

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CASSINO E DEL LAZIO MERIDIONALE

**DIPARTIMENTO DI
INGEGNERIA CIVILE E MECCANICA**



LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA CIVILE

Tesi di Laurea

**Sperimentazione di un prototipo per la misura
del COD e dei solidi sospesi**

RELATORE

Prof. Ing. Angelo Leopardi

CORRELATORE

Ing. Marianna Panico

CANDIDATA

Antonella Marino

Matr. 0039958

ANNO ACCADEMICO 2013/2014

INDICE

Indice delle Figure	3
Indice delle Tabelle	5
Abstract	6
Introduzione	7
1. Disciplina degli scarichi in fognatura: criteri generali	9
2. Il progetto S.I.Mon.A	13
2.1 Generalità	13
2.2 Soggetti partecipanti	14
2.3 Obiettivi specifici	15
3. Il Dimostratore del Progetto	18
3.1 Caratteristiche del Dimostratore	19
3.2 Descrizione del Sito Pilota	21
3.3 La rete fognaria di Massa Lubrense	22
3.4 Il depuratore di Massa Centro	27
4. Il prototipo LOADMON	30
4.1 Principio di misura	30
4.2 Parametri di progettazione	32
4.3 Sicurezza e installazione	33
4.4 Il sistema di laboratorio	34
4.4.1 Descrizione tecnica	36
4.4.2 Software di sistema	39
4.4.3 Correlazione tra luce diffusa e COD/SS	40
4.5 Il sistema da installare in campo	43

4.5.1	Hardware e software del sistema	43
4.5.2	Downloading ed interpretazione dei dati	48
4.5.3	Interfaccia utente	51
4.5.4	Ciclo di funzionamento del Loadmon	53
4.5.5	Sviluppi Futuri	55
5.	La sperimentazione di laboratorio	66
5.1	Interfaccia Loadmon Reader	67
5.2	Avvio del Loadmon	68
5.3	Configurazione del Software	74
5.4	Test su soluzioni di Silice e Acido Umico	76
5.4.1	Materiali e metodi utilizzati	76
5.4.2	Avvio dei Test Preliminari	80
5.4.3	Osservazioni	83
5.4.4	Test per la raccolta dati	86
5.5	Discussione ed elaborazione dei risultati	93
5.6	Azioni future	103
	Appendice A	107
	Appendice B	122
	Documenti di riferimento	124

Indice delle Figure

Figura 1 - Comune di Massa Lubrense.	23
Figura 2 - Dettaglio dell'ingresso al depuratore di Massa Centro.	24
Figura 3 - Schema dei distretti e sottodistretti del bacino afferente al depuratore di Massa Centro.	26
Figura 4 - Diagramma di flusso dei pretrattamenti, della linea liquami e della linea fanghi.	28
Figura 5 - principio di funzionamento del Loadmon.	31
Figura 6 - Il sistema di laboratorio in WRC.	34
Figura 7 - Il sistema di laboratorio completo.	35
Figura 8 - Il sistema di laboratorio installato temporaneamente su un impianto di depurazione nel Regno Unito.	35
Figura 9 - Schema del sistema ottico di laboratorio.	36
Figura 10 - Elettronica analogica del sistema di laboratorio.	37
Figura 11 - Interfaccia grafica utente di MATLAB.	38
Figura 12 - Spettro di assorbimento dei campioni di acque reflue.	40
Figura 13 - Risposta del Loadmon per campioni con silice e acido umico.	41
Figura 14 - Modellazione dei risultati sperimentali.	42
Figura 15 - Maggiore risoluzione della mappatura tra luce diffusa e silice/acido umico.	42
Figura 16 - Layout complessivo del sistema Loadmon di campo.	43
Figura 17 - Specchi motorizzati collegati alla guida mobile.	44
Figura 18 - Uso dello specchio per allineare il fascio luminoso in base al livello del refluo.	45
Figura 19 - Posizione dello specchio nella misura di riferimento.	46
Figura 20 - a) assemblaggio della parte elettronica; b) involucro di plastica; c) emettitori luminosi e sensori ottici.	47
Figura 21 - Panoramica del sistema di campo.	48
Figura 22 - Estratto del file di log (Log.txt) contenente i dati elaborati durante una misurazione.	49
Figura 23 - Esempio di file in formato csv (xxx.csv).	50
Figura 24 - Equazioni matematiche che restituiscono i valori di SS e COD inserendo valori IR e UV normalizzati.	50
Figura 25 - Interfaccia utente del Loadmon.	53
Figura 26 - Possibile geometria più compatta.	57
Figura 27 - Emittitore e sensore hanno lo stesso asse.	58
Figura 28 - Beamsplitter che consente al sensore e all'emittitore di condividere l'asse.	59
Figura 29 - Disposizione dell'emittitore senza l'uso dello specchio.	59
Figura 30 - Possibile sistemazione utilizzando un fascio piegato e uno specchio.	61
Figura 31 - Spettro di emissione di una commerciale lampada allo xeno.	61
Figura 32 - Risultati del test di stabilità su 13 ore di funzionamento.	64
Figura 33 - Foglio "Loadmon data" del Loadmon Reader.	67

Figura 34 - Foglio "Loadmon Chart" del Loadmon Reader.....	67
Figura 35 - Foglio "Reader Setup" del Loadmon Reader.....	68
Figura 36 - Loadmon installato in officina T.E.A. Tek.....	69
Figura 37 – Grafici ottenuti prima (foto a sx) e dopo (foto a dx) la modifica delle impostazioni.	70
Figura 38 – Output riferiti ad una superficie bianca.....	72
Figura 39 - Relazione tra COD ottenuto in laboratorio e letture UV dello strumento, su campioni di latte testati al decrescere della torbidità.....	73
Figura 40 - Andamento delle letture UV e IR del Loadmon al decrescere della torbidità dei campioni di latte.....	73
Figura 41 - Impostazione di ora e data di sistema.....	76
Figura 42 - Materiali usati per le soluzioni di prova.	77
Figura 43 - Vasca usata nei test.....	78
Figura 44 - Modello pompa.	78
Figura 45 - Pompa con regolatore di velocità.....	79
Figura 46 - Curva di Prestazione.....	79
Figura 47 - Grafici delle letture preliminari.	83
Figura 48 - Sovrapposizione dei grafici di Temperatura e di Riferimento UV.	84
Figura 49 - Sovrapposizione dei grafici di Temperatura e di Riferimento UV invertito.....	84
Figura 50 - Sovrapposizione dei grafici di Temperatura e di Riferimento IR invertito.	84
Figura 51 - Superficie del campione quando la pompa è impostata alla massima velocità.	85
Figura 52 - Grafico di una lettura effettuata su superficie irregolare.....	85
Figura 53 - Grafico relativo alle misure di distanza dal campione.	86
Figura 54 - Lettura sul campione con concentrazione di silice pari a 100 mg/L.	90
Figura 55 - Grafico delle letture ottenute dalle prove sulle 48 concentrazioni.....	90
Figura 56 - Grafici di tutte le letture relative alle misure sulle 48 concentrazioni.....	91
Figura 57 - Risposta del Loadmon per campioni con diverse concentrazioni di silice e acido umico.....	95
Figura 58 - Correlazione tra letture IR e SST al variare delle concentrazioni di Silice e Acido Umico.	96
Figura 59 – Correlazione tra letture IR e SST al variare delle concentrazioni di Silice e Acido Umico.....	97
Figura 60 - Valori di SST, IR e UV per ogni concentrazione del campionamento.....	98

Indice delle Tabelle

Tabella A - Attività i cui scarichi sono assimilabili a scarichi domestici.....	10
Tabella B - Attività i cui scarichi sono classificabili come scarichi domestici qualora rispettino i valori soglia dei parametri riportati in Tabella B.1.....	11
Tabella B.1 - Caratteristiche del refluo prodotto dalle attività della Tabella B prima di ogni trattamento depurativo ai fini dell'assimilabilità alle acque reflue domestiche.....	12
Tabella 1 - Elenco delle imprese partecipanti al progetto S.I.Mon.A.	14
Tabella 2 - Elenco degli organismi di ricerca partecipanti.....	15
Tabella 3 - Elenco degli organismi di ricerca con rapporti di partnership effettiva.	15
Tabella 4 - Punti di monitoraggio, relativi sistemi di acquisizione e variabili da monitorare.....	20
Tabella 5 - Tipologia e consistenza della rete fognaria gestita da GORI SpA.	22
Tabella 6 - Dettagli sulla sicurezza.....	33
Tabella 7 - Componenti ottiche del sistema di laboratorio.....	37
Tabella 8- Valori numerici dei parametri a,b,d,e in corrispondenza delle varie altezze idriche..	51
Tabella 9 - Valori numerici di impostazione.	52
Tabella 10 - Tempo impiegato in una misura da ogni singola operazione.....	63
Tabella 11 - Confronto risultati ottenuti dal Loadmon e risultati di laboratorio, su campioni contenenti latte con diversa torbidità.	72
Tabella 12 - Parametri di impostazione	75
Tabella 13 - Informazioni sui materiali e le procedure usate per le soluzioni.....	77
Tabella 14 - Concentrazioni utilizzate nei test.	80
Tabella 15 - Variazione di acido umico a concentrazione costante di silice.....	80
Tabella 16 - Concentrazioni usate nei test preliminari e riferimenti alle letture.....	81
Tabella 17 – Attività riferite alle letture Preliminari.....	82
Tabella 18 – Letture riferite alle singole concentrazioni.....	87
Tabella 19 - Attività riferite ad ogni singola lettura.....	89
Tabella 20 - lettura relative ai test ripetuti sul campione con silice pari a 100 mg/L	91
Tabella 21 - Concentrazioni caratterizzanti i campioni analizzati in laboratorio.....	92
Tabella 22- Risultati delle analisi di laboratorio dei 18 campioni prelevati.	92
Tabella 23 - Valori IR e UV normalizzati per ogni concentrazione di prova.	94
Tabella 24 - Valori di SST e letture IR per ogni punto del campionamento.	96
Tabella 25 - Caratteristiche della regressione lineare SST – IR.....	97
Tabella 26 - Parametri della relazione lineare che lega SST alla luce diffusa IR e UV.	101
Tabella 27 - SST da ipotetica relazione lineare con IR e UV.	102
Tabella 28 - Confronto tra risultati del laboratorio e quelli ottenuti dalla funzione lineare ipotizzata.	103

Abstract

Il presente studio di Tesi ha come oggetto la sperimentazione del Loadmon, prototipo sviluppato da Water Research Centre (WRC) per la misura di parametri rappresentativi delle sostanze disciolte e sospese nell'acqua (COD e SS).

La licenza d'uso di tale sensore è nella disponibilità del Gruppo di Ricerca S.I.Mon.A (Sistema Integrato di competenze per il MONitoraggio, la protezione ed il controllo delle infrastrutture idriche, fognarie ed Ambientali), al fine di sperimentarlo e migliorarlo in vista di una sua vasta applicazione su campo.

Loadmon sfrutta un approccio innovativo per rilevare e misurare i carichi inquinanti nelle acque reflue e nei corpi idrici superficiali, in particolare viene sfruttata una tecnica "ottica" che rende misurabili in un canale aperto i solidi sospesi e il carico organico presenti nell'acqua reflua, per esempio, nell'effluente di un impianto o nell'acqua superficiale. Questo sistema impiega 2 diodi laser che lavorano a differenti lunghezze d'onda. Ha inoltre uno specchio rotante che, grazie al controllo computerizzato, permette alla luce di scansare la superficie dell'acqua in modo che la sua dispersione (scattering) possa essere captata dal sensore.

Loadmon offre particolari vantaggi nell'ottica di monitorare le reti; può essere lasciato in situ per lunghi periodi, non richiede operazioni di manutenzione ed ha presentato una buona affidabilità nella misura dei parametri richiesti.

Introduzione

Il presente studio di Tesi trova le sue motivazioni nella necessità sempre più impellente, nel settore della depurazione delle acque reflue urbane, di misurare in continuo e direttamente in sito, il carico organico del liquame grezzo, al fine di poter ottenere dati analitici in tempo reale, acquisirli continuamente e poter, di conseguenza, effettuare immediatamente eventuali interventi correttivi o protettivi.

Tenuto conto che il monitoraggio di parametri quantitativi e qualitativi nei sistemi fognari è usualmente realizzato dai Gestori del Servizio solo per i tronchi terminali dello stesso, cioè in prossimità degli impianti di depurazione, allo stato attuale, tali obiettivi non risultano perseguibili.

Controllare in continuo che lo stato qualitativo delle acque sia conforme alla norma e rilevare tempestivamente l'eventuale presenza di inquinanti permette di procedere con immediatezza alle opportune operazioni di tutela e ripristino delle condizioni di sicurezza, in tempi, quelli odierni, di maggiore consapevolezza ambientale e attenzione per la salute dell'uomo. Gli scarichi non autorizzati e/o non conformi ai limiti di legge in fognatura, infatti, costituiscono un serio problema per i Gestori del Servizio Idrico Integrato, ad esempio scarichi di sostanze tossiche che raggiungano gli impianti di trattamento delle acque di rifiuto, usualmente a ciclo biologico, possono incidere negativamente sugli impianti stessi, provocando pertanto il rilascio in ambiente di concentrazioni non tollerabili di inquinanti.

Poiché i possibili punti di immissione sono in quantità estremamente elevata e non facilmente sorvegliabili, la prevenzione di atti di immissione volontaria di sostanze nocive in una rete di drenaggio urbana è sostanzialmente impossibile.

In tali situazioni occorre pertanto poter individuare rapidamente la presenza di una sostanza con concentrazioni non ammissibili, in maniera tale da poter intervenire tempestivamente, minimizzando il danno ambientale e poter risalire all'individuazione della sorgente dello scarico, quindi all'individuazione del soggetto responsabile dello stesso. Tale accertamento di responsabilità può permettere al Gestore di evitare danni economici e citazioni in sede penale. Inoltre, se fosse possibile risalire

all'individuazione del responsabile dello scarico, ciò costituirebbe un serio deterrente a tali comportamenti illeciti, riducendoli e migliorando così la qualità ambientale.

Questo lavoro si inquadra nell'ambito del Progetto SIMONA (Sistema Integrato di competenze per il MONitoraggio, la protezione ed il controllo delle infrastrutture idriche, fognarie ed Ambientali) che raggruppa sette imprese, le quali mettono insieme competenze scientifiche ed applicative, su un settore, quello della gestione delle infrastrutture idriche e fognarie, allo stato tecnologicamente poco sviluppato, per realizzare l'obiettivo del monitoraggio degli scarichi fognari e delle perdite di liquami dalle infrastrutture all'ambiente.

