

1. Introduzione

La necessità di quantificare e localizzare i fenomeni di perdita, partendo dalla conoscenza delle grandezze idrodinamiche in un numero limitato di punti, ha indotto numerosi ingegneri e ricercatori del settore a formulare differenti modelli di calcolo.

L'applicazione di questi ultimi risulta in modo sostanziale condizionata da una serie di assunzioni esemplificative dettate dalla complessità strutturale delle reti di distribuzione (sistemi magliati composti da numerose tubazioni caratterizzate da un numero ancora maggiore di allacci per le utenze), e dalla natura aleatoria dei fattori che concretamente incidono sull'esercizio (e.g.: domanda di portata, scabrezza delle condotte, guasti).

Ovviamente, tali pregiudizievoli assunzioni implicano che i risultati ai quali si addiuvano tramite la modellazione numerica possano essere poco attendibili. Tuttavia, il grande risparmio di uomini e risorse che si realizza tramite l'impiego di modelli numerici per la simulazione del funzionamento idraulico delle reti di distribuzione, fa sì che i modelli di calcolo trovino grande applicazione anche nello studio delle perdite.

Da ciò, emerge chiaramente che, al fine di formulare un modello numerico attendibile, occorre sostanzialmente verificare e validare il simulatore tramite una copiosa campionatura di dati sperimentali che descrivano le effettive condizioni di funzionamento di un sistema di distribuzione magliato.

Constatata la pressoché totale assenza in letteratura tecnica di siffatti dati, l'Unità Operativa di Cassino si è impegnata nella realizzazione di un opportuno sistema sperimentale.

Ciò, ha richiesto la realizzazione di un vero e proprio laboratorio di campo per il monitoraggio di una reale rete di distribuzione, il quale consente in differenti punti del sistema idrico di acquisire in continuo e simultaneamente informazioni in merito alle grandezze idrodinamiche ritenute più significative.

2. Case study

Al fine di definire un laboratorio di campo di valenza generale è stata individuata una rete di distribuzione tale da rappresentare una possibile esemplificazione sia per lo schema topologico, sia per i suoi elementi componenti.

Pertanto, dal confronto di numerose reti di distribuzione cittadine del basso Lazio, la scelta è ricaduta sul sistema di distribuzione idrico a servizio del Comune di Piedimonte San Germano, gestito attualmente dal Consorzio Idrico degli Aurunci (ATO 5 Lazio Meridionale).

Attesa la notevole differenza di quota geodetica esistente tra l'originario centro cittadino (248 m s.l.m.) e gli insediamenti più recenti (86 m s.l.m.), il paese è servito da due reti di distribuzione distinte che garantiscono il *servizio alto* ed il *servizio basso* di erogazione, ciascuna asservita ad un differente serbatoio.

Il servizio basso, a sua volta, si compone di due reti di distribuzione praticamente distinte, che presentano un unico punto di interconnessione, per cui il sistema di monitoraggio copre solo uno dei due sistemi di distribuzione.

La delimitazione dell'area di monitoraggio ha consentito di posizionare in modo diffuso le sonde nella zona oggetto di studio, per cui dalle misure da loro fornite, descrittive del funzionamento idraulico del sistema di distribuzione, si può risalire in modo più attendibile al modello di domanda dell'utenza.

Inoltre, si fa presente che l'area monitorata del Comune di Piedimonte San Germano presenta maggiore interesse idraulico, poiché lo schema topologico della rete di distribuzione risulta estremamente *magliato*.

Più precisamente, la zona del Comune oggetto di studio rappresenta il centro abitato che si è sostanzialmente sviluppato con l'insediamento del complesso industriale FIAT, ed è caratterizzato da fabbricati di modesta altezza (solitamente edifici di 2÷3 piani, che in rari casi – e.g.: complesso residenziale Lozza – raggiungono i 4 piani). Tale area rappresenta attualmente il centro di Piedimonte San Germano come testimoniato dalla presenza delle principali attività commerciali e dei diversi uffici, oltre quelli comunali e in essa risiede una significativa aliquota degli abitanti residenti (su una popolazione complessiva di 4688 abitanti, nell'area prescelta di studio ricadono 1385 abitanti).

3. Caratteristiche della rete di distribuzione

L'approssimativo grado di conoscenza sia del sistema idrico, sia dell'utenza servita, hanno imposto un'apposita campagna di acquisizione dati.

Infatti, dai primi riscontri emerse che, relativamente alla struttura idrica di adduzione e distribuzione, la cartografia in possesso dell'Ente gestore e del Comune risultava parziale e in molti punti inesatta. Inoltre, la cartografia relativa allo stato di edificazione e urbanizzazione risultava obsoleta e superata rispetto all'attuale assetto urbanistico.

Ciò, impose preliminarmente la redazione aggiornata delle carte topografiche in scala 1:2000 e 1:10000 a mezzo di restituzioni aerofotogrammetriche.

Quindi, sulla base cartografica aggiornata, si è proceduto a rilevare ex-novo l'intera rete di distribuzione del servizio basso, con la collaborazione del personale dell'Ente di gestione, nonché con l'ausilio di sonde per la rilevazione di elementi metallici interrati.

