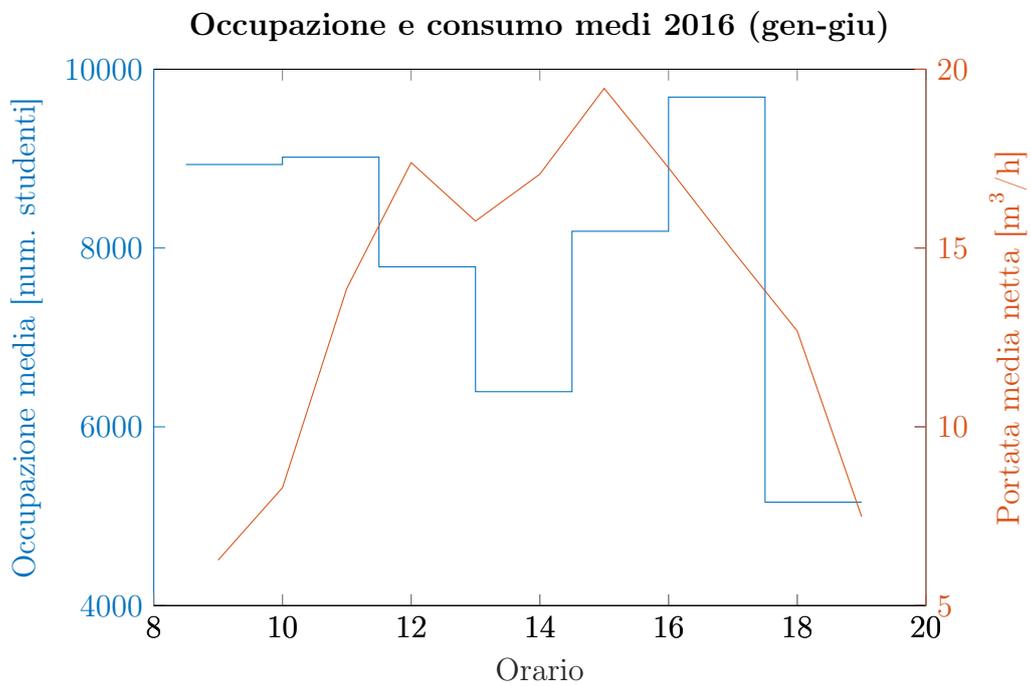


Figura A.61: Andamento dell'occupazione e del consumo - Anno 2016

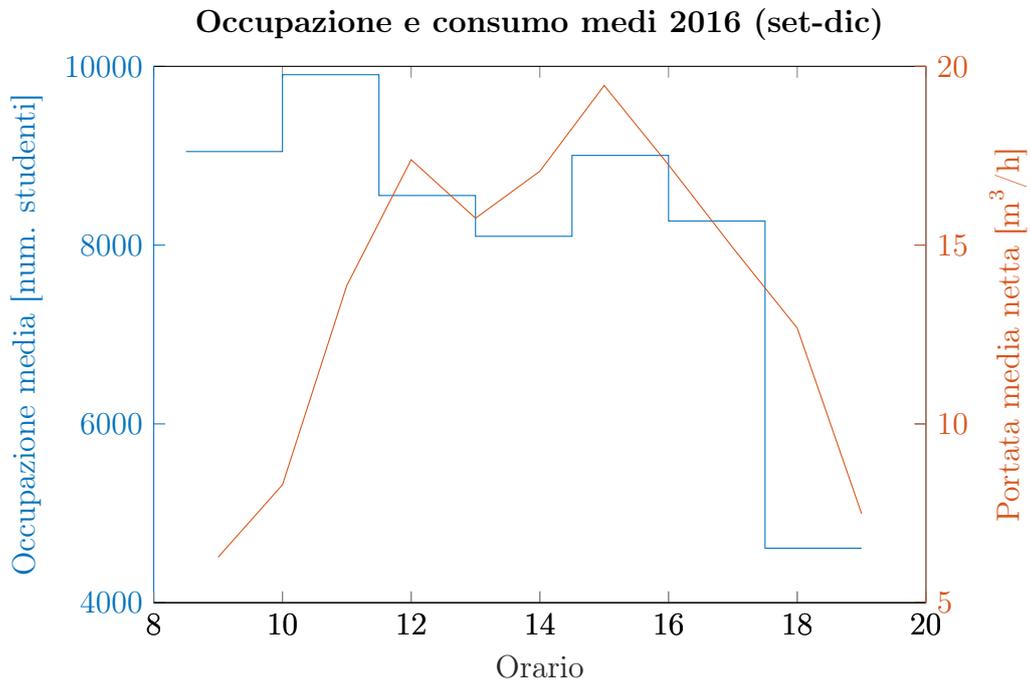


Figura A.62: Andamento dell'occupazione e del consumo - Anno 2016

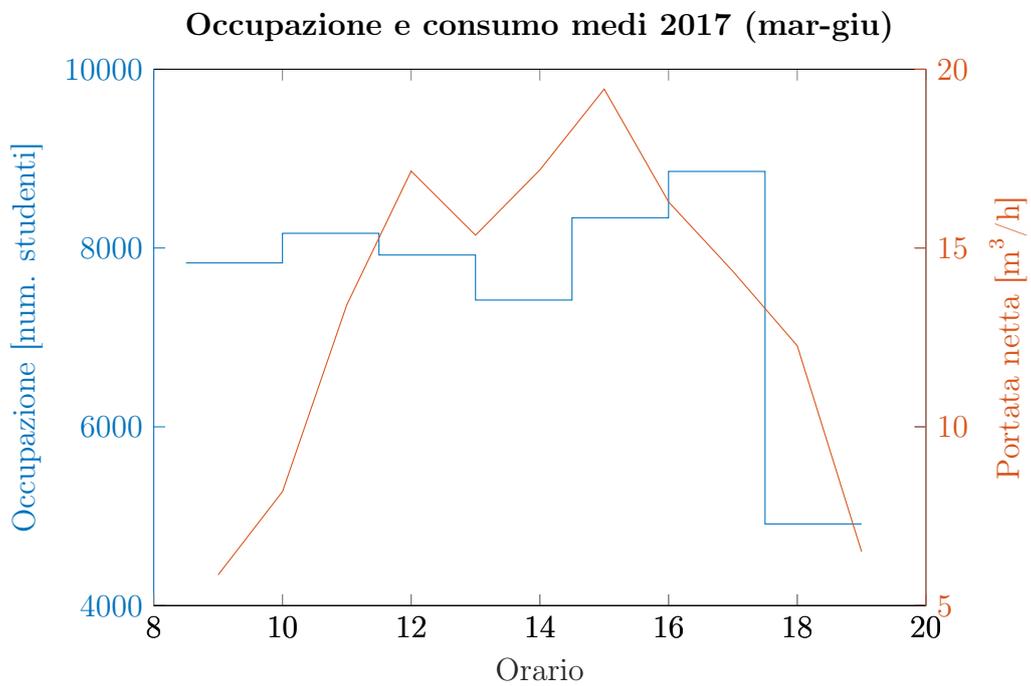


Figura A.63: Andamento dell'occupazione e del consumo - Anno 2017

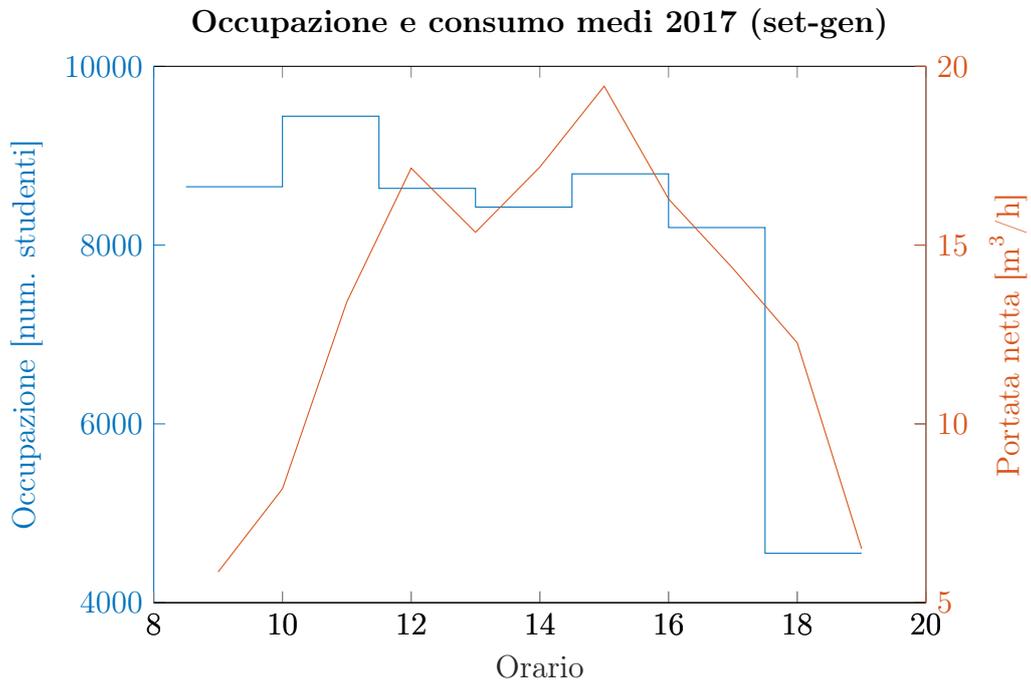