Al fine di ottenere una rapida rilevazione di una contaminazione è necessario utilizzare sensori con tempi di risposta estremamente rapidi. Tale necessità collide con il fatto che l'analisi chimica dei liquami necessita di tempi che variano dalle ore ai giorni; pertanto devono utilizzarsi metodi speditivi o la misura di parametri indicatori che possono essere rappresentativi della presenza e/o dell'eccessiva concentrazione di una sostanza. Per tali motivi, il raggruppamento di S.I.Mon.A., ricercando strumentazioni innovative e al tempo stesso affidabili, ha investito su un prototipo di laboratorio, il LOADMON, utile alla misurazione di inquinanti nelle acque reflue, attraverso una tecnica ottica che permette di misurare i solidi sospesi e carico organico di un refluo grezzo in un canale aperto. Il prototipo è stato brevettato e fornito dall'ente di ricerca nel settore Ambiente e Gestione delle acque, la WRc Plc, della cui collaborazione scientifica si avvale il gruppo del progetto. Occorre, però, non solo avere il "sensore" o la strumentazione idonea, ma inserirla in un "Sistema Integrato di Monitoraggio", che si propone di risalire all'individuazione della sorgente dello scarico, e pertanto, all'individuazione del soggetto responsabile e quindi civilmente e penalmente perseguibile secondo le attuali disposizioni normative nazionali ed europee. Il sito Pilota individuato dal progetto, che accoglierà il sistema, è il comune di Massa Lubrense, nella provincia di Napoli, in cui sono stati selezionati punti sensibili della rete fognaria su cui sarà effettuato il monitoraggio in continuo di parametri quantitativi e qualitativi del liquame.

Prima di installare il prototipo sulla rete fognaria scelta per il monitoraggio, è stato necessario accertarne l'affidabilità attraverso prove eseguite presso la T.E.A. Tek s.r.l., una delle sedi operative del progetto.

1. Disciplina degli scarichi in fognatura: criteri generali

Il D.Lgs. n.152/06 costituisce la base normativa più recente per la disciplina dei caratteri delle acque reflue. In particolare, all'art.101, comma 7, lettera e), si stabilisce che:

a) Sono considerate con caratteristiche qualitative equivalenti, e quindi assimilate alle acque reflue domestiche, le acque reflue scaricate dalle attività di cui all'elenco della Tabella A. Se è presente la coesistenza di due o più attività tra quelle riportate in elenco della Tabella A, ciò non modifica la classificazione di “scarichi domestici” assegnata ai rispettivi scarichi e pertanto alla loro unione.

Ai sensi dell'articolo 124, comma 4, del D. Lgs. n. 152/06, per queste attività in caso di scarico in fognatura non è prevista autorizzazione.

b) Sono da considerarsi assimilate alle acque reflue domestiche le acque reflue scaricate da attività ricomprese tra quelle elencate nella Tabella B che presentano le caratteristiche qualitative di cui alla Tabella B.1 del presente regolamento e che sono convogliate ad un impianto finale di trattamento in grado di rispettare i valori limite di emissione previsti dalla normativa vigente per lo scarico finale. In caso contrario resta l'obbligo di rispettare i valori limite di emissione previsti dalle Tabelle 3 e 4 dell'Allegato 5 alla parte terza del D.lgs 152/06. Per i restanti parametri o sostanze non ricompresi nella Tabella B.1, valgono i valori limite previsti dalla Tabella 3 dell'Allegato 5 alla parte terza del D.lgs 152/06 per le emissioni in acque superficiali e in fognatura. Per queste attività non è richiesta l'autorizzazione, ma è fatto l'obbligo di consentire i controlli così come previsto ex D. Lgs. n.152/06 e di inviare una richiesta di assimilazione attraverso una “Dichiarazione Inizio Attività” all'Autorità Competente. Tale richiesta contiene la documentazione necessaria alla completa definizione dell'attività produttiva, delle modalità di scarico, e comprovante la quantità e qualità del reflu scaricato come previsto nella Tabella B.1. L' Autorità Competente verifica, previa istruttoria, la richiesta di assimilazione e notifica al richiedente l'esito (accoglimento o rigetto) dell'istanza;

c) Sono da considerarsi non assimilabili a domestiche le acque reflue scaricate da attività che non rientrano tra quelle indicate alla lettera a) e alla lettera b). Per queste tipologie di scarico, il Titolare dell'attività o Legale Rappresentante, richiede l'autorizzazione allo scarico conforme al regolamento dell'Autorità Competente, ai sensi dell'articolo 124, D. Lgs. n.152/06;

ATTIVITA'	NOTE
Rifugi montani, bed and breakfast, agriturismi, campeggi	
Ristoranti, trattorie, rosticcerie, friggitorie, pizzerie, osterie e birrerie con cucine	Posti a sedere ≤ 100
Bar, caffè, gelaterie (anche con intrattenimento e spettacolo), cioccolateria, sale da the, enoteche-bottiglierie con somministrazione Mense	Pasti ≤ 500
Asili nido, istruzione primaria e secondaria di primo grado Istruzione secondaria di secondo grado e universitaria	
Discoteche, sale da ballo, night pubs, sale giochi e biliardi e simili	
Laboratori artigianali di sartoria e abbigliamento senza attività di lavaggi, tintoria e finissaggio	
Stabilimenti balneari (marittimi, lacuali e fluviali)	
Ottici	
Esercizi commerciali di oreficeria, argenteria, orologeria, corallo e pietre preziose	
Studio audio e video registrazioni	
Agenzie di viaggio	
Attività Informatica	
Vendita al minuto di generi di cura per la persona	
Palestre	
Call center	
Attività di servizi di natura esclusivamente "immateriale" ed "intellettuale": ad es. uffici pubblici e privati, servizi di intermediazione monetaria, assicurativa, finanziaria e immobiliare, banche, sportelli postali, studi di avvocati, di ingegneria, studi medici e odontoiatrici pubblici e privati in assenza di laboratori di analisi e di diagnostica (con esclusione dei centri di dialisi e dei laboratori odontotecnici)	
Attività di vendita al dettaglio di prodotti non alimentari : ad es. cartolerie, edicole, tabaccherie, esposizione e vendita di mobili senza produzione o laboratorio di falegnameria, librerie, articoli per la casa e detersivi, profumerie, parafarmacie, erboristerie, farmacie, oggettistica, ferramenti, (con esclusione dei centri commerciali);	

Tabella A - Attività i cui scarichi sono assimilabili a scarichi domestici.

ATTIVITA'	NOTE
Ristoranti, trattorie, rosticcerie, friggitorie, pizzerie, osterie e birrerie con cucine	Posti a sedere>100
Mense	Pasti>500
Laboratori artigianali e piccole e medie imprese, dedite alla produzione di altri prodotti alimentari: cioccolato, caramelle, confetterie, lavorazione dolciaria della frutta, aceti, prodotti a base di frutta a guscio, estratti per liquori, tè e caffè	
Laboratori artigianali e piccole e medie imprese dedite alla produzione produzioni e/o imbottigliamento di vino da uve e di altre bevande fermentate e non distillate	
Ipermercati – Supermercati – Centro Commerciale	
Servizi dei centri e stabilimenti per il benessere fisico	
Piscine-Stabilimenti idropinici ed idrotermali	
Macellerie sprovviste del reparto macellazione	
Riparazione di beni di consumo	
Liuteria	
Servizi dei saloni di parrucchiere ed istituti di bellezza	
Laboratori odontotecnici	
Laboratori artigianali e piccole e medie imprese, dedite alla lavorazione e conservazione di carni e/o vegetali e di prodotti a base di carni e/o vegetali (carne essiccata, salata o affumicata, insaccati, sughi, piatti di carne preparati, confetture, conserve).	
Laboratori artigianali e piccole e medie imprese, dedite alla produzione dei derivati del latte: burro, formaggi, yogurt, latticini.	
Laboratori artigianali e piccole e medie imprese, dedite alla produzione di panetteria, di paste alimentari, cuscus, biscotti, prodotti farinacei simili pasticceria conservata e pasticceria fresca.	

Tabella B - Attività i cui scarichi sono classificabili come scarichi domestici qualora rispettino i valori soglia dei parametri riportati in Tabella B.1.

N.	PARAMETRI	UNITA' DI MISURA	VALORI LIMITE DI EMISSIONE
1	Portata	mc/giorno	≤ 15
2	PH		5,5-9,5
3	Temperatura	C°	$\leq 30^\circ$
4	Colore		Non percettibile con diluizione 1:40
5	Materiali grossolani		Assenti
6	Solidi Sospesi Totali	mg/l	≤ 700
7	BOD ₅	mg/l	≤ 300
8	COD	mg/l	≤ 700
9	Rapporto COD/BOD ₅	mg/l	$\leq 2,2$
10	Forforo Totale	mg/l	≤ 30
11	Azoto Ammoniacale	mg/l	≤ 50
12	Azoto Nitroso	mg/l	$\leq 0,6$
13	Azoto Nitrico	mg/l	≤ 30
14	Grassi e olii animali/vegetali	mg/l	≤ 40
15	Tensioattivi	mg/l	≤ 20

Tabella B.1 - Caratteristiche del refluo prodotto dalle attività della Tabella B prima di ogni trattamento depurativo ai fini dell'assimilabilità alle acque reflue domestiche.

2. Il progetto S.I.Mon.A

S.I.Mon.A. è un “Sistema integrato di competenze per il monitoraggio, la protezione ed il controllo delle infrastrutture idriche, fognarie ed Ambientali”. Il progetto punta al raggiungimento degli obiettivi di qualità ambientale, allo sviluppo economico ed occupazionale e all’avanzamento della ricerca scientifica nell’ICT e nelle tematiche ambientali ed idrauliche. Le attività messe in atto per il raggiungimento dei predetti obiettivi sono finanziate dalla Regione Campania.

2.1 Generalità

Il progetto S.I.Mon.A raccoglie contributi multidisciplinari, quali quelli che possono provenire dagli studiosi di ingegneria idraulica, di sensoristica e di sistemi di trasmissione dei dati, nonché della necessaria esperienza “sul campo” di soggetti che gestiscono il Servizio Idrico Integrato. Il progetto si presenta pertanto con caratteristiche di intersectorialità, operando prevalentemente nell’ambito “ICT”, di “Sicurezza e Ambiente”.

La sede operativa principale è individuata nei locali dell’ENEA, Agenzia Nazionale per le nuove tecnologie, l’Energia e lo Sviluppo economico sostenibile ubicata presso il Comune di Portici (Na) e sono considerate altresì sedi operative del progetto le sedi operative di tutti i partner, presso cui si svolgeranno le attività del progetto.

Il progetto S.I.Mon.A. è finalizzato a:

- 1) Individuare rapidamente la presenza di una sostanza con concentrazioni non ammissibili, in maniera tale da poter intervenire tempestivamente, minimizzando il danno ambientale;
- 2) Risalire all’individuazione della sorgente dello scarico (e pertanto all’individuazione del soggetto responsabile dello stesso), in quanto tale accertamento di responsabilità può permettere al Gestore di evitare danni economici e citazioni in sede penale. Inoltre, se fosse possibile risalire all’individuazione del responsabile dello scarico, ciò costituirebbe un serio

deterrente a tali comportamenti illeciti, riducendoli e migliorando così la qualità ambientale.

Al fine di perseguire i predetti obiettivi è stata prevista la realizzazione di una rete di sensori estremamente diffusa sul sistema fognario oggetto di studio, che permetterà di risalire all'individuazione della sorgente dello scarico, e pertanto, all'individuazione del soggetto responsabile e quindi civilmente e penalmente perseguibile secondo le attuali disposizioni normative nazionali ed europee.

2.2 Soggetti partecipanti

I soggetti partecipanti sono costituiti dal raggruppamento di 7 imprese specificate nella seguente Tabella 1. In particolare, esso è costituito da 2 grandi imprese e da 1 media impresa e da 4 piccole imprese, tutte con sedi operative ubicate in Campania. La caratteristica del raggruppamento è di aver messo insieme competenze intersettoriali ICT-Ambiente, su un settore, quello della gestione delle infrastrutture idriche e fognarie, allo stato tecnologicamente poco sviluppato, per realizzare l'obiettivo del monitoraggio degli scarichi fognari e delle perdite di liquami dalle infrastrutture all'ambiente, in particolare nei corpi idrici ricettori.

N.	IMPRESA	FORMA GIURIDICA
1	AceaGori Servizi S.c.a.r.l.	società consortile a responsabilità limitata
2	GORI SpA	Società di capitali
3	Microlab Engineerin s.r.l.	Società a responsabilità limitata
4	R.D.R. s.r.l.	Società a responsabilità limitata
5	T.E.A. Tek s.r.l.	Società a responsabilità limitata
6	New Electra s.r.l.	Società a responsabilità limitata
7	Faber s.r.l.	Società a responsabilità limitata

Tabella 1 - Elenco delle imprese partecipanti al progetto S.I.Mon.A.

Il raggruppamento di S.I.Mon.A., altresì si avvale della collaborazione scientifica di due enti di ricerca elencati in Tabella 2, nonché di tutte le collaborazioni necessarie a garantire il raggiungimento degli obiettivi perseguiti.

N.	Denominazione	Descrizione	Tipologia Ente
1	CRIAI Scarl	Consorzio Campano di Ricerca per l'Informatica e l'Automazione Industriale	Privato
2	ENEA	Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente - Centro Ricerche Portici	Pubblico

Tabella 2 - Elenco degli organismi di ricerca partecipanti.

Il CRIAI Scarl, al fine di integrare le proprie competenze in materia ambientale e per garantire la massima qualità ai risultati della ricerca, si avvale della collaborazione di due enti di ricerca specialisti nel settore Ambiente e Gestione delle acque, riportati di seguito.

N.	Denominazione	Descrizione	Tipologia Ente
1	Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale	Università degli Studi	Pubblico
2	WRc	Water Research Centre (UK).	Privato

Tabella 3 - Elenco degli organismi di ricerca con rapporti di partnership effettiva.

2.3 Obiettivi specifici

Il progetto S.I.Mon.A. è finalizzato all'individuazione rapida di sostanze nocive e/o in concentrazioni non ammissibili, immesse nella rete di drenaggio urbana e/o in corpi idrici, nonché l'individuazione di perdite di liquami fognari dalla rete, a causa della fatiscenza della stessa o di rotture puntuali e improvvise, con l'obiettivo finale di minimizzare i danni alla gestione delle infrastrutture e i danni ambientali legati al settore dei servizi idrici. Ottenere i predetti obiettivi non è banale, poiché gli scarichi non autorizzati e/o non conformi hanno, di norma, carattere temporaneo, pertanto occorre disporre di una rete di sensori estremamente diffusa sul sistema fognario, in maniera tale da minimizzare il tempo necessario ad individuare una contaminazione.