L'attività di rilevazione sviluppata ha consentito di acquisire informazioni concernenti:

- ubicazione condotte;
- diametro e materiali tubazioni;
- ubicazione dei manufatti di ispezione e manutenzione;
- allacci utenze;
- apparecchiature;
- pezzi speciali.

in definitiva la caratterizzazione completa dell'intera rete di distribuzione.

Tale attività di rilievo è stata riversata in file grafici in formato DWG.

La zona urbana monitorata e servita da una rete che si compone di 60 lati che formano complessivamente 13 maglie. L'intera rete è alimentata a gravità da un solo serbatoio posto a quota 178.4 mslm.

In Fig.1 è riportata una rappresentazione schematica della rete di distribuzione.

Le tubazioni sono prevalentemente in ghisa sferoidale, mentre a seguito dei successivi interventi di adeguamento e di ampliamento, spesso non programmati, alcuni tratti sono stati sostituiti o realizzati ex-novo con tubazioni generalmente in materiali plastici (PVC e PEad).

Nella tabella che segue sono riportate in sintesi le caratteristiche salienti (Diametri, materiali e lunghezza) delle adduttrici costituenti la rete monitorata.

	Ghisa	PVC	PEad	Acc.zinc.	Tot.
DN 40	--	--	97	--	97
DN 50	44	--	--	80	124
DN 60	1640	--	--	--	1640
DN 63	--	--	988	--	988
DN 80	1216	--	--	--	1216
DN 100	973	--	--	--	973
DN 110	--	502	83	--	585
Tot.	3873	502	1168	80	5623

Tab.1 Caratteristiche della rete di Piedimonte San Germano dotata di monitoraggio

In corrispondenza dei nodi, alcuni dei tratti in essi confluenti sono dotati di organi di sezionamento, ma lo stato di conservazione degli stessi ne inficia, il più delle volte, la funzionalità (Fig.2).

Una descrizione più dettagliata del sistema di distribuzione è riportata in ALLEGATO 1.

4. Caratteristiche dell'utenza servita

Mediante un'opportuna campagna conoscitiva, si è provveduto a rilevare tutti i nuclei familiari e le attività produttive e commerciali servite dalla rete.

Dovendo provvedere ex-novo alla schedulazione delle utenze è stato predisposto un opportuno questionario (ALLEGATO 2) per l'acquisizione di informazioni più dettagliate.

Nella fattispecie, le domande riportate in questionario riguardano sostanzialmente i seguenti aspetti:

- tipo di utenza;
- entità dell'utenza;
- apparecchiature igienico-sanitarie;
- abitudini concernenti l'uso dell'acqua.

I dati così raccolti, sono stati sottoposti, ove è stato possibile, ad una verifica incrociata sia con i dati in possesso all'ufficio fatturazione del Consorzio degli Aurunci, sia con i dati dedotti dall'ufficio anagrafe del Comune.

Operando in tal modo, e compatibilmente alla collaborazione dimostrata dagli abitanti in questa fase, si è pervenuti ad una conoscenza dettagliata dell'utenza servita.

Nonostante nell'area monitorata ricadano quasi tutte le attività commerciali e terziarie presenti nel Comune di Piedimonte San Germano, l'utenza è prevalentemente di tipo civile domestico.

L'originaria vocazione agricola del Comune è stata profondamente modificata dall'insediamento industriale, per cui il ceto sociale è sostanzialmente composto da famiglie operaie.

In Tab.2 si riassumono le caratteristiche principali dell'utenza monitorata.

Numero contratti	448	% utenti che hanno risposto al questionario	76,7
Numero complessivo abitanti equivalenti	1411	% abitanti equivalenti fluttuanti	1,84
Numero medio abitante equivalente per contratto	3,08	% utenza di tipo domestico	74,3
Numero medio bagni per contratto	1,44	% utenza Commerciale/industriale	6,25
		% utenza uffici	1,56

Tab.2 Principali caratteristiche dell'utenza idrica di Piedimonte San Germano

Come può evincersi dalla stessa Tab.2, non è stato possibile per una parte dell'utenza monitorata desumere le rispettive informazioni. Pertanto, i dati generali in essa riportati vanno intesi come estrapolazione delle informazioni dedotte dalle utenze che hanno contribuito, rispondendo al questionario, alla realizzazione del database.

5. Strumentazioni per la misura in continuo

Per rilevare in continuo alcune grandezze idrauliche in differenti punti della rete è stato realizzato un opportuno sistema così costituito:

- sonde
- sistema di trasmissione
- unità centrale

Il sistema realizzato consente di misurare in continuo portate e pressioni in quattro punti della rete. Si fa, altresì, presente che la rete di Piedimonte San Germano è stata strumentata anche per la misura anche delle caratteristiche qualitative delle acque

Sonde

Lo studio dello schema della rete ha indotto ad individuare 4 punti significativi di misura delle portate e delle pressioni, come riportato in Fig.3.

Per il monitoraggio delle portate sono stati installati 4 misuratori elettromagnetici ISOIL (2 DN100 e 2 DN80), mentre le pressioni sono rilevate mediante 4 trasduttori di pressioni Danfoss MBS 33M.