Figura A.64: Andamento dell'occupazione e del consumo - Anno 2017

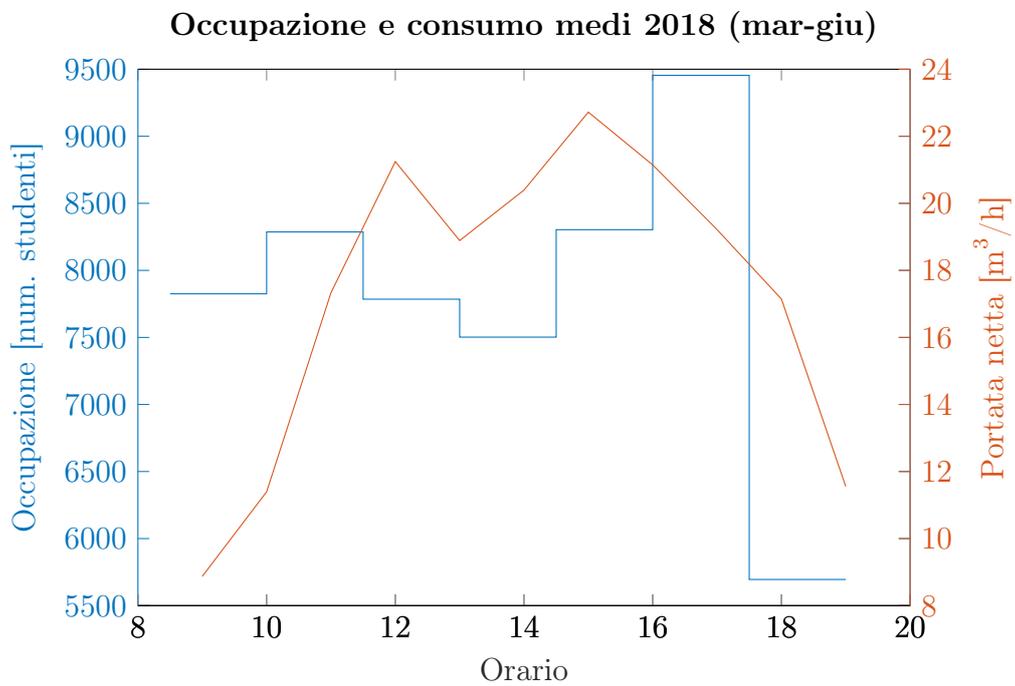


Figura A.65: Andamento dell'occupazione e del consumo - Anno 2018

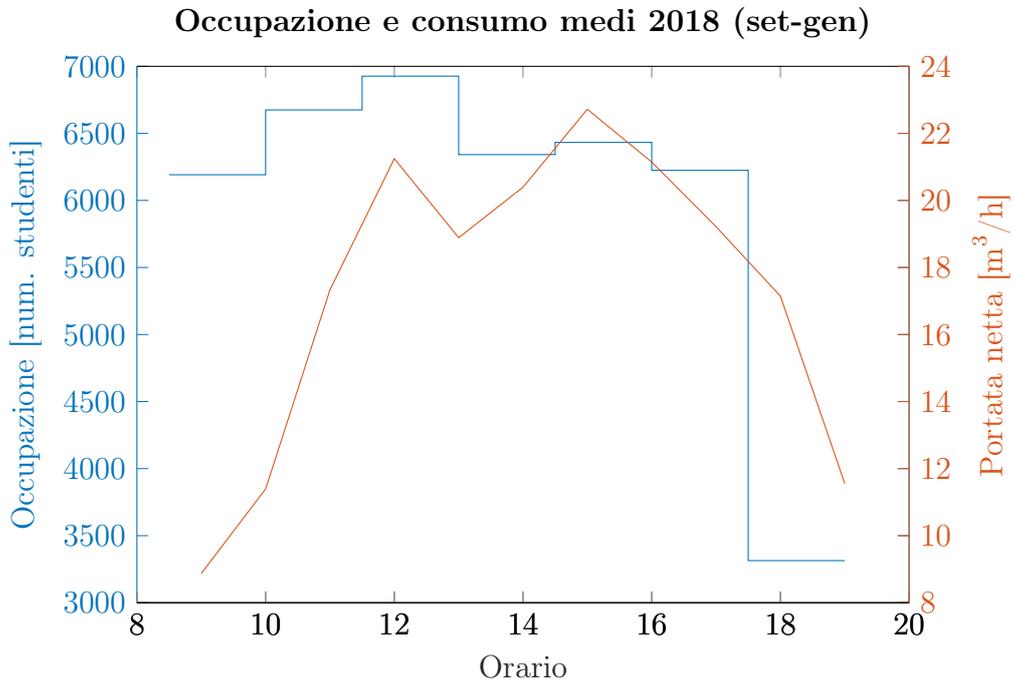


Figura A.66: Andamento dell'occupazione e del consumo - Anno 2018

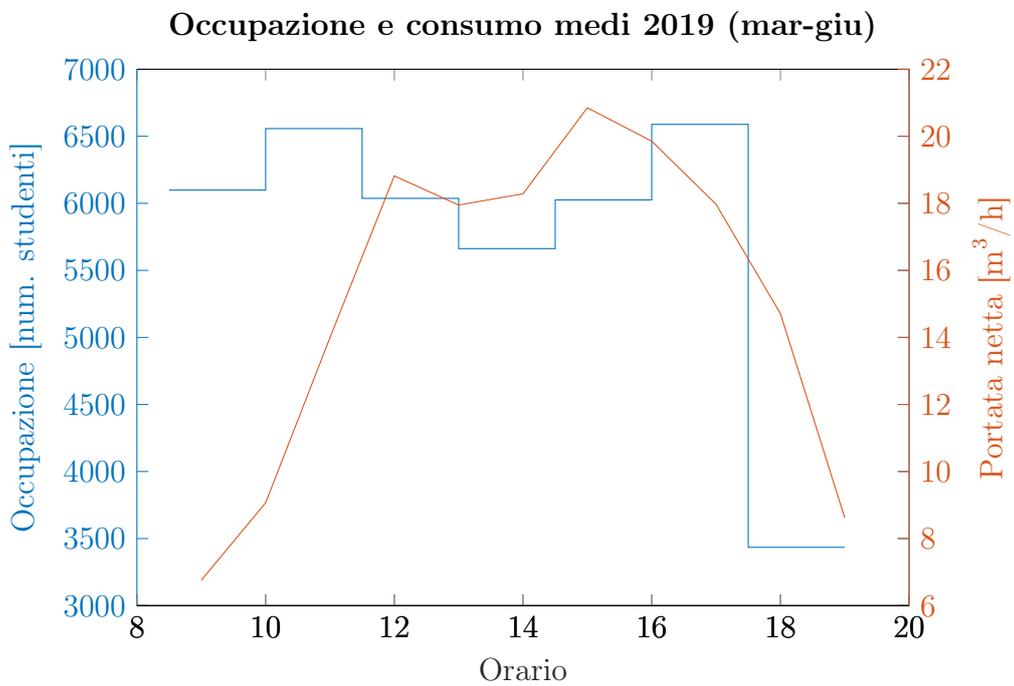


Figura A.67: Andamento dell'occupazione e del consumo - Anno 2019

Appendice B

Network Epanet

[TITLE]

Rete interna di distribuzione dell'acqua potabile
presso il Politecnico di Torino

[JUNCTIONS]

;ID	Elev	Demand	Pattern	
2	0	0	1	;
3	0	0	1	;
4	10	0	1	;
5	5	0	1	;
6	0	0	1	;
7	0	0	1	;
9	20	0	1	;
10	0	0	1	;
11	0	0	1	;
12	5	0	1	;
13	0	0	1	;
14	0	0	1	;
15	5	0	1	;
16	0	0	1	;
17	10	0	1	;
18	0	0	1	;
19	0	0	1	;
20	0	0	1	;
21	0	0	1	;
22	0	0	1	;
23	0	0	1	;
24	0	0	1	;
26	5	0	1	;