Ciò consente, inoltre, di acquisire una mole di dati tale da consentire una simulazione “all’indietro” del processo di trasporto dell’inquinante. Infatti per realizzare tale individuazione (source location) occorre disporre di un set di misure di qualità sul sistema fognario oggetto di studio, nonché di una conoscenza approfondita del funzionamento idraulico dello stesso. Con tali dati, almeno in via concettuale, è possibile simulare “all’indietro nel tempo” il trasporto e la diffusione del contaminante, risalendo alla sua fonte.

Poiché, allo stato attuale, il monitoraggio di parametri quantitativi e qualitativi nei sistemi fognari è usualmente realizzato dai Gestori del Servizio solo per i tronchi terminali dello stesso, cioè in prossimità degli impianti di depurazione, tali obiettivi non risultano perseguibili.

Un analogo problema si riscontra per gli scarichi non autorizzati e/o non conformi nei corpi idrici superficiali (fiumi, laghi, mare) allorquando questi assumano carattere temporaneo. Anche in tali situazioni l’individuazione del punto e del tempo nel quale è avvenuto lo scarico potrebbero aiutare le Autorità preposte nella ricerca dei responsabili. Allo stesso modo, le perdite che si determinano in maniera “silente” in pressoché quasi tutti i sistemi di drenaggio urbani possono dare luogo a significativi problemi di natura ambientale (inquinamento delle falde), di rischio antropico per la liquefazione degli strati fondali dei fabbricati nonché di corretta individuazione dei volumi soggetti a smaltimento e/o trattamento.

Premesso ciò, il progetto S.I.Mon.A. punterà ad attuare un Sistema per l’Individuazione di Scarichi Non Autorizzati e/o Non Conformi che porterà benefiche conseguenze sia per l’Ambiente (costituendo un elemento di monitoraggio di eventuali liquami rilasciati in modo incontrollato sia di dissuasione per i soggetti potenzialmente interessati a scaricare sostanze nocive al di fuori della legalità) sia di carattere economico (per i Gestori del Servizio, per le ricadute sulle attività turistiche, per la riduzione dei comportamenti illeciti che costituiscono concorrenza sleale rispetto ad imprese rispettose della legge, etc.). L’individuazione del soggetto responsabile dello scarico anomalo e/o non autorizzato, oltre a costituire un serio deterrente ai comportamenti illeciti, è di vitale importanza per i gestori del servizio idrico integrato, che in tal modo, evita danni economici e citazioni in sede penale.

Tale sistema sarà costituito in primo luogo da una rete di sensori distribuita sul sistema da monitorare in punti ritenuti strategici, che consenta il monitoraggio in continuo di parametri quantitativi e qualitativi. La rete di sensori sarà connessa ad un sistema di gestione ed elaborazione dei dati mediante una rete di comunicazione.

Una seconda rete di sensori, non connessi in continuo, provvederà a raccogliere e memorizzare in locale i dati quantitativi e qualitativi rilevati sulle sottoreti individuate da ciascuno dei sensori del primo tipo. Questi dati potranno essere disponibili “on demand” mediante campagne di acquisizione. Il progetto S.I.Mon.A. realizzerà quindi un sistema che permetterà di risalire all’individuazione della sorgente dello scarico, e pertanto, all’individuazione del soggetto responsabile e quindi civilmente e penalmente perseguibile secondo le attuali disposizioni normative nazionali ed europee.

3. Il Dimostratore del Progetto

Allo scopo di testare le funzionalità del sistema di monitoraggio, come previsto tra gli obiettivi del progetto S.I.Mon.A., sarà realizzato un dimostratore da installare su un tratto di rete fognaria gestita da GORI S.p.A., che è partner del progetto.

Per un sistema di monitoraggio di un'infrastruttura fognaria, le funzionalità che risultano indispensabili per rispondere alle esigenze di controllo del Gestore del SII sono le seguenti:

- sistema in grado di fornire indicazioni sulla presenza/assenza di reflui o della variazione del loro stato “normale” rilevandolo anche attraverso anomalie delle esalazioni;
- sistema in grado di fornire dati sulle “quantità” quali le portate, volumi, livelli, nonché sulle concentrazioni di sostanze caratteristiche della qualità del refluo;
- i componenti di campo del sistema non dovranno soddisfare singolarmente le diverse funzionalità ma potranno avere, ovviamente, funzionalità multiple a vantaggio della gestione e dell'installazione.

I dati indispensabili ad un sistema di monitoraggio fognario/ambientale sono

- parametri fisici (Presenza/assenza di reflui, cambiamento di stato, portata, volume, livello, rilevazione evento di pioggia)
- parametri chimici (pH, temperatura, ammoniaca, COD, SST, conducibilità, potenziale REDOX)

Al fine di poter determinare i punti di monitoraggio di un sistema integrato ambientale quale SIMONA, sono stati individuati dei criteri principali per investigare l'idoneità dei punti sensibili della rete fognaria:

- 1) Agevole accessibilità dell'infrastruttura: l'infrastruttura sia essa depuratore, impianto, pozzetto o scaricatore deve essere accessibile in qualunque momento della giornata e senza particolari difficoltà e/o rischi per l'incolumità delle persone;

- 2) Caratteristiche idonee alla installazione di sensori e apparecchiature: le caratteristiche geometriche dei pozzetti o altri manufatti devono essere tali da consentire la installazione dei sensori e delle apparecchiature necessarie ad un loro monitoraggio ove questa non possa essere installata in punti diversi;
- 3) Garantire la sicurezza e la protezione delle apparecchiature di rilevazione più costose: l'accesso deve essere protetto da sistemi di controllo adeguati che ne documentano gli accessi e proteggano le apparecchiature da danni, manomissione e furti;
- 4) Presenza di energia elettrica;
- 5) Presenza rete di trasmissione GPRS;
- 6) Sensibilità/Posizione strategica in relazione alla specificità del funzionamento: I punti sensibili prescelti dovranno essere dei punti nevralgici di controllo e andranno individuati in relazione alla specificità del funzionamento.

3.1 Caratteristiche del Dimostratore

Il sistema che si vuole realizzare nell'ambito del progetto S.I.MON.A. mette in sinergia produttiva enti e società, pubblico e privato, operanti in ambiti differenti, che nella coniugazione delle tematiche ICT ed ambientali trovano la giusta integrazione, apportando innovazione al settore del servizio idrico integrato, del monitoraggio della risorsa idrica e della gestione e governo delle acque quale supporto agli strumenti di pianificazione e programmazione territoriale, allo stato attuale a basso contenuto tecnologico e poco evoluti.

Il Dimostratore (il sistema di monitoraggio S.I.Mon.A.) sarà costituito da:

- Sistema di monitoraggio della qualità e della quantità costituito da sensori diffusi sul tratto di rete fognaria prescelto;
- Sistema di trasmissione dei dati dai sensori al Centro di Elaborazione dei Dati.
- Centro di Elaborazione dei Dati, nel quale confluiranno le misure dei sensori e che sarà attrezzato mediante hardware e software per la modellazione del sistema fognario e la soluzione del problema inverso volto alla localizzazione.

Il dimostratore, inoltre, anche in riferimento ai requisiti di sistema definiti in precedenza, dovrà effettuare l'attività di controllo su punti sensibili della rete quali :

- Pozzetti di ispezione “utenza critica” (dove si immettono reflui provenienti delle attività produttive potenzialmente inquinanti)
- Scaricatori di piena con recapito in ambiente (indicati come “Sfioratori acque miste” in Tabella 4)
- Scaricatori di piena con recapito in condotta (indicati come “Pozzetti Derivatori” in Tabella 4)
- Nodi di rete (posizionato su collettori principale su cui confluiscono tratti di rete elementari/secondari) individuati sulla base di una “distrettualizzazione” che ne parzializzi in bacini di funzionamento
- Ingresso al depuratore
- Uscita dal depuratore (Scarico in ambiente di tipo continuo)

Punti di Monitoraggio	Strumento di acquisizione	Variabili da monitorare
Pozzetto ispezione Utenza Critica	Sensore	Portata
	Sensore	Volume
	Sensore, eventuale Autocampionatore	Parametri di qualità del refluo
Sfioratore acque miste	Sensore	Presenza di refluo/funzionamento
Pozzetto Derivatore	Sensore	Portata/Volume/presenza di refluo/funzionamento
	Sensore	Parametri di qualità del refluo
Nodo di rete	Sensore	Portata
	Sensore	Volume
	Sensore	Parametri di qualità del refluo
Ingresso al Depuratore	Sensore	Portata
	Sensore	Volume
	Sensore	Parametri di qualità del refluo
Uscita dal Depuratore	Sensore	Portata
	Sensore	Volume
	Sensore, Autocampionatore	Parametri di qualità del refluo

Tabella 4 - Punti di monitoraggio, relativi sistemi di acquisizione e variabili da monitorare.

Va evidenziato che in questa fase i nodi sensibili sono stati individuati esclusivamente su valutazioni di carattere funzionale che non hanno tenuto conto delle informazioni, quali ad esempio la velocità di scorrimento dei reflui, tipiche della modellazione della rete fognaria che potrebbero determinare scelte diverse finalizzate a garantire una maggiore efficienza ed efficacia del sistema da implementare.

3.2 Descrizione del Sito Pilota

Il sito su cui installare il Dimostratore deve essere individuato tenendo conto di alcune condizioni peculiari, in particolare:

- alto valore ambientale e paesaggistico;
- garantire la protezione del sistema da installare in modo da assicurare il corretto svolgimento delle attività di sperimentazione ed evitare il danneggiamento dello stesso;
- individuare i parametri di qualità e quantità dei reflui per la chiara vocazione economica e tipologica territoriale al fine di permettere di caratterizzare lo standard del refluo atteso e di avere le condizioni per rilevare le anomalie e gli scostamenti non autorizzati;
- presenza di collettori che recapitino in un depuratore gestito da GORI tali da agevolare l'installazione del dimostratore nonché facilitare l'accesso ai punti oggetto di monitoraggio per il controllo del funzionamento e per l'acquisizione diretta dei risultati;

Sulla base di tutte queste considerazioni, si prevede di allestire il Dimostratore del Progetto S.I.Mon.A. su un tratto di sistema fognario della lunghezza di almeno 2 Km, nel Comune di Massa Lubrense, il quale presenta le caratteristiche richieste dal progetto e dove l'infrastruttura fognaria, nel complesso, contiene le caratteristiche e gli elementi utili per testare il sistema ovvero la possibilità di parzializzazione in bacini di funzionamento della rete fognaria, la presenza di depuratori gestiti da GORI, scaricatori

con scarichi in ambiente (sfioratori), scaricatori con immissione in condotte (ripartitori di portata).

Il comune di Massa Lubrense conta poco più di 14.087 abitanti (censimento 2103), è situato agli estremi della Penisola Sorrentina, protesa verso l'isola di Capri ed è classificato morfologicamente come collinare. La sua estensione territoriale è di 19,71 Kmq con una altezza sul livello del mare di 121 mt.

Il territorio comunale, è suddiviso in un gran numero di aggregati urbani minori che sono serviti da fognatura cittadina di cui la parte che raccoglie le acque meteoriche è gestita dal comune mentre tutto il sistema idrico integrato, che raccoglie reflui urbani di tipo neri e misti (acque di scarico residenziali ed industriali), e quindi, reti, impianti di sollevamento fognario e depuratori comunali, è gestita da GORI Spa ai sensi dell'ex Legge Galli n. 36/94.

3.3 La rete fognaria di Massa Lubrense

L'intera rete fognaria di Massa Lubrense risulta essere pari a 74,31 km e la sua consistenza può essere così sintetizzata:

Rete Fognaria	Unità di misura	Totale
Rete nera	km	4,10
Rete mista	km	61,60
Canali fognatori (rete mista)	km	1,97
Condotte di rilancio	km	6,64
scaricatori di piena con recapito in ambiente	n.	10
scaricatori di piena con recapito in condotta	n.	5
impianti di sollevamento attivi	n.	16
Depuratori	n.	2
Pozzetti censiti su rete fognaria gestita	n.	2341

Tabella 5 - Tipologia e consistenza della rete fognaria gestita da GORI SpA.

I reflui prodotti dal comune di Massa Lubrense recapitano per il 90% presso i due depuratori, ubicati entro il territorio comunale:

1. Massa Centro, che raccoglie il 90% dei reflui convogliati, ed è situato sul versante nord;

2. Marina del Cantone, sul versante sud, che raccoglie il restante 10%;
mentre il restante 10% dei reflui prodotti dalla popolazione recapita nella rete fognaria del confinante comune di Sorrento.

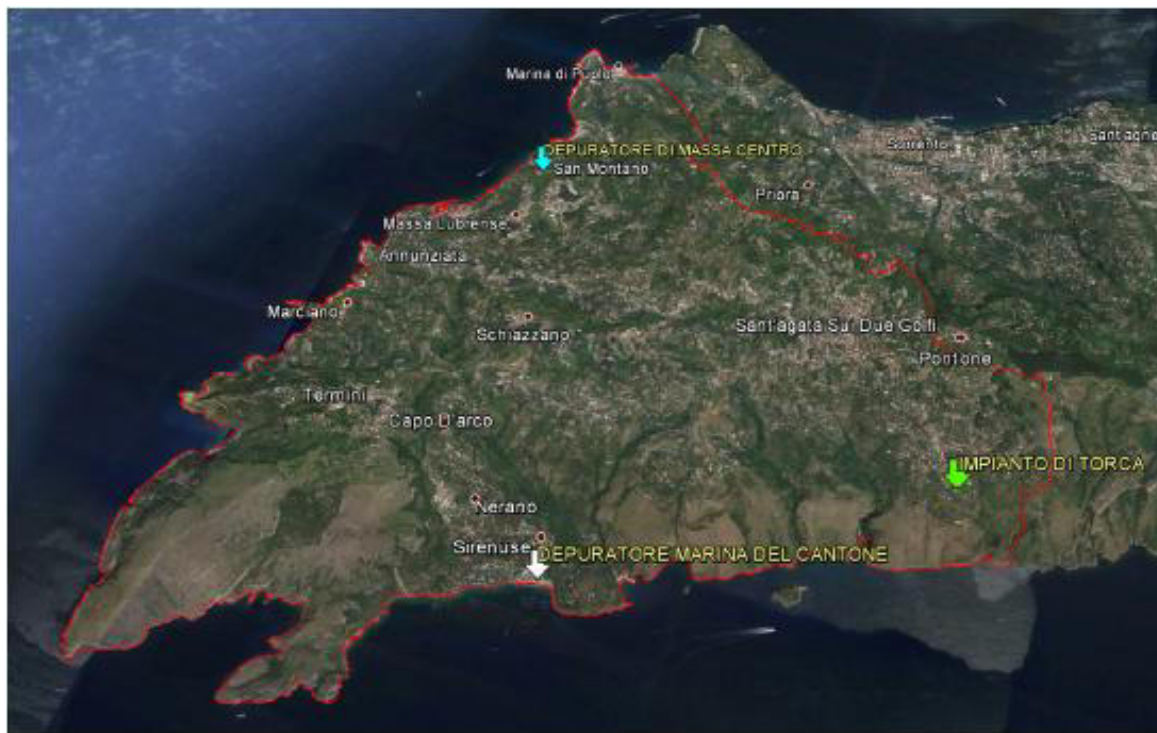


Figura 1 - Comune di Massa Lubrense.