Per allocare la strumentazione di misura, si è reso necessario realizzare e attrezzare opportuni pozzetti, constatato che nei pressi dei punti della rete da monitorare non vi erano pozzetti di ispezione adeguati, e cioè:

- sufficientemente ampi;
- dotati di strumentazione;
- esenti da fenomeni di infiltrazione.

Come si può osservare in Fig.4, nei nuovi pozzetti sono stati previsti tratti rettilinei a monte e a valle dei misuratori elettromagnetici sufficientemente lunghi per garantire l'attendibilità delle misure. Inoltre, ciascun pozzetto è stato dotato di efficaci organi di sezionamento e dotati di prese elettriche.

Sistema di trasmissione dati

Affinché i dati rilevati fossero trasmessi alla stessa unità centrale, le 8 sonde sono state cablate tramite uno schema a stella collegate ad unico data-logger.

Pertanto, sono stati stesi circa 1000 m di cavo multipolare schermato (3 coppie+1) che collega ciascuna sonda all'unità centrale.

Poiché le 4 celle di pressione richiedono alimentazione in corrente continua (10-32V), è stato impiegato il medesimo cablaggio per la trasmissione dati anche per l'alimentazione elettrica dei misuratori di pressione, senza che ciò possa costituire disturbo all'acquisizione degli stessi dati.

Per l'alimentazione elettrica delle sonde elettromagnetiche è stata realizzata una connessione in serie mediante un cavo multipolare $3 \times 2.5 \text{ mm}^2$ della lunghezza complessiva di circa 800m. Tale cavo consente di collegare direttamente le 4 sonde ad una cabina ENEL impiegata anche per l'alimentazione del data-logger.

Al fine di preservare le sonde da eventuali correnti vaganti intercettate dai cavidotti, la strumentazione è stata ulteriormente dotata di fusibili a protezione (i misuratori di portata sono protetti con specifici fusibili di sicurezza).

La realizzazione della rete di monitoraggio ha richiesto la realizzazione di apposito cavidotto di servizio.

Unità centrale e software di gestione

Il data-logger (Fig. 5a,b) costituente l'unità centrale è gestito da un software all'uopo sviluppato che conferisce estrema versatilità al sistema di registrazione.

Più precisamente, il programma di gestione consente di acquisire le misure idrauliche con la frequenza desiderata e, successivamente, di effettuare la media aritmetica delle stesse su un numero di dati da definirsi mediante specifico input.

Ciò, permette di acquisire i dati con riferimento agli intervalli di tempo più opportuni in relazioni alle esigenze di studio, atteso che la memoria fissa del data-logger può al più acquisire 8000 righe di dati.

6. Dati acquisiti

Al fine di costituire ampi campioni di dati sulla base dei quali effettuare statistiche attendibili, si stanno registrando le misure di portata e di pressione nei quattro punti della rete prima descritti.

Variando la frequenza di acquisizione e l'intervallo temporale sul quale viene effettuata la media, sono stati ad oggi acquisiti numerosi e copiosi campioni di dati. A titolo di esempio, nelle Figg. 6 e

7 si riportano sotto forma di diagrammi Portata-Tempo e Pressione-Tempo alcuni dei campioni di dati già acquisiti.

7. Sviluppo del laboratorio di campo

Tuttora il sistema di acquisizione dati della rete idrica è in via di sviluppo, poiché si stanno installando 10 contatori per utenza domestica cablati ad un ulteriore data-logger per l'acquisizione in continuo dei dati inerenti le portate richieste dai singoli utenti.

Tale ampliamento del sistema di monitoraggio consentirà di acquisire ulteriori e preziose informazioni per la modellazione della richiesta di portata delle utenze di tipo civile.