27	20	0	1	;
28	5	0	1	;
29	0	0	1	;
30	0	0	1	;
31	20	0	1	;
32	5	0	1	;
33	5	0	1	;
34	0	0	1	;
35	20	0	1	;
36	0	0	1	;
37	0	0	1	;
38	20	0	1	;
39	5	0	1	;
40	0	0	1	;
41	0	0	1	;
42	20	0	1	;
43	5	0	1	;
44	20	0	1	;
45	5	0	1	;
47	0	0	1	;
48	5	0	1	;
49	0	0	1	;
50	0	0	1	;
51	0	0	1	;
52	0	0	1	;
53	20	0	1	;
54	5	0	1	;
55	20	0	1	;
56	0	0	1	;
57	0	0	1	;
58	0	0	1	;
59	0	0	1	;
60	0	0	1	;
61	5	0	1	;
62	5	0	1	;
63	5	0	1	;
64	0	0	1	;
65	0	0	1	;
66	0	0	1	;
67	20	0	1	;
68	20	0	1	;
69	10	0	1	;

70	0	0	1	;
71	0	0	1	;
72	5	0	1	;
73	15	0	1	;
75	0	0	1	;
76	0	0	1	;
77	15	0	1	;
78	5	0	1	;
79	20	0	1	;
80	0	0	1	;
81	0	0	1	;
82	20	0	1	;
83	5	0	1	;
84	5	0	1	;
85	0	0	1	;
86	0	0	1	;
87	0	0	1	;
88	0	0	1	;
90	0	0	1	;
91	0	0	1	;
8	5	0	1	;
25	0	0	1	;
46	0	0	1	;
92	20	0	1	;
93	10	0	1	;
94	0	0	1	;
95	0	0	1	;
96	15	0	1	;
97	0	0	1	;
98	0	0	1	;
99	0	0	1	;
100	0	0	1	;
101	0	0	1	;
102	0	0	1	;
103	5	0	1	;
104	0	0	1	;
105	0	0	1	;
106	0	0	1	;
107	0	0	1	;
108	15	0	1	;
109	5	0	1	;
110	5	0	1	;

```

111      0      0      1      ;
112      0      0      1      ;
113      0      0      1      ;
114      0      0      1      ;
115      15     0      1      ;
116      0      0      1      ;
117      10     0      1      ;
118      5      0      1      ;
119      20     0      1      ;
120      5      0      1      ;
121      0      0      1      ;
122      0      0      1      ;
123      0      0      1      ;
124      15     0      1      ;
125      0      0      1      ;
126      10     0      1      ;
127      0      0      1      ;
128      5      0      1      ;
129      15     0      1      ;
130      5      0      1      ;
131      0      0      1      ;
132      0      0      1      ;
136      0      0      1      ;
137      0      0      1      ;
138      0      0      1      ;
139      5      0      1      ;
140      15     0      1      ;
141      5      0      1      ;
142      0      0      1      ;
143      15     0      1      ;
144      0      0      1      ;
145      0      0      1      ;
146      0      0      1      ;
147      20     0      1      ;
148      5      0      1      ;
149      20     0      1      ;
150      0      0      1      ;
151      0      0      1      ;

```

[RESERVOIRS]

```

;ID      Head      Pattern
  1      36.07     Reservoir_pattern;Valore medio ricavato da lettura

```

pressioni in piazza Rivoli (incrementato del dislivello pari a 10m)

[TANKS]

;ID Elevation InitLeveMinLevel MaxLevel Diameter MinVol VolCurve

[PIPES]

;ID	Node1	Node2	Length	Diameter	Roughnes	MinorLoss	Status
P1	1	2	30	100	0.05	0	Open ;
P2	2	3	46.29	100	0.05	0	Open ;
P3	3	4	7.82	100	0.05	0	Open ;
P4	3	6	0.40	100	0.05	0	Open ;
P5	6	5	0.61	100	0.05	0	Open ;
P6	7	6	23.63	100	0.05	0	Open ;
P8	7	10	6.99	100	0.05	0	Open ;
P9	10	9	24.32	50	0.05	0	Open ;
P10	9	11	13.55	50	0.05	0	Open ;
P11	11	12	1.02	50	0.05	0	Open ;
P12	9	13	32.72	50	0.05	0	Open ;
P13	11	14	20.18	50	0.05	0	Open ;
P14	10	16	29.59	100	0.05	0	Open ;
P15	16	13	6.66	100	0.05	0	Open ;
P16	13	14	1.04	100	0.05	0	Open ;
P17	15	16	1.80	100	0.05	0	Open ;
P18	14	17	4.04	100	0.05	0	Open ;
P19	17	18	9.87	25	0.05	0	Open ;
P20	7	19	16.51	100	0.05	0	Open ;
P21	21	19	27.09	25	0.05	0	Open ;
P22	19	22	0.42	100	0.05	0	Open ;
P23	22	20	2.73	100	0.05	0	Open ;
P24	22	23	50.49	100	0.05	0	Open ;
P25	24	27	3.69	50	0.05	0	Open ;
P26	27	26	10.69	50	0.05	0	Open ;
P27	27	28	27.91	32	0.05	0	Open ;
P28	23	24	24.62	100	0.05	0	Open ;
P29	24	29	26.83	100	0.05	0	Open ;
P30	29	30	6.60	50	0.05	0	Open ;
P31	30	32	1.06	50	0.05	0	Open ;
P32	32	33	22.62	50	0.05	0	Open ;
P33	30	31	4.22	50	0.05	0	Open ;
P34	29	34	5.28	100	0.05	0	Open ;
P35	34	35	18.34	32	0.05	0	Open ;
P36	34	36	25.44	100	0.05	0	Open ;