Il sistema fognario di Massa Lubrense è caratterizzato dalla presenza di 16 impianti di sollevamento in esercizio che sono a servizio degli agglomerati sparsi presenti sui versanti costieri che presentano una quota più bassa rispetto al recapito finale.

Per tutti gli impianti telecontrollati vengono acquisiti le informazioni relative a livello vasca, segnale di massimo e minimo livello, marcia/arresto elettropompa e disservizio elettropompa; tutte le informazioni acquisite in campo vengono trasferite al telecontrollo tramite il sistema di trasmissione GPRS.

Un solo impianto di sollevamento è a servizio esclusivo del bacino fognario sotteso al Depuratore Marina del Cantone, mentre gli altri 15 sollevamenti sono a servizio della rete fognaria che recapita al depuratore Massa Centro. Essi, secondo un sistema di rilanci, sollevano i reflui dalle quote più basse fino ad intercettare reti poste a quote

superiori che, a gravità, convogliano i reflui fino al depuratore di Massa Centro con alcune eccezioni che rilanciano direttamente, ed in modo autonomo, all'impianto di depurazione.

Nella figura che segue sono indicati in pianta le diverse immissioni, 4 in totale, nonché la loro ubicazione in prossimità dell'ingresso del depuratore.

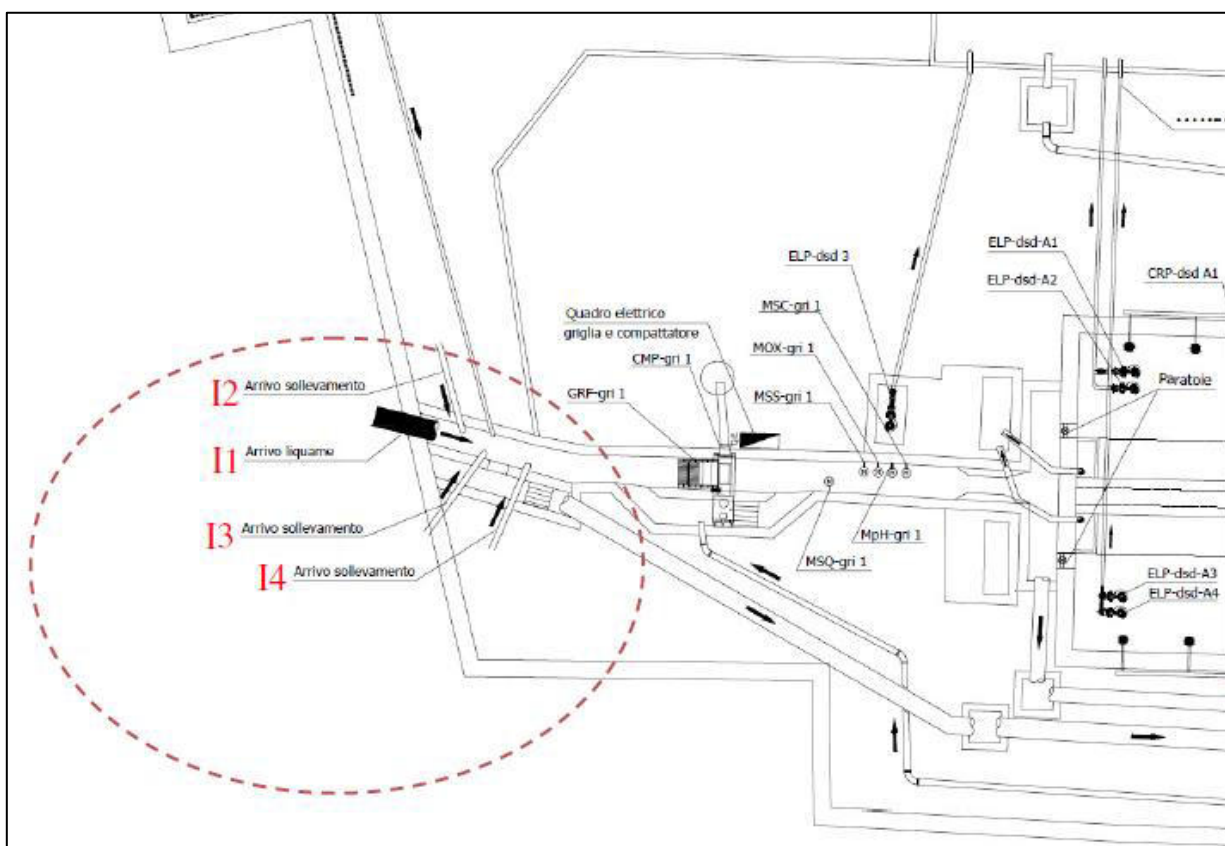


Figura 2 - Dettaglio dell'ingresso al depuratore di Massa Centro.

In alcuni punti strategici della rete fognaria mista sono presenti degli scaricatori di piena che ne regolano il funzionamento nei casi in cui si verificano eccessi di portata rispetto a soglie stabilite in funzione della capacità delle condotte esistenti.

Gli scaricatori, in base alla loro funzione, possono essere divisi in due tipologie :

1. Scaricatori di piena con recapito in ambiente: sono collegati a condotte di sfioro (canali fugatori) le quali ricevono i reflui misti diluiti da eventi meteorici copiosi

che superano la soglia sfiorante dello scaricatore, e quindi superiore ad una determinata portata d'esercizio di magra, e li scaricano nei corpi recettori quali alvei, rivi o direttamente in mare con un rapporto di diluizione compatibile con il corpo ricevente, così come stabilito nelle norme ambientali vigenti a tutela dei corpi idrici recettori.

2. Scaricatori di piena con recapito in altra condotta: entrano in funzione al verificarsi di un aumento di portata ma, a differenza dei primi, possono attivarsi sia in caso di pioggia che di un semplice aumento di portata. In entrambi i casi questi ripartiscono i reflui su 2 o più condotte distribuendo in modo sostenibile la portata in funzione delle capacità delle stesse.

Gli scaricatori di piena presenti sulla rete di Massa Lubrense, attualmente censiti al Sistema Informatico Territoriale della GORI SpA (SIT GORI), sono 18 di cui n. 13 di tipo 1, con recapito in ambiente, e 5 di tipo 2 con recapito in altra condotta. Gli scaricatori di piena non sono telecontrollati ed in genere sono pozzetti stradali non infrastrutturati e non serviti.

Nell'ambito del funzionamento della rete e tenendo conto che nella definizione di una struttura di monitoraggio basata su sequenze di controllo per la tracciabilità degli inquinanti/contaminanti lungo il percorso verso il depuratore e quindi l'ambiente recettore finale, tutti gli impianti di sollevamento e gli scaricatori di piena sono certamente punti sensibili della rete insieme ai nodi di confluenza, ubicati a monte dei distretti.

Dallo studio della rete fognaria di Massa Lubrense e del suo sistema di funzionamento è emerso che l'infrastruttura presenta caratteristiche tali da consentirne una agevole suddivisione in "distretti di funzionamento" che si possono prestare allo sviluppo di un dimostratore da testare su un tratto di rete "limitato" che sia in qualche modo "verificabile e controllabile" nel suo funzionamento rispetto all'intera infrastruttura comunale. In questo caso la condizione basilare sarà quella che la porzione di rete prescelta contenga tutte le tipologie di punti sensibili che il dimostratore dovrà monitorare per effettuare un efficace test di funzionamento.

La rete di Massa Lubrense nel suo complesso è stata suddivisa in 12 distretti funzionalmente raggruppabili ed aggregabili in un unico nodo di confluenza in cui

convergono i reflui di tutte le reti sottese al distretto stesso; di questi, 10 di essi recapitano, direttamente o indirettamente attraverso altri distretti, nel Depuratore di Massa Centro (A,A1,A2,A3,A4,B,C,D,E,F), mentre gli altri due (G,H) recapitano i reflui nel depuratore di Marina del Cantone.

Nel presente lavoro sarà presa in considerazione la sola porzione di rete recapitante nel depuratore di Massa Centro dove è possibile individuare le tipologie di nodi sensibili su cui dovrà essere testato il dimostratore.

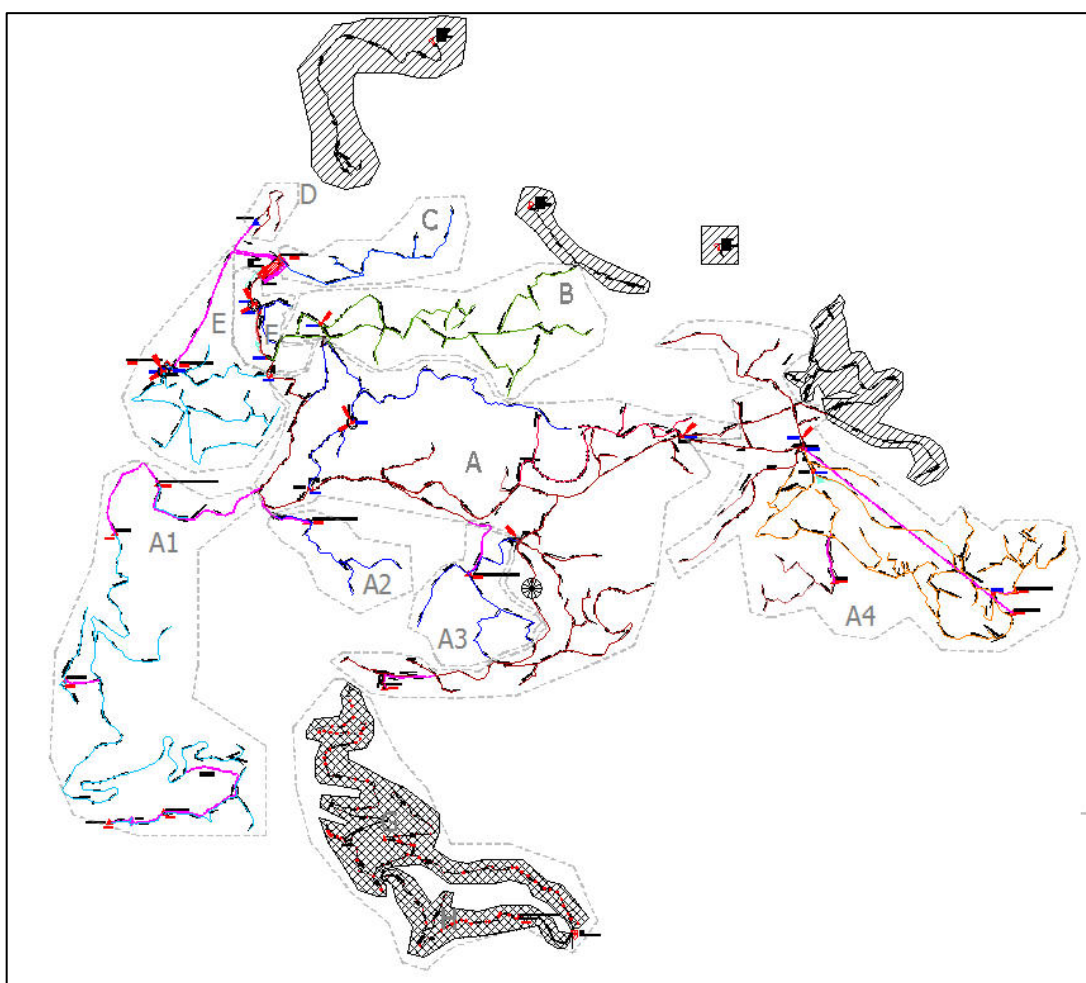


Figura 3 - Schema dei distretti e sottodistretti del bacino afferente al depuratore di Massa Centro.

Uno schema concettuale del funzionamento delle reti afferenti il depuratore di Massa Centro è quello riportato nella figura 3 dove è rappresentato il funzionamento del sistema e l'articolazione con l'indicazione del distretto:

- i reflui raccolti dai bacini A1, A2, A3, A4 vengono mandati tramite dei sollevamenti al distretto A, che convoglia a gravità i reflui al depuratore unitamente ai reflui provenienti dai bacini B e F. In pratica i reflui dei bacini A e B, arrivano al depuratore tramite il tratto terminale della rete distrettualizzato nel bacino F.
- I distretti C, D ed E convogliano i reflui separatamente e tramite i rispettivi sollevamenti fognari li recapitano direttamente all'ingresso del depuratore di Massa Centro.
- Parte dei reflui del distretto A, prima di arrivare al depuratore, potrebbero passare attraverso i distretti A3 e E qualora le portate fossero tali da attivare gli scaricatori di piena che ripartendo il surplus di portata evitano che le condotte vadano in pressione e quindi in crisi. In pratica A3 ed E fungono da bacini di troppo pieno per il distretto A.

3.4 Il depuratore di Massa Centro

L'impianto di depurazione di Massa Centro tratta i reflui fognari provenienti dalla parte settentrionale e nord orientale di S. Agata e delle frazioni di Torca, Pastena, Acquara, Monticchio, Schiazzano, Termini, S. Maria Annunziata, Marciano, S. Francesco, Massa Centro, Marina della Lobra. La potenzialità di tale impianto è di 28.800 abitanti equivalenti, poiché si tiene conto della popolazione turistica variabile nei periodi estivi. L'impianto di depurazione è articolato in 2 diverse linee di trattamento:

- linea liquami : mirata al trattamento dei reflui civili dotati di un elevato carico inquinante
- linea fanghi : mirata al trattamento dei fanghi, ovvero dei reflui di risulta dei processi della linea liquame, al fine di renderli stabili e palabili.

Il funzionamento dell'impianto è schematizzato nel diagramma seguente.