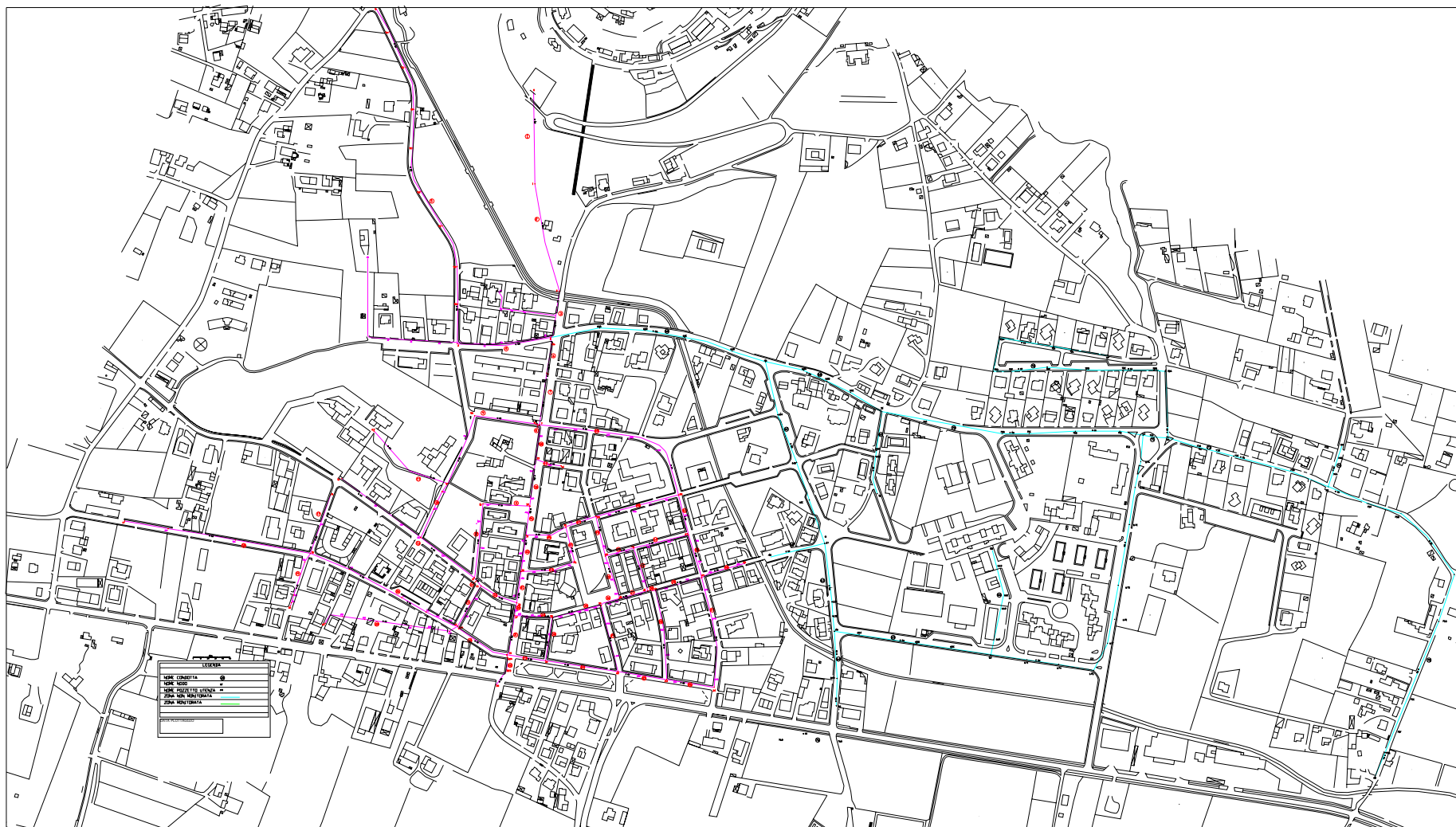


Fig.1 Rete di distribuzione (*servizio basso*) di Piedimonte San Germano



Fig.2 Pozzetto tipo dotato di organo di regolazione