B – Network Epanet

P37	36	37	6.17	80	0.05	0	Open ;
P38	37	38	4.62	80	0.05	0	Open ;
P39	37	39	19.93	80	0.05	0	Open ;
P40	36	40	28.57	100	0.05	0	Open ;
P41	41	40	4.71	50	0.05	0	Open ;
P42	41	42	4.32	50	0.05	0	Open ;
P43	41	43	24.24	32	0.05	0	Open ;
P44	41	44	19.20	32	0.05	0	Open ;
P45	44	47	47.06	32	0.05	0	Open ;
P46	47	45	7.93	32	0.05	0	Open ;
P47	47	48	4.47	32	0.05	0	Open ;
P48	40	49	8.39	100	0.05	0	Open ;
P49	49	50	2.13	100	0.05	0	Open ;
P50	49	51	54.54	65	0.05	0	Open ;
P51	51	52	2.71	65	0.05	0	Open ;
P52	51	54	45.88	50	0.05	0	Open ;
P53	52	55	6.06	65	0.05	0	Open ;
P54	55	53	37.16	65	0.05	0	Open ;
P55	50	56	52.28	100	0.05	0	Open ;
P56	56	57	0.76	100	0.05	0	Open ;
P57	56	58	59.67	100	0.05	0	Open ;
P58	58	59	3.82	100	0.05	0	Open ;
P59	59	60	3.15	100	0.05	0	Open ;
P60	60	61	36.76	100	0.05	0	Open ;
P61	58	62	45.13	100	0.05	0	Open ;
P62	59	63	53.61	100	0.05	0	Open ;
P63	57	64	26.90	50	0.05	0	Open ;
P64	64	65	4.77	50	0.05	0	Open ;
P65	65	66	16.88	50	0.05	0	Open ;
P66	65	67	51.80	50	0.05	0	Open ;
P67	64	68	21.37	50	0.05	0	Open ;
P68	66	69	35.10	50	0.05	0	Open ;
P69	57	70	17.55	100	0.05	0	Open ;
P70	70	71	0.47	100	0.05	0	Open ;
P71	71	72	9.88	50	0.05	0	Open ;
P72	71	73	13.57	50	0.05	0	Open ;
P73	70	75	24.81	100	0.05	0	Open ;
P75	75	76	48.27	100	0.05	0	Open ;
P76	76	77	19.09	32	0.05	0	Open ;
P77	76	78	15.37	100	0.05	0	Open ;
P78	80	79	13.76	80	0.05	0	Open ;
P79	78	80	87.36	100	0.05	0	Open ;

B – Network Epanet

P80	23	81	24.05	50	0.05	0	Open ;
P81	81	86	3.35	50	0.05	0	Open ;
P82	86	82	7.25	40	0.05	0	Open ;
P83	82	85	2.95	40	0.05	0	Open ;
P84	85	83	3.12	40	0.05	0	Open ;
P85	85	84	36.06	50	0.05	0	Open ;
P86	86	87	19.98	40	0.05	0	Open ;
P87	87	88	4.56	40	0.05	0	Open ;
P88	87	90	21.22	40	0.05	0	Open ;
P7	2	25	41.21	100	0.05	0	Open ;
P90	25	8	10.37	100	0.05	0	Open ;
P91	94	93	20.36	100	0.05	0	Open ;
P92	95	97	14.27	100	0.05	0	Open ;
P93	95	96	14.90	32	0.05	0	Open ;
P94	46	98	16.39	100	0.05	0	Open ;
P95	98	92	0.87	100	0.05	0	Open ;
P96	98	94	8.17	100	0.05	0	Open ;
P97	94	95	20.49	100	0.05	0	Open ;
P98	25	46	9.46	100	0.05	0	Open ;
P99	46	99	28.46	100	0.05	0	Open ;
P100	99	100	30.65	32	0.05	0	Open ;
P101	99	101	16.09	100	0.05	0	Open ;
P102	101	102	21.91	20	0.05	0	Open ;
P103	101	105	12.54	100	0.05	0	Open ;
P104	105	104	7.06	100	0.05	0	Open ;
P105	104	103	3.57	25	0.05	0	Open ;
P106	105	106	30.44	100	0.05	0	Open ;
P109	107	108	6.34	50	0.05	0	Open ;
P110	108	109	33.48	50	0.05	0	Open ;
P111	109	110	54.00	50	0.05	0	Open ;
P112	106	111	19.49	100	0.05	0	Open ;
P113	111	112	3.88	50	0.05	0	Open ;
P114	112	113	1.96	100	0.05	0	Open ;
P115	113	116	2.69	50	0.05	0	Open ;
P116	116	115	6.02	40	0.05	0	Open ;
P117	116	114	8.03	15	0.05	0	Open ;
P118	115	117	31.83	40	0.05	0	Open ;
P119	112	121	34.26	50	0.05	0	Open ;
P120	121	119	16.07	50	0.05	0	Open ;
P121	113	118	56.57	32	0.05	0	Open ;
P122	121	120	66.20	50	0.05	0	Open ;
P123	122	126	42.81	80	0.05	0	Open ;

P124	122	123	1.14	100	0.05	0	Open ;
P125	123	125	2.73	100	0.05	0	Open ;
P126	125	124	2.86	32	0.05	0	Open ;
P127	125	127	21.81	100	0.05	0	Open ;
P128	127	128	9.30	80	0.05	0	Open ;
P129	128	129	11.11	80	0.05	0	Open ;
P130	128	130	25.48	80	0.05	0	Open ;
P131	130	131	32.15	80	0.05	0	Open ;
P132	136	137	0.92	80	0.05	0	Open ;
P133	137	132	7.99	25	0.05	0	Open ;
P136	137	138	2.08	32	0.05	0	Open ;
P137	138	139	4.38	32	0.05	0	Open ;
P138	138	140	1.84	40	0.05	0	Open ;
P139	140	142	9.80	40	0.05	0	Open ;
P140	142	141	7.07	15	0.05	0	Open ;
P141	144	143	28.04	25	0.05	0	Open ;
P142	142	144	34.92	40	0.05	0	Open ;
P143	136	145	16.14	80	0.05	0	Open ;
P144	145	146	35.35	80	0.05	0	Open ;
P146	146	147	14.40	25	0.05	0	Open ;
P147	150	149	31.94	25	0.05	0	Open ;
P148	150	148	37.02	25	0.05	0	Open ;
P149	146	150	22.93	25	0.05	0	Open ;
P150	107	151	3.68	80	0.05	0	Open ;
P151	151	90	2.74	40	0.05	0	Open ;
P152	151	91	16.08	40	0.05	0	Open ;
P153	111	122	35.80	100	0.05	0	Open ;
P89	127	136	30.55	100	0.05	0	Open ;
P145	80	145	200.07	100	0.05	0	Open ;
P107	107	106	4.74	80	0.05	0	Open ;