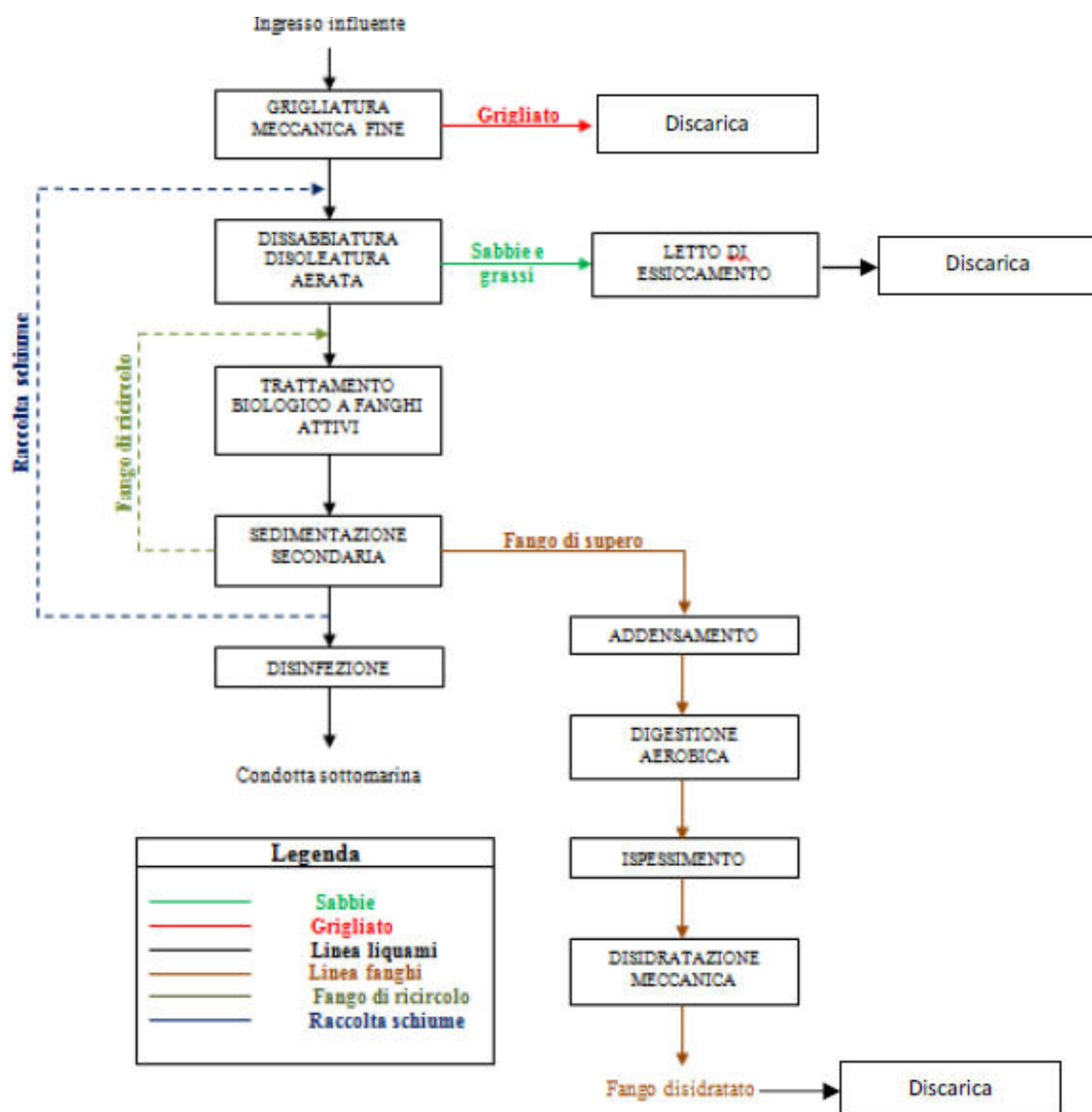


Figura 4 - Diagramma di flusso dei pretrattamenti, della linea liquami e della linea fanghi.

L'ingresso dei reflui al depuratore avviene, attraverso una canaletta, da un unico punto e la portata complessiva, prima di essere immessa nella linea liquami, è sottoposta ad un pretrattamento con lo scopo di eliminare i solidi grossolani contenuti nella corrente in ingresso all'impianto, che altrimenti causerebbero danni o malfunzionamenti alle fasi successive. La canaletta di ingresso dei reflui presenta una pendenza dell' 1,3% circa.

I trattamenti preliminari a cui sono sottoposti i reflui prima della loro immissione nella linea liquami sono i seguenti :

- Grigliatura meccanica fine
- Dissabbiatura aerata e disoleatura

A valle della griglia meccanica fine vi sono un misuratore di portata e delle sonde che misurano il pH, la conducibilità, solidi sospesi e potenziale redox del refluo in ingresso all' impianto di depurazione.

Per quanto concerne il posizionamento dei nodi sensibili, essi dovrebbero stare ad una distanza dall'ingresso del depuratore tale da consentire, in caso di riscontro di anomalie, di effettuare in tempi "ragionevoli" e/o "stabiliti" l'intervento di mitigazione prima ancora di individuare il responsabile dell'immissione non autorizzata.

4. Il prototipo LOADMON

Negli ultimi 30 anni c'è stato un avanzamento costante nell'uso della strumentazione impiegata in ambito idrico e nel monitoraggio ambientale, grazie alla crescente esigenza di ottimizzare i processi di controllo qualitativo e quantitativo delle acque. Nel settore che comprende il trattamento delle acque reflue, un monitoraggio più efficiente richiede strumenti di misura con caratteristiche ottimali di affidabilità e brevi tempi di risposta, da installare in ingresso all'impianto di depurazione e più a monte, nella rete fognaria, a valle di una accurata valutazione dei cosiddetti "nodi sensibili".

A tal proposito il gruppo S.I.Mon.A. ha investito sul "Loadmon", un prototipo di un dispositivo utile alla misurazione di inquinanti nelle acque reflue, brevettato e realizzato dall'ente di ricerca nel settore Ambiente e Gestione delle acque, WRc Plc, consulente scientifico del partenariato del progetto S.I.Mon.A.. La licenza d'uso del sensore è nella disponibilità del Gruppo di Ricerca, al fine del suo miglioramento in vista di una sua vasta applicazione su campo. I dettagli sul brevetto del Loadmon sono riportati in Appendice A.

4.1 Principio di misura

Il Loadmon è stato progettato per misurare la concentrazione dei solidi sospesi (SS) e la domanda chimica di ossigeno (COD) in un flusso di acque reflue che scorre in un canale aperto, lavorando senza alcun contatto con l'acqua di scarico ed in tempo reale.

Lo strumento effettua due misurazioni ottiche separate per la valutazione del carico organico:

- Radiazione a raggi infrarossi (IR) con lunghezza d'onda pari a 1300 nm: la diffusione della luce è legata al materiale solido in sospensione, contenente parte del carico organico, presente nel liquame.
- Radiazione a raggi ultravioletti (UV): con lunghezza d'onda pari a 275 nm. La luce diffusa varia con il materiale solido in sospensione, ma anche in relazione al materiale organico disciolto, gran parte del quale assorbe fortemente in

corrispondenza o vicino a 275 nm. L'assorbanza riduce la dispersione UV in base a quanto aumenta la concentrazione di materiale organico disciolto.

Ogni emettitore genera un fascio collimato di luce che va ad irradiare la superficie dell'acqua, la quale riflette la luce che viene raccolta dalle lenti e focalizzata sui sensori ottici di IR e UV. I due emettitori e i due sensori sono disposti in modo da evitare la riflessione diretta della luce sulla superficie dell'acqua, come uno specchio. Nella posizione stabilita, i sensori ricevono la luce riflessa dalle sole particelle presenti nell'acqua.

Il principio è mostrato di seguito.

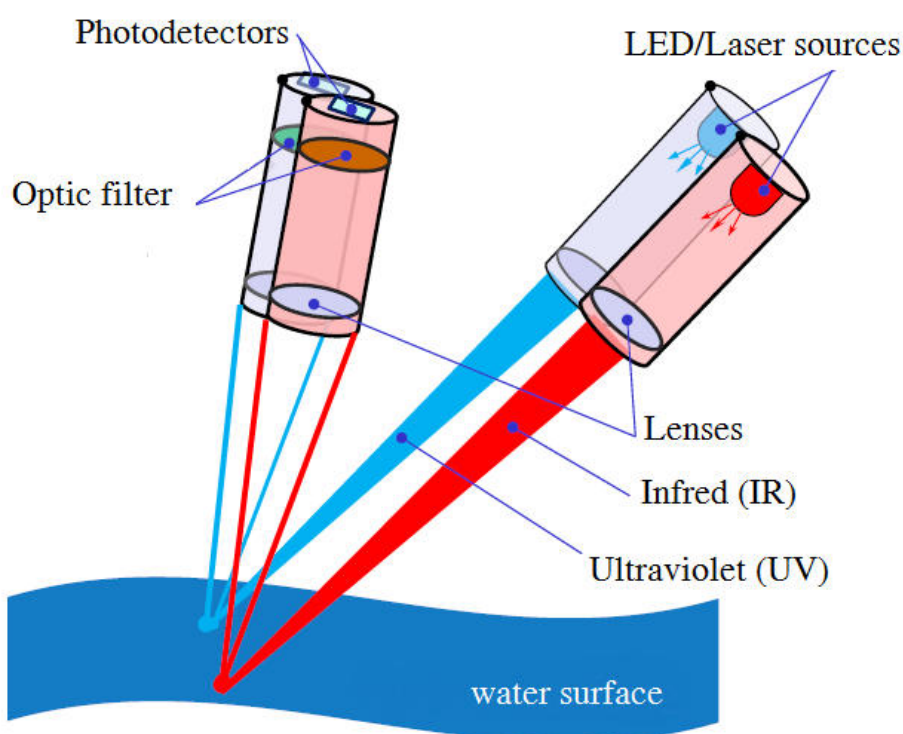


Figura 5 - principio di funzionamento del Loadmon

Una misura che non richiede il contatto con il campione è vantaggiosa perché evita l'eventuale incrostazione del sensore utilizzato, ma richiede funzionalità aggiuntive dello strumento rispetto ad un sensore immerso:

- Poter misurare la distanza tra lo strumento e il campione e successivamente andare a correggere la variazione di luce diffusa che ne consegue.
- Poter correggere gli effetti di turbolenza, presenza di detriti e di schiuma sulla superficie del campione, che fanno registrare picchi di intensità della luce ricevuta dai sensori a causa di una maggiore riflessione sulla superficie irradiata.

4.2 Parametri di progettazione

La principale applicazione prevista dal progetto del Loadmon consiste nell'installazione del dispositivo all'ingresso di un impianto di depurazione a fanghi attivi, passo successivo ad una fase iniziale del progetto, costituita dalla realizzazione di un dispositivo prototipo sperimentato in laboratorio e successivamente "riadattato" per poter funzionare incustodito sul campo.

Di seguito si illustrano i principali parametri di progettazione dello strumento:

- *Campione*: lo strumento viene progettato per misurare campioni di acque reflue caratterizzati da concentrazioni di COD che rientrano nel range di 100 - 2000 mg/l e da concentrazioni di solidi sospesi comprese tra 50 e 1000 mg/l.
- *Distanza dal campione*: la misura può essere effettuata ad una distanza tra la superficie del liquido e la parte inferiore dello strumento compresa nel range 1,2-1,8 metri.
- *Superficie del campione*: lo strumento deve essere in grado di elaborare dati e di conseguenza estrarre una misura valida anche in presenza di schiuma e turbolenza sulla superficie del campione.
- *Dimensioni del canale*: il canale deve avere larghezza minima pari a 150 millimetri mentre non esiste larghezza massima. È necessaria una lunghezza del canale di almeno mezzo metro, in cui lo strumento può avere una visuale libera del campione.
- *Intervallo di misurazione*: l'intervallo di misurazione sarà impostabile dall'utente nel range 1 - 60 minuti.
- *Potenza*: lo strumento viene alimentato da 230V o 110 V. Il consumo energetico massimo dovrebbe essere inferiore a 50W. Le sorgenti luminose devono essere

spente quando non sono necessarie le misure, per risparmiare energia e prolungare la durata dei componenti.

- *Calibrazione:* Lo strumento effettua la calibrazione interna per gli emettitori e i sensori, mentre la calibrazione nei confronti di solidi sospesi e COD richiederà all'utente il confronto con delle misure di laboratorio.
- *Emettitori luminosi:* Il canale infrarosso opera con lunghezze d'onda pari a 1300nm, impostata dal diodo laser (LD), e potenza massima di 20mW, mentre il canale UV emette radiazioni caratterizzate da lunghezze d'onda pari a $280 \text{ nm} \pm 5 \text{ nm}$, fissata dal LED, e potenza massima di 0,6 mW.

4.3 Sicurezza e installazione

Gli emettitori IR e UV installati nel Loadmon possono provocare gravi danni irreversibili alla pelle e agli occhi. Le lesioni alla retina sono particolarmente gravi in quanto le cellule sensoriali distrutte non possono più rigenerarsi, pertanto bisogna usare tutte le misure di sicurezza necessarie. I dettagli sono riportati in Tabella 6.

Sorgente	Rischi	Precauzioni
UV	Danni permanenti agli occhi e alla pelle provocati dall'esposizione diretta al fascio luminoso	Evitare l'esposizione diretta al fascio di luce per periodi superiori a 6 secondi
IR	Danni permanenti alla retina provocati dall'esposizione diretta della luce concentrata	Evitare l'esposizione diretta al fascio di luce concentrata

Tabella 6 - Dettagli sulla sicurezza.

Lo sportello della custodia contenente lo strumento include un interblocco di sicurezza per ridurre il potere degli emettitori nel caso in cui questo venga aperto durante il funzionamento del Loadmon. Inoltre il progetto prevede delle staffe di supporto in

modo che gli utenti preposti all'installazione non devono lavorare sul canale aperto dove opererà lo strumento.

4.4 Il sistema di laboratorio

Il sistema di laboratorio del prototipo Loadmon è stato costruito per testare il funzionamento dello strumento internamente al laboratorio di WRc, ma è stato anche portato su un impianto di trattamento delle acque reflue in due occasioni, in condizioni di tempo asciutto, per un breve test, poiché per l'uso permanente in sito sarebbe necessario un rivestimento protettivo dagli agenti atmosferici.

L'apparecchiatura di laboratorio è mostrata nelle Figure 6 e 7, mentre l'installazione temporanea su un impianto sito nel Regno Unito è riportata in Figura 8.

lenti ottiche
montate in tubo sensori montati su
 carrello scorrevole lenti ottiche
 montate in tubo emettitori
 luminosi



Figura 6 - Il sistema di laboratorio in WRc.

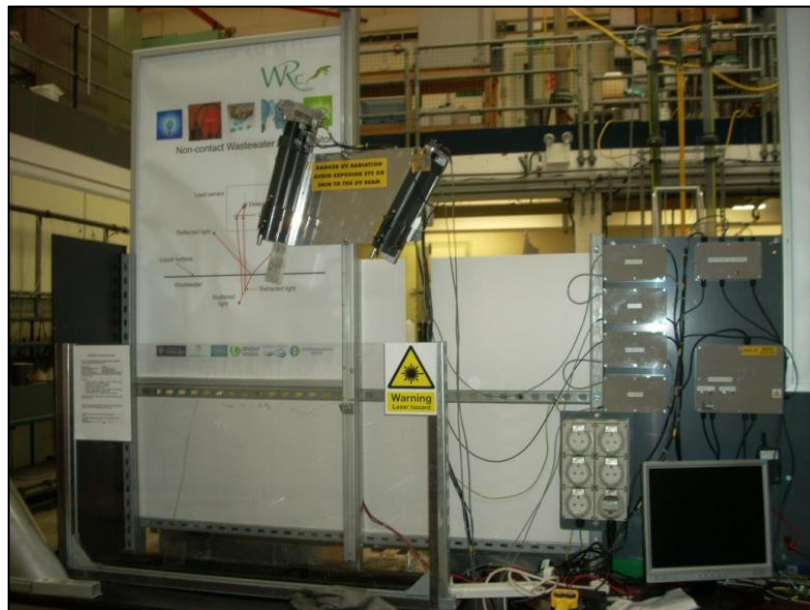


Figura 7 - Il sistema di laboratorio completo.