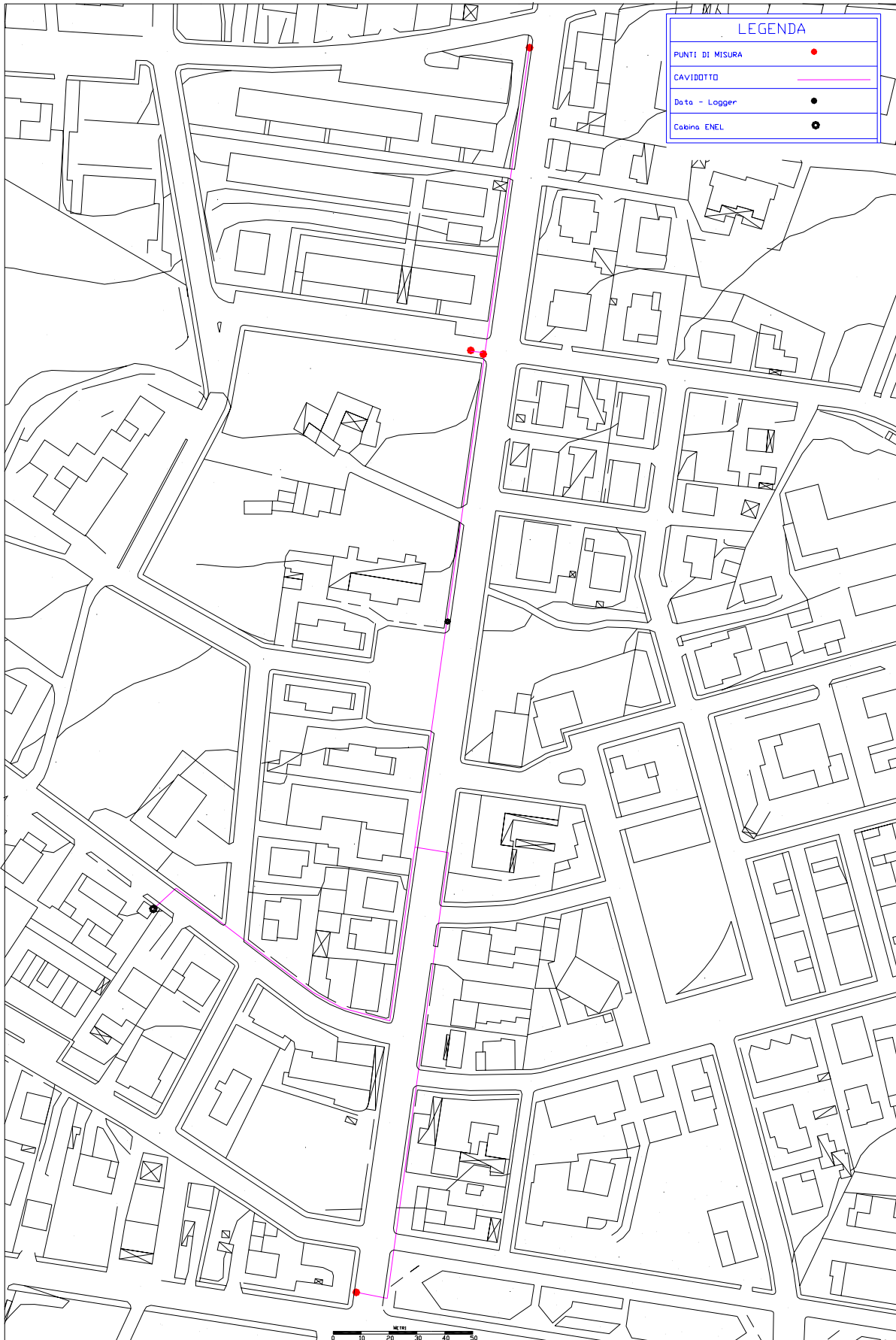


Fig.3 Posizionamento delle sonde per la misura delle portate e delle pressioni