[PUMPS]

;ID	Node1	Node2	Parameters
-----	-------	-------	------------

[VALVES]

;ID	Node1	Node2	Diameter	Type	Setting	MinorLoss
-----	-------	-------	----------	------	---------	-----------

[TAGS]

NODE	4	B,1
NODE	5	B,0
NODE	9	B,3
NODE	12	M

NODE	15	M
NODE	17	B,1
NODE	18	B,-1
NODE	21	B,-1
NODE	26	B,0
NODE	27	B,3
NODE	28	L,0
NODE	31	B,3
NODE	32	B,0
NODE	33	L,0
NODE	35	B,3
NODE	38	B,3
NODE	39	L,0
NODE	42	B,3
NODE	43	L,0
NODE	44	B,3
NODE	45	M
NODE	48	L
NODE	53	B,3
NODE	54	L
NODE	55	B,3
NODE	61	L
NODE	62	L
NODE	63	L
NODE	67	B,3
NODE	68	B,3
NODE	69	B,1
NODE	72	L,0
NODE	73	L,2
NODE	77	B,2
NODE	78	B,0
NODE	79	B,3,4A
NODE	81	B,-1
NODE	82	B,3
NODE	83	B,0
NODE	84	L,0
NODE	88	B,-1
NODE	91	B,-1
NODE	8	B,0
NODE	92	B,3
NODE	93	B,1
NODE	96	B,2

```

NODE    97    B,-1
NODE   100    B,-1
NODE   102    B,-1
NODE   103    B,0
NODE   108    B,2
NODE   109    L,0
NODE   110    B,0
NODE   114    B,-1
NODE   115    B,2
NODE   117    L,1
NODE   118    L,0
NODE   119    B,3
NODE   120    L,0
NODE   124    B,2
NODE   126    L,1
NODE   128    B,0
NODE   129    B,2
NODE   130    L,0
NODE   131    L,-1
NODE   132    B,-1
NODE   139    B,0
NODE   140    B,2
NODE   141    L,0
NODE   143    L,2
NODE   147    B,3
NODE   148    L,0
NODE   149    B,3

```

[STATUS]

```
;ID      Status/Setting
```

[PATTERNS]

```
;ID      Multipliers
```

```
;Costante
```

```

  1      1      1      1      1      1      1
  1      1      1      1      1      1      1

```

```
;Coefficiente calcolato sulla portata diurna netta, sul giorno tipo
2018 (lav)
```

```

Bagni   0      0      0      0      0      0
Bagni   0      0      0.53  0.69  1.05  1.29
Bagni  1.15  1.24  1.38  1.29  1.17  1.04
Bagni  0.7    0.49  0      0      0      0

```

```

;Variazione fascia notturna; Costante fascia diurna (valor medio
notturmo)
Laboratori 0.79    0.79    0.79    0.83    0.87    0.84
Laboratori 1.03    1.53     1       1       1       1
Laboratori 1       1       1       1       1       1
Laboratori 1       1       1.65    1.25    0.83    0.78
;Variazione laboratori
Laboratori_2 0.79    0.79    0.79    0.83    0.87    0.84
Laboratori_2 1.03    1.53    1.35    1.45    1.69    1.85
Laboratori_2 1.75    1.81    1.91    1.84    1.77    1.68
Laboratori_2 1.46    1.32    1.65    1.25    0.83    0.78
;Pattern variazione laboratorio consumo max
Laboratorio_max 0.63    0.63    0.63    0.73    0.76    0.72
Laboratorio_max 0.86    1.29    1.24    1.16    1.11    1.11
Laboratorio_max 1.13    1.16    1.09    1.23    1.17    1.28
Laboratorio_max 1.26    1.17    1.29    1.46    0.56    0.32
;Pattern carico al serbatoio
Reservoir_pattern 1.03    1.07    1.13    1.14    1.14    1.11
Reservoir_pattern 1.01    0.95    0.99    1.02    0.97    0.98
Reservoir_pattern 0.97    0.96    0.98    1.01    0.98    0.96
Reservoir_pattern 0.93    0.88    0.89    0.91    0.95    1.02
;Considero 1 m3 a bar, sulle 12 ore diurne costanti nel giorno
Bar_e_mense 0       0       0       0       0       0
Bar_e_mense 0       0       1       1       1       1
Bar_e_mense 1       1       1       1       1       1
Bar_e_mense 1       1       0       0       0       0

```

[CURVES]

```

;ID      X-Value Y-Value

```

[CONTROLS]

[RULES]

[ENERGY]

```

Global Efficiency 75
Global Price      0
Demand Charge     0

```

[EMITTERS]

```

;Junction Coefficient

```

[QUALITY]

;Node InitQual

[SOURCES]

;Node Type Quality Pattern

[REACTIONS]

;Type Pipe/Tank Coefficient

[REACTIONS]

Order Bulk	1
Order Tank	1
Order Wall	1
Global Bulk	0
Global Wall	0
Limiting Potential	0
Roughness Correlation	0