Figura 8 - Il sistema di laboratorio installato temporaneamente su un impianto di depurazione nel Regno Unito.

4.4.1 Descrizione tecnica

L'apparecchiatura di laboratorio è costituita da:

1. sistema ottico (Figura 6)
2. elettronica analogica (sul tabellone grigio presente in Figura 7)
3. PC con unità di acquisizione dati USB (Figura 7)

1. Il sistema ottico è mostrato schematicamente in Figura 9.

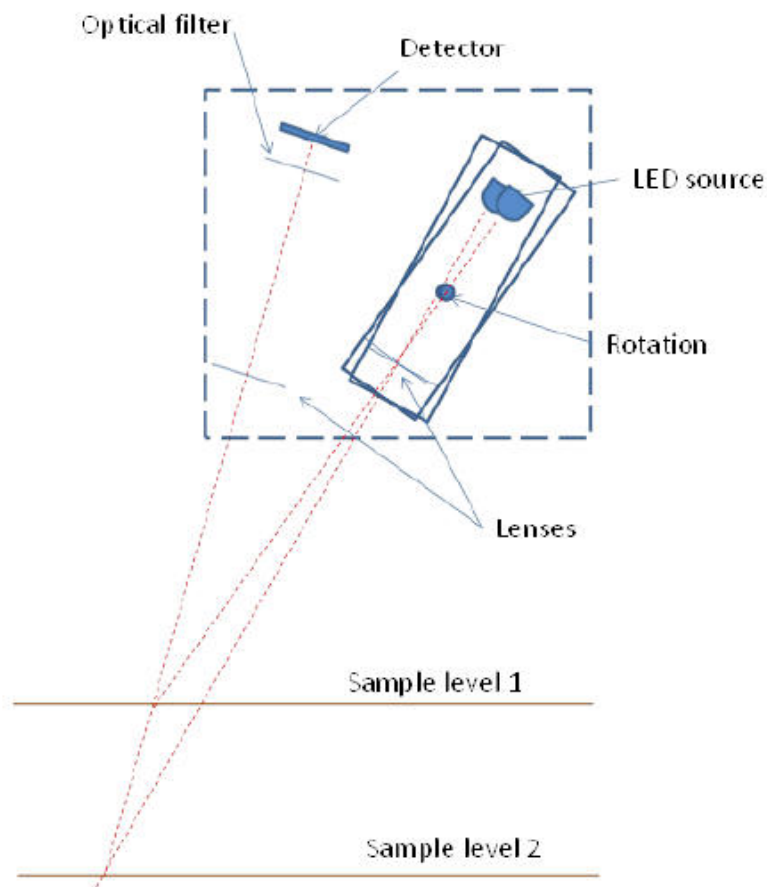


Figura 9 - Schema del sistema ottico di laboratorio.

In laboratorio, per simulare la variazione di livello di un liquido che scorre in un canale, invece di sollevare e abbassare il serbatoio del refluo, il sistema ottico veniva alzato e abbassato scorrendo su un carrello verticale.

La regolazione in base al livello del campione si ottiene ruotando gli emettitori luminosi usando un motore passo-passo e un riduttore.

I singoli componenti ottici sono definite di seguito.

Componente ottica	Caratteristiche
Emettitore UV	Lenti antiriflesso rivestite di silice fusa - Ø50 mm - EFL 250 mm
Emettitore IR	lenti rivestite in BK7 - Ø50 mm - EFL 500 mm
Sensore UV	Lenti antiriflesso rivestite di silice fusa - Ø50 mm - EFL 250 mm
Sensore IR	lenti rivestite in BK7 - Ø50 mm - EFL 250 mm
Filtro UV	Filtro passa banda centrato a 330nm - Ø25 mm- spessore 3mm
Filtro IR	1300 x 50 nm - Ø12.5 mm - spessore 5mm

Tabella 7 - Componenti ottiche del sistema di laboratorio.

2. Il sistema elettronico analogico è mostrato schematicamente in Figura 10.

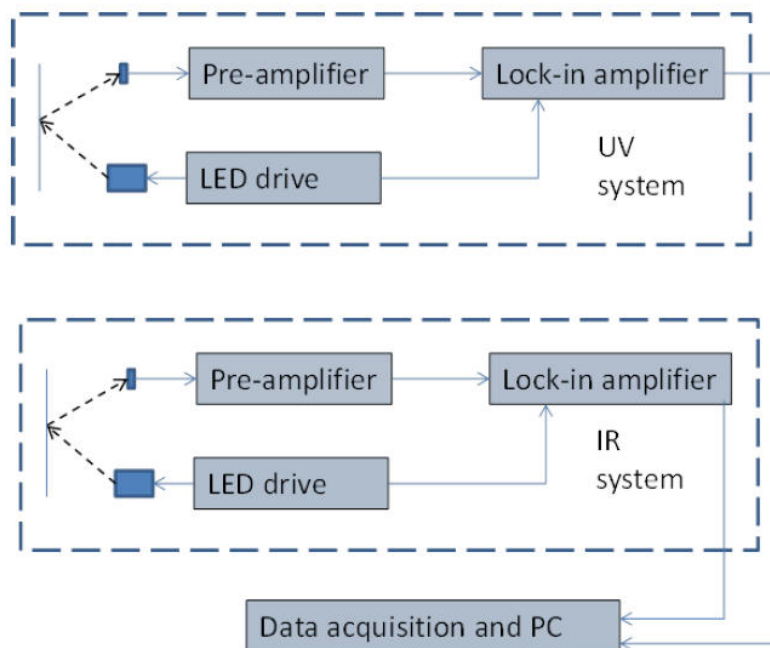


Figura 10 - Elettronica analogica del sistema di laboratorio.

Ogni emettitore luminoso è azionato da un generatore di corrente sinusoidale a frequenza fissa. La luce viene rilevata da un fotodiodo InGaAs, ricevitore IR, e da un fotodiodo a valanga al silicio (APD), ricevitore UV. I sensori sono montati su una guida mobile con vite senza fine azionata da un motore passo-passo per l'allineamento ottico. Ciascun sensore ha un preamplificatore a due stadi montato sul sistema ottico e i dati in uscita sono collegati ad amplificatori lock-in, montati sul tabellone grigio mostrato in Figura 7, i quali a partire dal segnale di sincronizzazione preso dai LED selezionano la frequenza corrente con un tempo di risposta pari a 0,05 secondi.

3. I dati vengono acquisiti e controllati attraverso un'unità Iotech DAQ3000 collegata a una porta USB del computer portatile che li elabora lavorando in MATLAB. L'interfaccia grafica utente di MATLAB è mostrata in Figura 11.

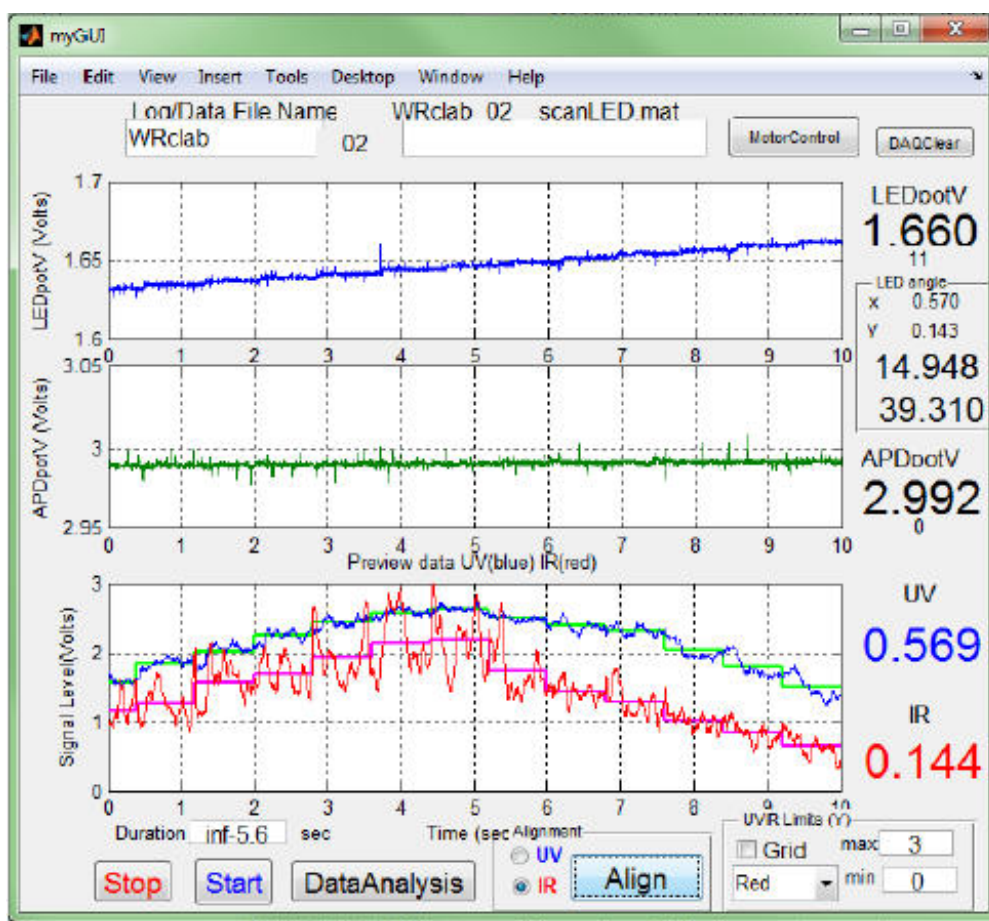


Figura 11 - Interfaccia grafica utente di MATLAB.

4.4.2 Software di sistema

Le funzioni implementate nel sistema sono:

1. Acquisizione e visualizzazione grafica dei dati analogici in uscita dagli amplificatori lock-in UV e IR.
2. Controllo dei due motori passo-passo per la rotazione degli emettitori e per l'insieme carrello-sensori.
3. Acquisizione di dati sulla posizione.

Due trasduttori sono integrati nel sistema di laboratorio:

- a) Potenzimetri fissati agli alberi motore passo-passo
 - b) Un accelerometro a due assi (XY) sugli emettitori di luce per misurare l'angolo rispetto alla verticale direttamente come alternativa al potenziometro.
4. Allineamento automatico, che determina le posizioni dei due motori passo-passo i quali forniscono i segnali massimi e tracciano le letture in quella posizione. Adattando una curva gaussiana attraverso il software si determina la posizione di picco.
 5. Calcolo della media e funzioni statistiche dei dati analogici UV e IR.
 6. Adattamento della curva ottenuta per far fronte alla presenza di turbolenza e schiuma sulla superficie del campione.

La procedura consiste nell'adattamento di una curva gaussiana ottenuta da una prima elaborazione statistica dei dati, successivamente vengono scartati tutti i dati al di fuori dell'intervallo limitato da due deviazioni standard che rappresentano l'escursione dal valore di picco della curva e in seguito si ricava una seconda curva gaussiana con i dati rimanenti il cui picco restituisce il valore di luce UV / IR diffusa.

7. Misura di riferimento.

Gli emettitori ruoteranno in modo che la luce entri nei fori dei tubi in cui sono i sensori fino a registrare un valore di picco. Dall'adattamento della curva gaussiana dei dati si ottiene il valore di picco come livello di riferimento.

4.4.3 Correlazione tra luce diffusa e COD/SS

Affinché il fenomeno di diffusione della luce possa essere sfruttato ai fini analitici è necessario lavorare con radiazioni incidenti aventi lunghezze d'onda dello stesso ordine di grandezza delle dimensioni medie delle particelle sospese contenute nel campione da caratterizzare.

Durante i primi lavori dedicati al progetto del Loadmon è stato constatato che, in acque reflue trattate, le radiazioni a raggi infrarossi con lunghezze d'onda pari a 660 nm riflesse dal fondo del canale creavano problemi nella misura, pertanto si è optato per l'utilizzo di una lunghezza d'onda pari a 1300 nm. Ciò è giustificato dal fatto che l'acqua pura assorbe naturalmente a 1300 nm e la conseguente attenuazione della luce rifratta limita la penetrazione della luce a circa 20 millimetri.

Quando si utilizzano queste lunghezze d'onda infrarosse, l'intensità della luce diffusa è minore a causa della penetrazione ridotta e la variazione dell'intensità della luce diffusa costituisce un dato analogico valido per la conoscenza della concentrazione di solidi sospesi. Oltre a questi ultimi, per poter caratterizzare il carico inquinante presente nelle acque reflue, è importante conoscere anche la quantità di materiale organico disciolto.

Osservando lo spettro di assorbimento di campioni di acque reflue industriali e urbane, Figura 12, è possibile notare che l'assorbanza dei campioni aumenta rapidamente nella porzione blu e UV dello spettro.

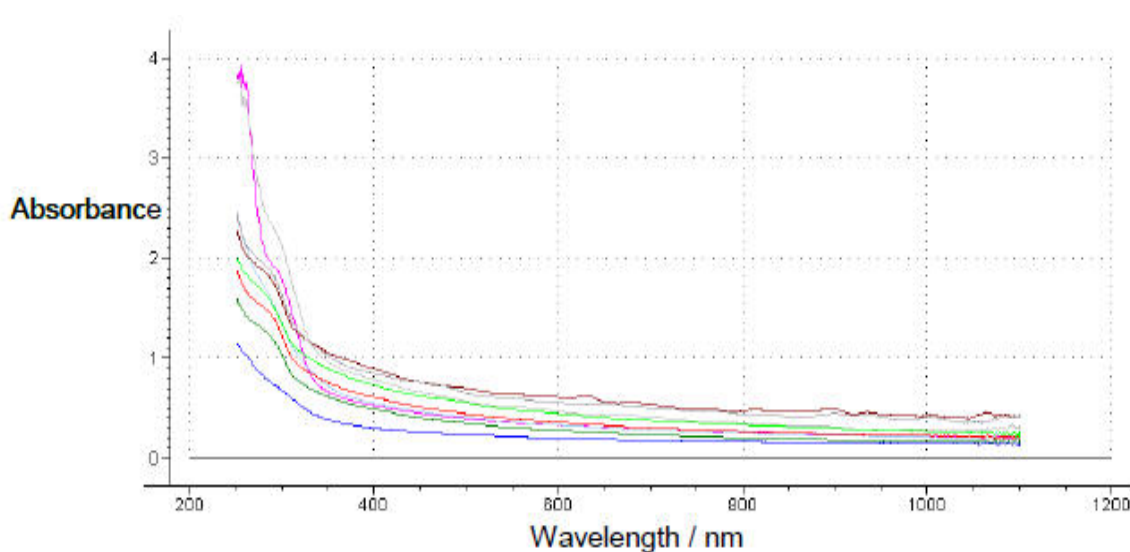


Figura 12 - Spettro di assorbimento dei campioni di acque reflue.