Fig.4 Pozzetto tipo in fase di realizzazione

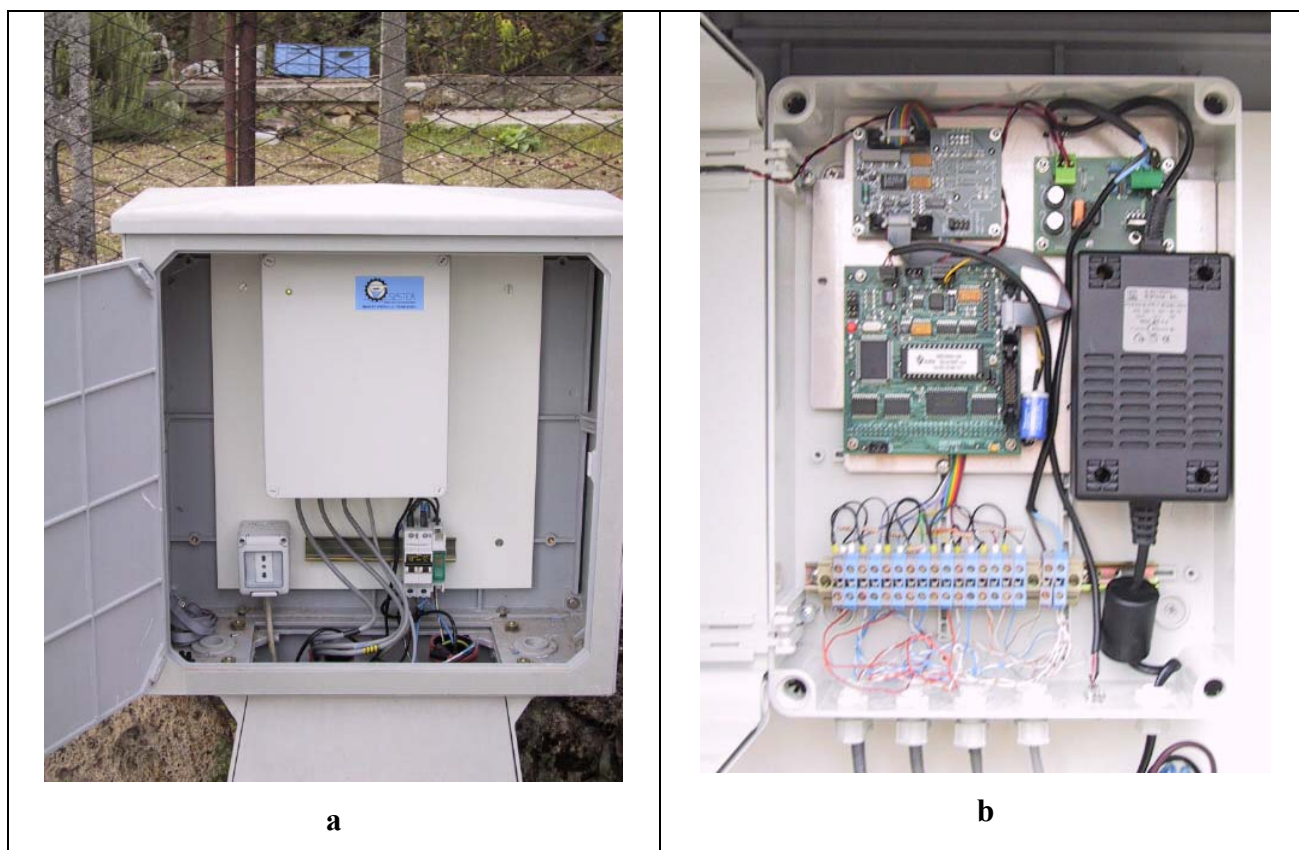
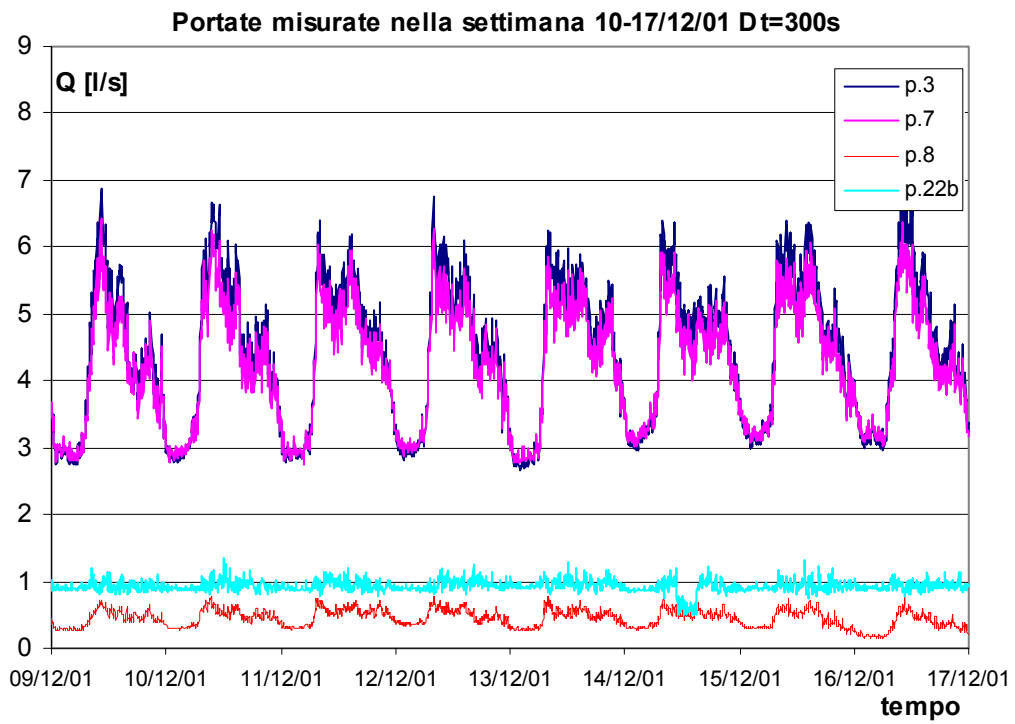
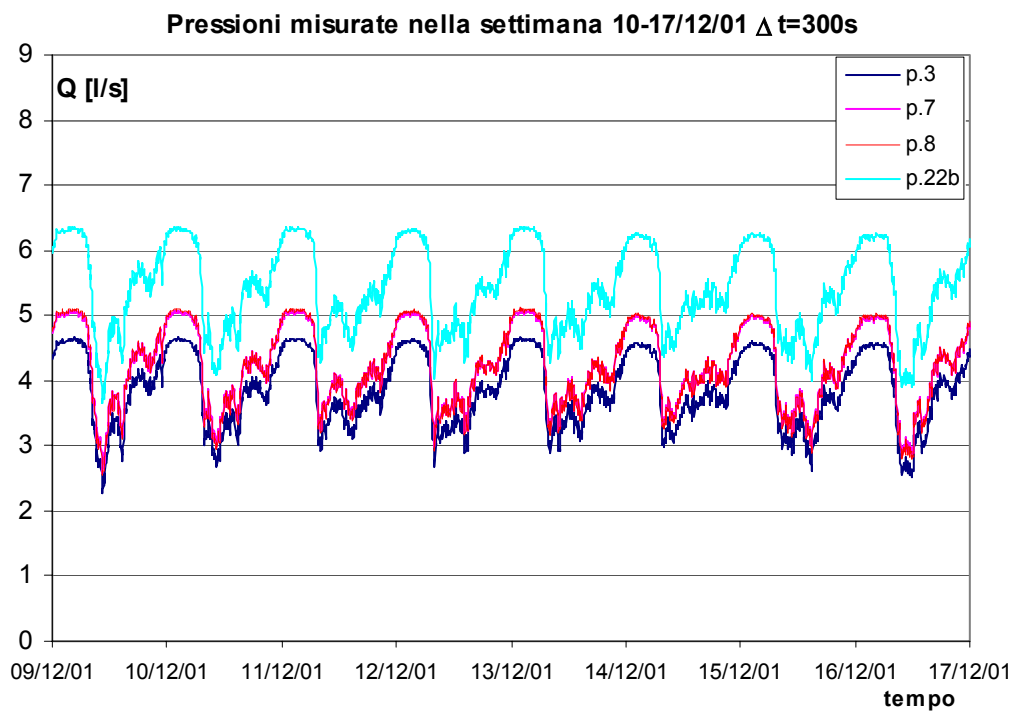