[MIXING]

;Tank Model

[TIMES]

Duration	24
Hydraulic Timestep	1:00
Quality Timestep	0:05
Pattern Timestep	1:00
Pattern Start	23:00
Report Timestep	1:00
Report Start	1:00
Start ClockTime	12 am
Statistic	None

[REPORT]

Status	No
Summary	No
Page	0

[OPTIONS]

Units	LPM
Headloss	D-W
Specific Gravity	1
Viscosity	1

Trials	40
Accuracy	0.001
CHECKFREQ	2
MAXCHECK	10
DAMPLIMIT	0
Unbalanced	Continue 10
Pattern	1
Demand Multiplier	1.0
Emitter Exponent	0.5
Quality	None mg/L
Diffusivity	1
Tolerance	0.01

[COORDINATES]

;Node	X-Coord	Y-Coord
2	419.68	194.83
3	387.43	208.84
4	394.65	209.44
5	387.14	209.55
6	387.14	208.94
7	386.02	230.86
9	365.09	241.55
10	379.03	231.13
11	351.55	241.55
12	351.57	242.57
13	342.78	231.09
14	341.74	231.09
15	351.02	231.28
16	349.45	231.09
17	337.71	231.09
18	340.11	224.49
19	388.23	245.42
20	390.96	245.83
21	363.73	242.87
22	388.23	245.83
23	386.33	294.41
24	361.71	294.42
26	371.87	297.57
27	361.74	298.11
28	364.22	323.73
29	334.88	294.42
30	332.66	298.74

31	334.39	299.13
32	333.71	298.72
33	335.80	319.48
34	329.60	294.43
35	333.28	283.24
36	304.16	294.46
37	304.60	300.19
38	306.24	299.82
39	306.10	318.69
40	275.59	294.45
41	274.64	298.10
42	277.09	300.04
43	277.79	319.26
44	273.25	286.98
45	311.36	288.52
47	312.53	282.73
48	313.65	282.30
49	267.66	294.69
50	267.61	296.82
51	220.14	287.62
52	220.14	284.91
53	177.29	285.28
54	175.86	286.08
55	214.45	285.33
56	267.59	349.10
57	267.59	349.86
58	209.11	348.24
59	205.30	348.24
60	202.15	348.24
61	207.30	333.46
62	227.05	375.24
63	201.00	398.58
64	240.69	349.77
65	235.92	349.77
66	219.03	349.77
67	235.82	401.57
68	246.89	334.60
69	219.13	314.66
70	267.59	367.41
71	268.00	367.19
72	269.45	358.54
73	270.12	355.09

75	277.17	382.77
76	325.44	382.77
77	309.31	385.73
78	339.65	381.44
79	423.05	377.10
80	421.66	387.11
81	387.49	317.31
82	391.14	324.28
83	393.26	326.15
84	384.38	356.13
85	391.15	327.23
86	387.48	320.67
87	407.46	320.76
88	407.46	325.32
90	426.94	318.98
91	420.63	323.40
8	440.67	225.44
25	430.29	225.33
46	430.29	234.80
92	446.79	235.81
93	467.43	240.00
94	453.53	233.57
95	474.02	233.48
96	477.96	237.84
97	480.72	225.95
98	446.68	234.95
99	429.37	262.49
100	458.05	260.58
101	429.37	278.58
102	451.28	278.68
103	430.21	296.99
104	428.52	296.04
105	429.54	291.11
106	435.21	316.02
107	433.36	318.99
108	432.79	321.51
109	429.10	351.29
110	453.97	372.10
111	454.69	315.96
112	455.65	318.97
113	457.61	318.97
114	449.40	321.52

115	455.72	325.79
116	455.79	319.84
117	461.28	352.01
118	479.31	284.02
119	478.93	294.75
120	491.38	301.10
121	462.86	294.69
122	490.49	316.02
123	491.63	316.09
124	491.70	321.68
125	491.63	318.82
126	485.79	352.54
127	513.44	318.71
128	514.35	327.13
129	520.10	321.65
130	514.31	352.61
131	501.67	372.30
132	546.39	313.99
136	544.00	318.67
137	543.94	319.59
138	543.17	320.91
139	546.91	321.55
140	541.89	321.49
141	541.27	335.26
142	540.02	329.42
143	527.83	371.59
144	541.87	362.32
145	551.08	327.85
146	584.94	326.19
147	593.05	319.91
148	569.14	367.86
149	595.93	367.52
150	584.96	346.78
151	429.68	318.96
1	419.66	191.61

[VERTICES]

;Link	X-Coord	Y-Coord
P2	387.33	194.90
P3	394.64	208.84
P4	387.43	208.95
P6	385.47	208.90

P9	379.04	233.21
P9	369.88	233.21
P9	369.88	241.51
P12	365.10	231.64
P12	342.76	231.56
P13	351.55	231.77
P13	341.77	231.70
P17	349.41	231.27
P19	337.30	231.08
P19	337.26	224.47
P19	337.26	224.47
P20	387.95	231.11
P20	387.91	242.22
P20	388.23	242.31
P21	387.72	242.78
P21	387.72	245.37
P24	388.19	290.99
P24	386.28	290.99
P26	371.89	298.11
P27	361.86	303.91
P27	364.25	304.02
P30	334.86	294.76
P30	332.58	294.76
P32	335.62	298.77
P33	331.61	298.72
P33	331.61	299.10
P35	329.60	292.85
P35	334.99	292.85
P35	335.02	283.21
P37	304.16	299.29
P37	304.60	299.29
P38	304.60	301.49
P38	306.24	301.49
P39	304.67	304.32
P39	306.10	304.32
P41	274.68	297.24
P41	275.74	297.24
P42	274.63	299.95
P43	275.53	298.09
P43	275.64	303.52
P43	277.87	303.57
P44	274.26	298.15