L'assorbanza a 254 nm è ampiamente utile per rilevare il carico organico in acque reflue (254 nm viene usato perché corrisponde al picco di emissione delle comuni ed economiche lampade a vapori di mercurio a bassa pressione, senza alcun particolare motivo riguardante le acque reflue).

Utilizzando la luce UV nella disposizione della Figura 5, la penetrazione della luce nel campione è ridotta a causa della attenuazione, e la luce dispersa ricevuta dal sensore posto al di sopra della superficie del liquido, anch'essa ridotta, viene confrontata con la luce diffusa ricevuta a 1300 nm, che ha una attenuazione stabilita dalle proprietà dell'acqua pura. In pratica il rapporto tra la luce diffusa dei raggi IR, la luce diffusa degli UV, e SS e COD delle acque reflue, si integra in una tabella definita come "look-up table", anziché utilizzare un calcolo analitico.

Gran parte del lavoro di laboratorio è stato effettuato utilizzando silice e acido umico per simulare i solidi sospesi e il materiale organico disciolto nelle acque di scarico. La risposta dello strumento in termini di luce diffusa, al variare della concentrazione dei materiali succitati, ad una distanza di 160 cm tra strumento e campione, è mostrata in Figura 13.

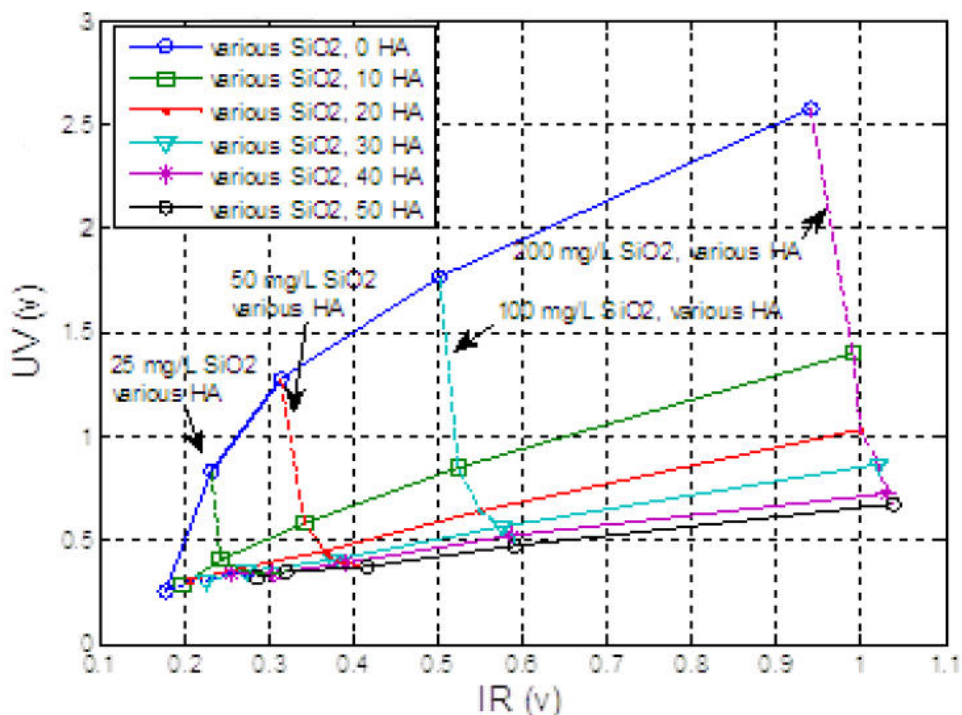


Figura 13 - Risposta del Loadmon per campioni con silice e acido umico.

Questo comportamento è stato modellato teoricamente e i parametri del modello sono stati regolati per ottenere un buon adattamento dei dati. Il risultato è mostrato in Figura 14.

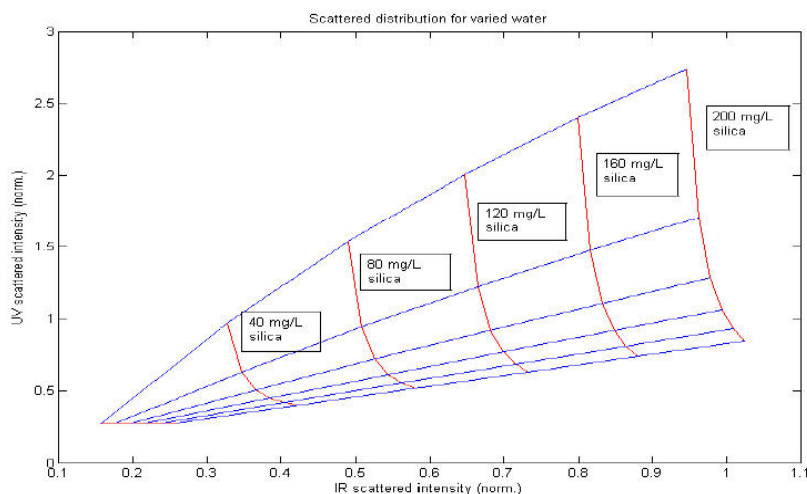


Figura 14 – Modellazione dei risultati sperimentali.

Un programma in MATLAB è stato scritto per ottenere la mappatura con risoluzione migliore rispetto ai dati sperimentali e generare una tabella di ricerca. Ciò è mostrato in Figura 15.

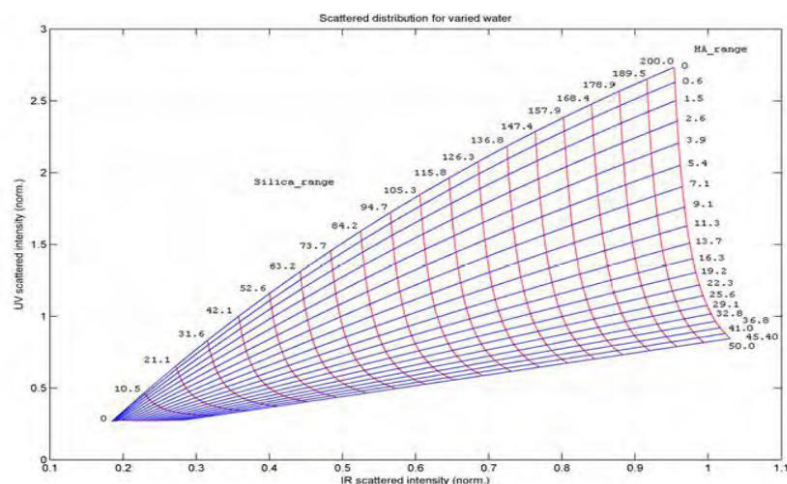


Figura 15 - Maggiore risoluzione della mappatura tra luce diffusa e silice/acido umico.

Una mappa del genere è necessaria per le varie altezze a cui lo strumento opera e costituisce la base per la costruzione della look-up table, utile allo strumento per ricavare i valori di SS e COD.

4.5 Il sistema da installare in campo

Dopo aver costruito e testato un prototipo di laboratorio, il passo successivo è stato quello di realizzare un prototipo in grado di funzionare incustodito su un sito con impianto di depurazione per le prove sul campo.

Il sistema è stato alloggiato in un contenitore commerciale con grado di protezione ambientale IP67, resistente, cioè, alla polvere e alle immersioni, di durata minore o uguale a 30 secondi, fino a 1 metro di profondità.

4.5.1 Hardware e software del sistema

Il sistema è costruito su una piastra retrostante in alluminio che fornisce una base rigida per l'ottica, la quale è costituita da componenti standard facilmente reperibili sul mercato, in particolare fornite dalla Comar Optics e dalla Edmund Optics. Le dimensioni dell'involucro sono 750 x 535 x 300 millimetri.

Il layout di base del sistema progettato è mostrato in Figura 16:

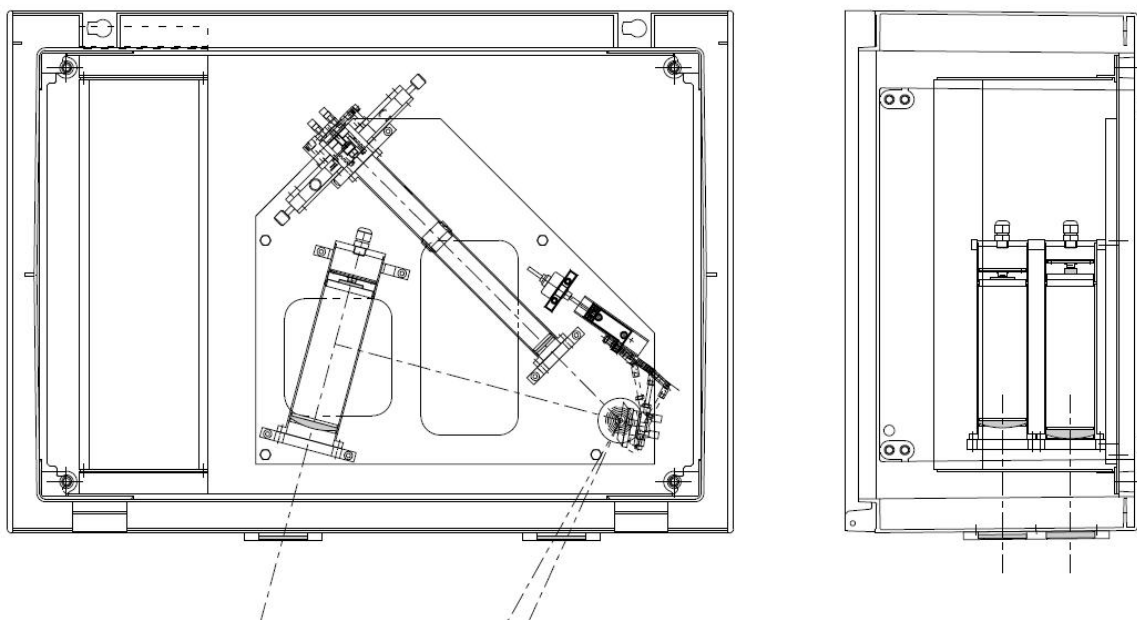


Figura 16 - Layout complessivo del sistema Loadmon di campo.

Le principali differenze dal punto di vista ingegneristico con il sistema di laboratorio precedentemente descritto sono:

- 1) Maggiore precisione, rispetto al sistema di laboratorio, dell'allineamento manuale per correggere l'inevitabile disallineamento tra gli emettitori e i rivelatori. Inoltre, l'uso di componenti metallici fatti a macchina, previsti nel sistema di campo, dovrebbe altresì rendere migliore l'allineamento del sistema ottico.
- 2) La lunghezza focale delle lenti dei sensori è stata ridotta da 250 a 150 millimetri per ridurre le dimensioni dei tubi e realizzare uno strumento più compatto, agevolando l'installazione e rendendolo meno costoso.
- 3) La rotazione del fascio luminoso viene eseguita utilizzando specchi motorizzati rotanti invece di ruotare gli emettitori. I due specchi sono installati su un supporto motorizzato collegato meccanicamente ad una guida mobile con vite senza fine azionata da un motore passo-passo (Figura 17). La posizione dello specchio viene individuata dal conteggio dei passi fatto dalla posizione di un microswitch (microinterruttore a scatto) fino alla fine della guida.

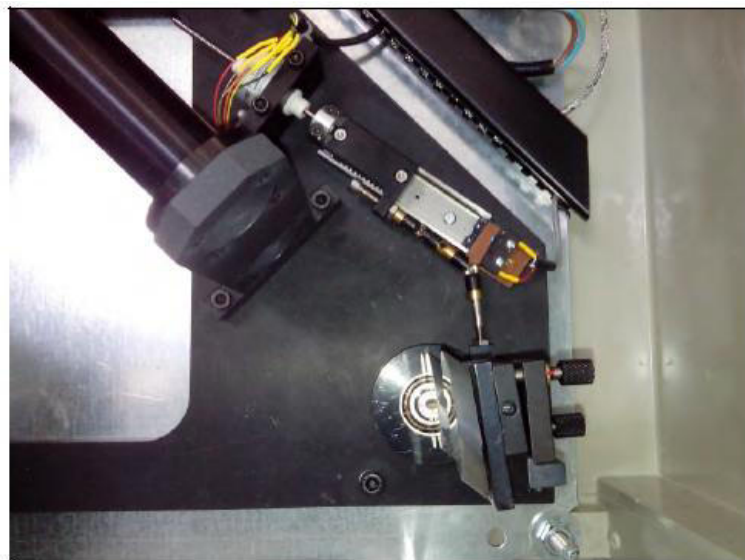


Figura 17 - Specchi motorizzati collegati alla guida mobile.

L'accoppiamento dell'ingranaggio del motore passo-passo a quello della vite senza fine dovrebbe evitare problemi di “gioco” verificatisi più volte nel sistema di laboratorio. Lo svantaggio di tale soluzione è la perdita di luce, stimata intorno al 15 %, causata dallo specchio UV.

Oltre ad allineare il fascio di luce diffusa con i sensori (Figura 18), gli specchi servono anche per ricavare il livello dell'acqua di scarico, utile a correggere la variazione di luce rilevata poiché la distanza strumento-campione è cambiata.

Includendo anche la posizione degli specchi nella tabella di ricerca, essa diventa a tre dimensioni e conferisce i valori di SS e COD a seconda della luce rilevata dal sensore UV, dal sensore IR e a seconda del livello dell'acqua.

Il comportamento degli emettitori e dei sensori è influenzato dalla temperatura e dall'età, ciò viene corretto utilizzando una misura di riferimento (Figura 19). Questa viene effettuata facendo ruotare lo specchio e individuando la posizione in cui la luce emessa passa attraverso un filtro ed entra nel tubo che ospita il sensore.

Lo strumento, dunque, effettua una misura della luce diffusa dalla presenza del campione e una misura di riferimento e ne considera il rapporto.