Fig.5 Unità centrale

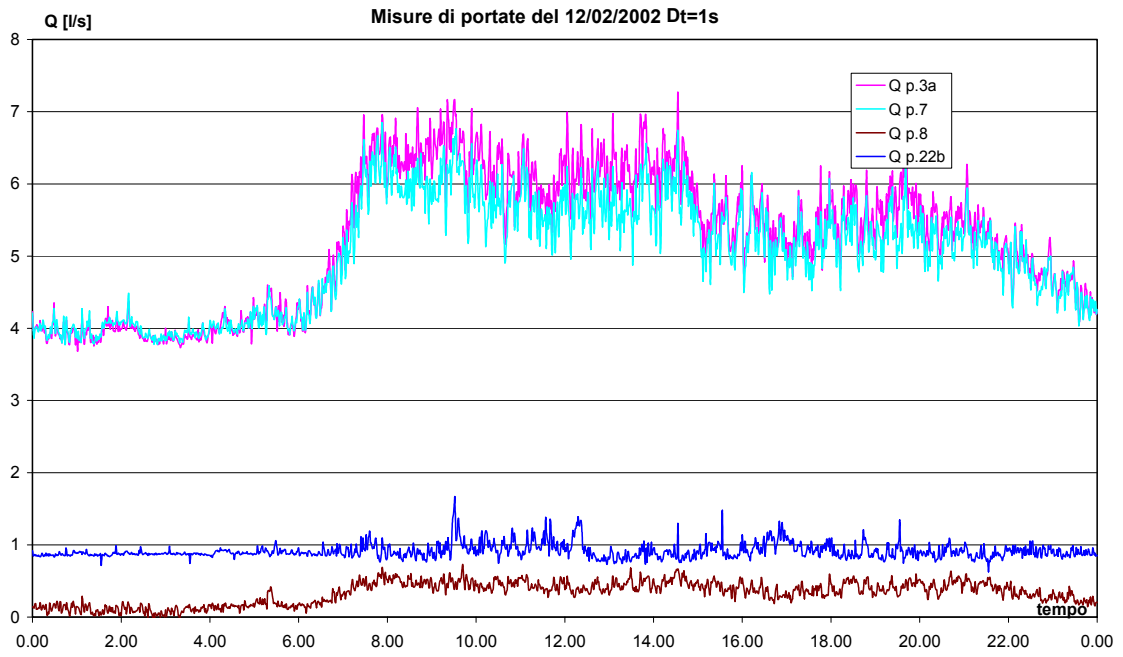


a)

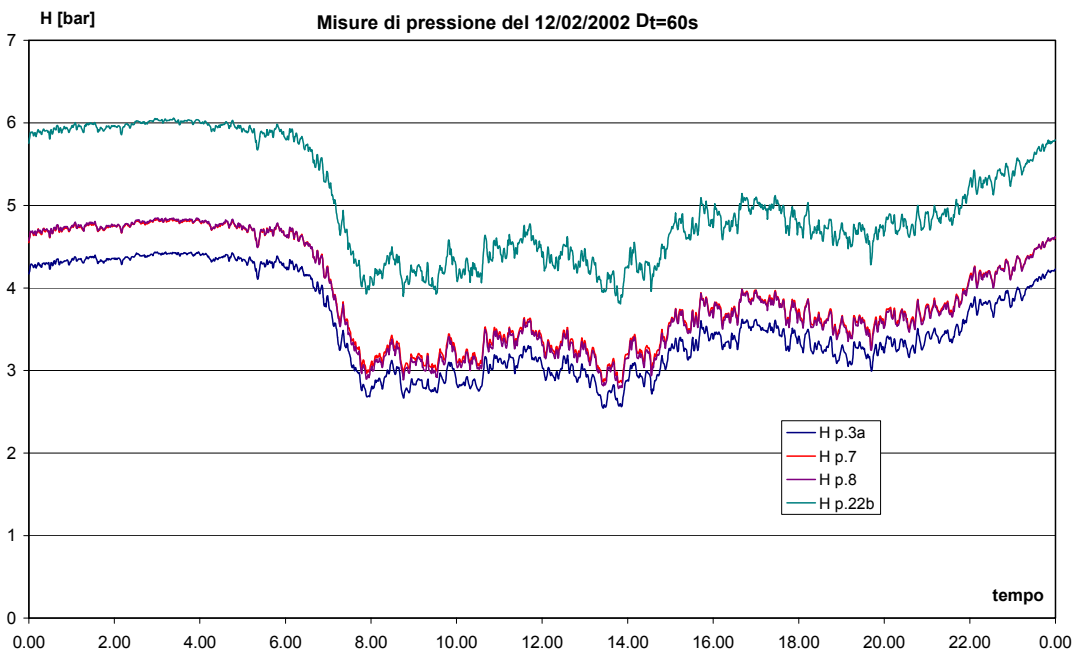


b)

Fig.6



a)



b)

Fig.7

ALLEGATO 1

Caratteristiche strutturali del sistema di distribuzione di Piedimonte San Germano