P44	274.20	292.88
P44	269.90	292.83
P44	269.90	286.93
P45	273.35	281.45
P45	273.78	281.45
P45	273.67	280.92
P45	312.53	281.03
P46	312.53	288.95
P46	311.36	289.06
P47	311.09	282.68
P47	311.09	282.20
P48	267.50	294.43
P50	267.08	294.64
P50	267.03	292.99
P50	224.18	292.99
P50	224.23	289.11
P50	220.14	289.11
P52	219.13	287.62
P52	219.08	285.97
P53	219.02	284.91
P53	219.02	285.28
P57	223.80	349.10
P57	224.09	348.24
P60	202.25	347.00
P60	200.81	346.81
P60	200.72	342.99
P60	200.34	343.09
P60	200.34	326.68
P60	207.21	326.87
P61	209.40	367.80
P61	227.33	367.61
P62	205.30	365.89
P62	202.72	365.79
P67	240.88	334.41
P71	268.22	358.54
P72	267.81	367.14
P72	268.00	355.54
P73	267.72	382.77
P76	325.34	383.35
P76	309.22	383.35
P77	328.49	382.68
P77	328.68	381.34

P78	424.21	387.11
P78	424.25	377.10
P79	367.74	381.51
P79	367.93	387.05
P80	387.58	294.51
P82	387.48	321.91
P82	390.21	321.96
P82	390.18	324.28
P84	392.13	327.24
P84	392.15	326.21
P85	384.10	327.14
P88	426.27	320.68
P88	426.27	318.94
P7	427.86	194.85
P7	427.86	209.03
P7	430.40	209.03
P91	453.48	239.98
P92	480.76	233.48
P93	474.02	230.93
P93	473.26	230.86
P93	473.29	232.55
P93	477.86	232.52
P96	446.63	233.68
P99	430.21	242.48
P99	429.26	242.69
P100	457.73	262.06
P100	457.52	260.37
P104	429.50	292.08
P104	430.06	292.08
P104	430.06	292.84
P104	428.54	292.80
P105	430.71	296.01
P105	430.63	296.98
P106	433.78	291.07
P106	433.78	293.08
P106	434.41	293.08
P106	434.52	315.95
P109	434.99	318.98
P109	434.96	319.65
P109	434.45	319.69
P109	434.48	320.74
P109	432.76	320.77

P110	432.71	327.57
P110	429.00	327.57
P111	429.11	359.28
P111	427.02	359.32
P111	426.97	367.62
P111	434.08	367.58
P111	434.17	373.64
P111	450.77	373.64
P111	450.77	372.64
P111	454.46	372.68
P111	454.42	372.00
P113	454.69	318.88
P115	457.66	319.79
P117	454.28	319.84
P117	454.33	320.98
P117	449.45	321.02
P118	461.38	325.87
P119	455.56	314.69
P119	454.16	314.69
P119	454.16	302.88
P119	462.93	302.69
P121	462.61	319.01
P121	462.67	288.21
P121	463.82	288.14
P121	463.88	283.95
P122	462.93	288.08
P122	463.69	287.89
P122	463.75	283.70
P122	482.17	283.70
P122	482.17	288.65
P122	485.66	288.72
P122	485.73	283.76
P122	491.32	283.89
P123	490.43	320.41
P123	484.90	320.60
P123	484.90	327.52
P123	485.85	327.52
P125	491.63	318.56
P128	513.44	327.11
P129	520.06	327.06
P131	514.31	362.97
P131	513.29	363.09

P131	513.35	370.33
P131	511.26	370.40
P131	511.32	372.17
P133	546.36	319.56
P136	543.14	319.62
P137	546.88	320.88
P138	541.89	320.94
P139	541.86	326.91
P139	539.99	326.91
P140	541.27	329.45
P141	541.89	372.09
P141	538.00	372.06
P141	538.00	373.91
P141	529.75	373.89
P141	529.82	371.60
P142	539.95	362.42
P143	551.04	318.75
P144	568.71	327.66
P144	568.68	326.87
P144	584.52	326.81
P144	584.49	326.17
P146	586.54	326.19
P146	586.58	319.87
P147	585.13	367.92
P148	575.99	346.73
P148	575.99	350.50
P148	569.02	350.55
P149	584.94	327.25
P149	586.15	327.20
P149	586.10	346.72
P152	429.66	320.69
P152	426.74	320.68
P152	426.71	319.34
P152	420.66	319.36
P145	421.52	392.66
P145	551.24	392.66
P107	433.39	316.36
P107	435.16	316.36

[LABELS]

;X-Coord

Y-Coord

Label & Anchor Node

```
[BACKDROP]
DIMENSIONS 0.00 0.00 897.40 447.20
UNITS      Meters
FILE       C:\Users\alessandro\OneDrive\Tesi 2019\
EPANET\Prima\Pianta_rete_EPANET_1.wmf
OFFSET    0.00 0.00

[END]
```

Bibliografia

- [1] ISPRA (2018), *Rapporto anno XIII: gli indicatori del CLIMA in Italia nel 2017*, ISPRA, Roma.
- [2] WWF (2019), <https://www.wwf.it/news/notizie/?46380/Attraverso-lacqua-vediamo-gli-effetti-dei-cambiamenti-climatici>.
- [3] Istat (2017), *Censimento delle acque per uso civile, anno 2015*, Istat.
- [4] USGS, *Earth's water distribution*, USGS.
- [5] Giorgio Cancelliere (2010), *L'oro blu: la battaglia per l'acqua*, XXI Secolo.
- [6] UN WATER (2018), *Rapporto mondiale delle nazioni unite sullo sviluppo delle risorse idriche 2018*, Unesco.
- [7] Valerio Milano (2016), *Acquedotti - Guida alla progettazione*, Ulrico Hoepli, Milano.
- [8] Lewis A. Rossman (2000), *Epanet 2 - User Manual*, EPA, Cincinnati.