Condotta	Nodi di estremità		Materiale tubazione	DN	Lunghezza [m]	Pozzetti di allaccio utenza
<u>1</u>	SERB	1	GHISA	100	120	
<u>2</u>	1	2	GHISA	100	150	
<u>3</u>	2	3	GHISA	100	65	
<u>4</u>	3	4	GHISA	100	130	
<u>5</u>	4	5	PVC	110	502	8
<u>6</u>	3	6	GHISA	100	50	
<u>7</u>	6	7	GHISA	100	71	
<u>8</u>	7	8	GHISA	80	5	
<u>9</u>	8	9	GHISA	80	179	1
<u>10</u>	9	10C	PEAD-PN16	110	83	2
<u>11</u>	10	32	GHISA	60	64	
<u>12</u>	10	11	GHISA	80	98	
<u>13</u>	11	12	PEAD-PN16	63	294	1
<u>14</u>	11	13	GHISA	80	10	
<u>15</u>	13	14	GHISA	80	97	1
<u>16</u>	14	15	PEAD-PN16	63	224	3
<u>17</u>	15	16	PEAD-PN16	63	83	1
<u>18</u>	15	17	PEAD-PN16	63	257	2
<u>19</u>	15	18	PEAD-PN16	40	97	3
<u>20</u>	14	61	GHISA	60	194	6
<u>21</u>	14	19	GHISA	80	68	
<u>22</u>	19	20	GHISA	100	43	2
<u>23</u>	19	21	GHISA	80	52	
<u>24</u>	21	22	GHISA	80	97	
<u>25</u>	22	23	GHISA	80	46	
<u>26</u>	23	24	GHISA	80	66	
<u>27</u>	24	25	GHISA	80	152	1
<u>28</u>	23	42	GHISA	60	124	
<u>29</u>	22	39	GHISA	60	94	
<u>30</u>	21	38	GHISA	60	59	

Tabella 1/2

ALLEGATO 1

Caratteristiche strutturali del sistema di distribuzione di Piedimonte San Germano

Condotta	Nodi di estremità		Materiale tubazione	DN	Lunghezza [m]	Pozzetti di allaccio utenza
<u>31</u>	19	37	GHISA	100	65	
<u>32</u>	36	37	GHISA	100	27	
<u>33</u>	13	36	GHISA	60	64	
<u>34</u>	37	38	GHISA	60	51	
<u>35</u>	38	39	GHISA	60	60	
<u>36</u>	39	40	GHISA	60	28	
<u>37</u>	40	41	GHISA	60	94	
<u>38</u>	41	42	GHISA	60	3	
<u>39</u>	42	25	GHISA	60	63	
<u>40</u>	25	26	ACC.ZINC.	50	80	
<u>41</u>	35	36	GHISA	100	42	
<u>42</u>	31	35	GHISA	100	50	
<u>43</u>	35	45	GHISA	60	76	
<u>44</u>	30	45	GHISA	50	44	
<u>45</u>	30	31	GHISA	60	56	
<u>46</u>	31	32	GHISA	100	38	
<u>47</u>	29	30	GHISA	60	44	
<u>48</u>	28	29	GHISA	60	116	
<u>49</u>	44	29	GHISA	60	57	
<u>50</u>	40	44	GHISA	60	61	
<u>51</u>	41	43	GHISA	60	60	
<u>52</u>	25	27	GHISA	80	60	
<u>53</u>	27	28	GHISA	80	54	
<u>54</u>	43	27	GHISA	60	80	
<u>55</u>	44	43	GHISA	60	115	
<u>56</u>	32	33	GHISA	100	70	
<u>57</u>	33	34	GHISA	60	77	1
<u>58</u>	8	33	GHISA	100	52	
<u>59</u>	7	28	GHISA	80	232	
<u>60</u>	9	63	PEAD - PN 16	63	130	

Tabella 2/2

ALLEGATO 2

Scheda tipo per l'acquisizione dati



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CASSINO

Dipartimento di **MECCANICA, STRUTTURE, AMBIENTE e TERRITORIO**

via G. Di Biasio, 43 – 03043 CASSINO (FR) tel. 0776 299.646 - .651fax 0776 310812

Progetto di Ricerca PALMER

Dati Generali		
Numero contratto= _____	Nome intestatario= _____	Cod. Fiscale/Part.IVA= _____
Tipo di contratto=	singolo <input type="checkbox"/>	
1. Domestico	condominiale <input type="checkbox"/>	2. Commerciale/Industriale <input type="checkbox"/> 3. Ufficio Pubblico <input type="checkbox"/>
Tipo contatore (marca, modello e anno) _____		
1. Utenza Domestica		
Capo famiglia= _____	Professione C.f.= _____	Numero utenti= _____
Giorno della settimana con i maggiori consumi idrici= _____		
N. utenti fluttuanti= _____		estiva <input type="checkbox"/> n. utenti = _____
Tipo di fluttuazione: settimanale <input type="checkbox"/> n. utenti = _____	stagionale	invernale <input type="checkbox"/> n. utenti = _____
Tipologia residenza: appartamento condominiale <input type="checkbox"/>	Villetta <input type="checkbox"/>	casa rurale <input type="checkbox"/>
Innaffiamento giardino <input type="checkbox"/>	Superficie giardino = _____	
Numero vani= _____	Superficie abitazione= _____	Numero bagni= _____
Numero vasche= _____	Numero docce= _____	Numero lavabi= _____
Numero water= _____	Numero bidet= _____	Numero lavastoviglie= _____
Numero lavatrici= _____	Impianto acqua sanitaria: boiler <input type="checkbox"/>	caldaia a gas <input type="checkbox"/>
Note: _____		
2. Utenza Commerciale/Industriale		
Settore produttivo: _____	Orario lavorativo = _____	
n. impiegati = _____	n. impiegati residenti = _____	
Note: _____		
3. Ufficio Pubblico		
Servizio pubblico: _____	Orario lavorativo = _____	
n. impiegati = _____	n. impiegati residenti = _____	
Note: _____		