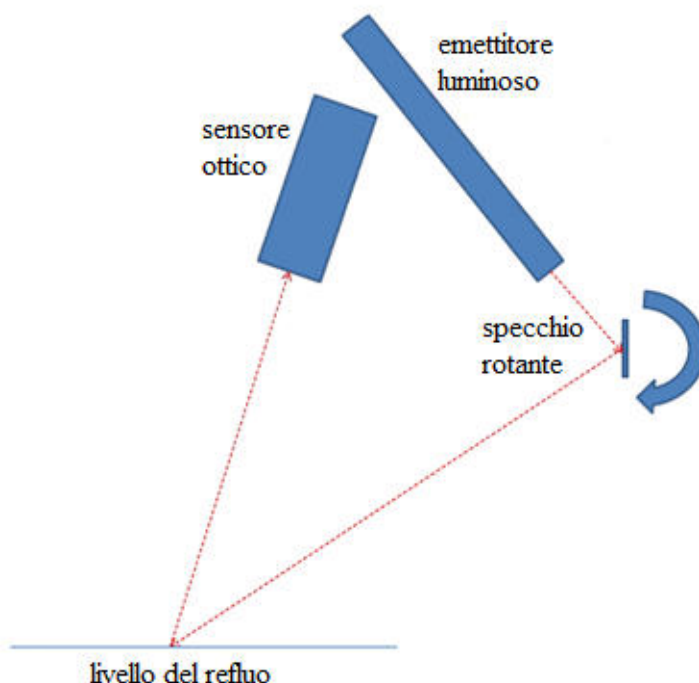


Figura 18 - Uso dello specchio per allineare il fascio luminoso in base al livello del refluo.

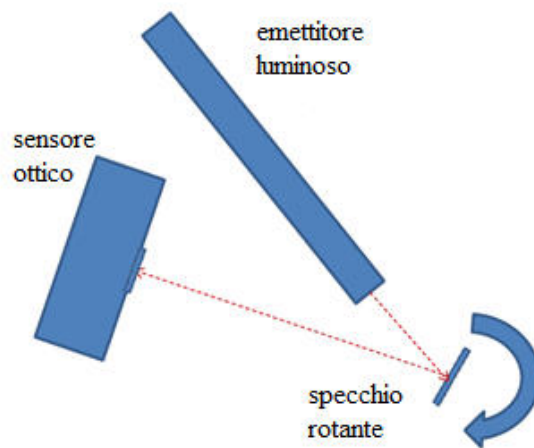


Figura 19 - Posizione dello specchio nella misura di riferimento.

- 4) Per evitare la formazione di condensa e per mantenere costante la temperatura all'interno del quadro, è stato previsto un riscaldatore termostatoato dotato di una termocoppia.

- 5) L'elettronica analogica utilizza un sistema standard d'installazione di componenti hardware con circuito backplane per le interconnessioni tra le schede elettroniche. Come per il prototipo di laboratorio, l'elettronica analogica è costruita utilizzando basette stripboard piuttosto che circuiti stampati (PCB). Tuttavia i preamplificatori utilizzano PCBs a "doppia faccia" (a due strati conduttivi) per ottenere migliori prestazioni e per garantire una struttura più compatta. Il progetto Loadmon prevede la possibilità realizzare un secondo prototipo ed esso potrebbe essere costruito utilizzando PCB.

- 6) Al posto del computer portatile e del sistema di acquisizione dati USB, il prototipo usa due microprocessori (mBed e BeagleBoard) per acquisire i dati ed eseguirne l'elaborazione. Questi usano il linguaggio di programmazione C, invece di MATLAB, ciò consente un funzionamento completamente automatico, il che significa che il software controlla la misura di riferimento, l'allineamento del sistema in seguito ad una variazione del livello dell'acqua, la raccolta, l'elaborazione e la conversione dei

dati a valori COD e SS. L'utente può controllare queste operazioni direttamente tramite connessione Ethernet sulla scheda Beagle con un computer portatile. La connessione Ethernet viene usata anche per scaricare i dati dal prototipo, il quale dispone di due uscite analogiche di 4-20 mA programmate per restituire i valori di COD e solidi sospesi calcolati.

Nella Figura 20 vengono riportate alcune fotografie sull'hardware del sistema di campo, ancora in fase di costruzione.



a)



b)



c)

Figura 20 - a) assemblaggio della parte elettronica; b) involucro di plastica; c) emettitori luminosi e sensori ottici.

Il sistema di campo assemblato e pronto per l'utilizzo in siti incustoditi è presentato in figura 21.

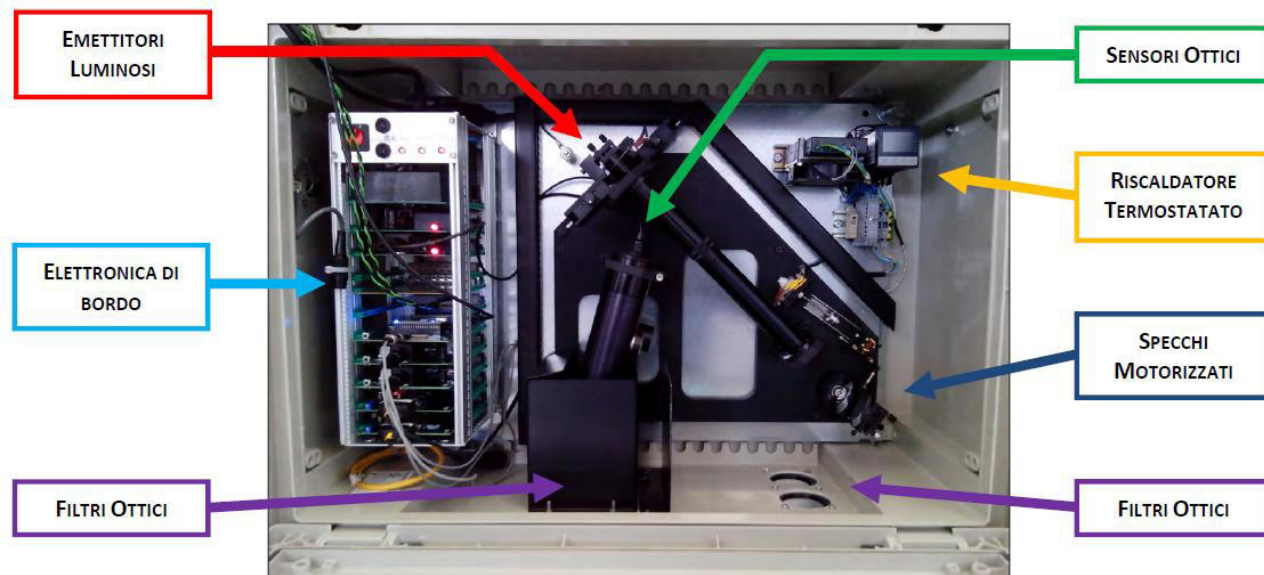


Figura 21 – Panoramica del sistema di campo.

4.5.2 Download ed interpretazione dei dati

Il sistema Loadmon è controllato tramite un BeagleBoard con sistema operativo Ubuntu Linux. Il modo più semplice per scaricare i dati dalla scheda SD, che si trova sulla BeagleBoard, è quello di collegare un computer portatile che lavora su Ubuntu Linux utilizzando un cavo Ethernet. Tuttavia, nonostante sia libero, Ubuntu Linux non è il sistema operativo più comunemente usato, pertanto la maggior parte degli utenti non ha familiarità con esso, dato che la maggior parte dei computer funziona su sistema operativo Windows.

Per affrontare questo problema, e per essere in grado di scaricare i dati da qualsiasi sistema operativo Windows, si può ricorrere al "WinSCP". WinSCP (Windows Secure Copy) è un open source SFTP client, SCP client, FTPS client e FTP client per Microsoft Windows, è realizzato in linguaggio C++ e assolve la funzione di trasferimento di file tra un computer locale ed uno remoto.

Dunque, dopo aver installato un software client FTP (File Transfer Protocol) bisogna configurare la connessione LAN (Local Area Network), una rete informatica di

collegamento tra più computer che copre un'area limitata, e successivamente si deve accedere alla cartella in cui sono memorizzati i dati.

Tutti i dati delle misurazioni sono memorizzate in un file chiamato "log" e in files excel (csv). Il file di log (Figura 22) è simile ad un file di testo (Log.txt), aggiornato costantemente ed in modo incrementale, con tutti i dati elaborati durante ogni singola misurazione, il che lo rende difficile da leggere e utilizzare. Per una consultazione del file più agevole è consigliato l'uso del WordPad, rispetto al NotePad, in ambienti Windows.

```
START NEW: t = 20140409092324
temperature = 28.875
uv ref sweep = [187, 190, 202, 210, 214, 216, 229, 239, 241, 248, 258, 263, 264, 268, ...]
ir ref sweep = [141, 143, 156, 161, 163, 170, 173, 183, 183, 187, 192, 198, 198, 205, ...]
IRfit = [224.45124095886422, 1802.5770006160949, 29.986919600028884]
UVfit = [289.08276057793319, 1797.8852371359917, 24.720238319510617]
irpeak reading = 0222 0283 0220 0282 0221 0285 0221 0284 0221 0283 0220 0282 0218 0283 ...
irpeak fit = [20.445568623484071, 218.6229178020759, 2.0312941499136845]
uvpeak reading = 0218 0288 0217 0287 0215 0286 0215 0286 0218 0284 0219 0286 0221 0288 ...
uvpeak fit = [20.202035200629062, 288.40192960337697, 1.9644355969951779]
uv wtr sweep = [5, 4, 4, 4, 4, 4, 4, 4, 4, 4, 4, 4, 4, 4, 4, 4, 4, 4, 4, 4, ...]
ir wtr sweep = [4, 4, 4, 4, 4, 7, 4, 4, 4, 4, 4, 4, 5, 5, 4, 4, 5, 4, 4, 4, 4, 4, ...]
IRfit = [61.889446371635877, 176.40672165002866, 5.168819247859993]
UVfit = [73.040744006622504, 176.45916799694842, 7.9376580529857224]
irpeak reading = 0065 0070 0064 0072 0063 0072 0061 0070 0063 0070 0064 0072 0064 0071 ...
ir peak fit = [13.801444774419323, 60.4209220024863, 3.2583125368415744]
uvpeak reading = 0064 0068 0065 0071 0062 0073 0060 0073 0059 0073 0060 0076 0059 0074 ...
uv peak fit = [20.744058081063944, 70.902653136001717, 1.7310824581087356]
normalised values: ir = 0.276370485811 uv = 0.245846666954
peak step = 176.40672165 --> height = 113.188193408
[COD,SS] = [40.77,15.78]
END
```

Figura 22 - Estratto del file di log (Log.txt) contenente i dati elaborati durante una misurazione.

I files in formato csv sono creati in modo da rendere molto semplice l'accesso e l'utilizzo dei dati e presentano solo il tempo, la temperatura e i valori normalizzati IR e UV di ogni singola misurazione (Figura 23).

<i>Time</i>	<i>Temperature °C</i>	<i>IR Normalised</i>	<i>UV Normalised</i>
20140409100613	25,94	0,5061880	0,5699414
20140409101034	26,13	0,3806796	0,5605480
20140409101455	26,44	0,4945752	0,5686646
20140409101914	26,38	0,7160209	0,5724363
20140409102337	26,31	0,3398408	0,5813219
20140409103236	26,50	0,3030796	0,5836631
20140409103656	26,38	0,4268663	0,5998206
20140409104118	26,31	0,3745100	0,5690253
20140409104539	26,38	0,4420929	0,5628510
20140409105002	26,38	0,3872538	0,5802755
20140409105421	26,25	0,4639232	0,5682150
20140409105845	26,50	0,3575436	0,5586816
20140409110300	26,63	0,3923065	0,5786351
20140409111147	26,75	0,4973791	0,5693312
20140409111559	26,69	0,3659113	0,5653333
20140409112012	26,75	0,3332968	0,5801567
20140409112649	26,75	0,3284470	nan
20140409113058	26,75	0,2865700	0,5670034
20140409113520	26,63	0,3114018	0,5666818
20140409113941	26,63	0,3144399	0,5690995
20140409114404	26,63	0,3317418	0,5642611
20140409114826	26,81	0,3086306	0,5695343

Figura 23 - Esempio di file in formato csv (xxx.csv).

I valori IR e UV normalizzati vengono poi inseriti in equazioni matematiche (Figura 24) che lavorano come modelli empirici per generare i risultati di SS e COD in mg/L.

$$SS = a * IR + b * UV + c$$

$$COD = d * IR + e * UV + f$$

Figura 24 - Equazioni matematiche che restituiscono i valori di SS e COD inserendo valori IR e UV normalizzati.

Le lettere a, b, d, e rappresentano valori numerici determinati sulla base di dati sperimentali provenienti da test sulle acque reflue reali effettuati considerando varie altezze idriche (Tabella 8). I valori numerici dei parametri c e f derivano anch'essi da dati sperimentali, ma sono costanti con l'altezza e valgono:

$$c = -593.4 ; f = 15.3$$

h (metri)	a	b	d	e
0.7	777.3	257.0	543.7	179.8
0.8	609.6	225.4	426.4	157.7
0.9	635.8	263.9	444.8	184.6
1	671.8	302.5	469.9	211.6
1.1	766.7	358.5	536.3	250.7
1.2	901.8	414.2	630.8	289.8
1.3	995.4	483.3	696.3	338.1
1.4	1122.1	573.6	784.9	401.2
1.5	1331.9	685.0	931.7	479.2
1.6	1668.7	804.2	1167.3	562.5

Tabella 8- Valori numerici dei parametri a,b,d,e in corrispondenza delle varie altezze idriche.

4.5.3 Interfaccia utente

Il dispositivo Loadmon è impostato per funzionare “all'avvio”, il che significa che quando esso viene collegato alla rete elettrica, il suo funzionamento si avvierà automaticamente. Inizia col prendere le misure in base ai parametri d'impostazione pre-selezionati, presentati nella Tabella 9 e salva i dati nel file di log e nel file excel (l'accesso ai files è descritto nel sottoparagrafo 4.5.2) che verrà nominato in base alla data e il tempo in cui è stata eseguita la misura.

L'avviamento automatico è stato scelto in modo che il collegamento con un computer portatile o uno schermo e una tastiera al dispositivo non è necessario per iniziare a prendere le misure.

Parametro d'impostazione	Valori originali	Descrizione
WTRUVPEAKN	100	Numero misure UV eseguite in corrispondenza del picco registrato sull'acqua
REFIRPEAKN	100	Numero misure IR eseguite in corrispondenza del picco registrato per il riferimento
RUNONSTARTUP	1	Esistono 2 opzioni per il funzionamento: 0 (manuale) e (1) automatico
IRFREQ	1	Impostato a 1 e non usato
WTRUVPEAKF	50	Frequenza misurazioni UV eseguite in corrispondenza del picco registrato sull'acqua (ossia 50Hz)
REFUPPER	1825	Numero del passo della misura che rappresenta il limite superiore della curva ottenuta per il riferimento
WTRUVPWR	100	Intensità del laser UV che esegue una misura sull' acqua (100%)
REFIRPWR	100	Intensità del laser a infrarossi che esegue una misura di riferimento (100%)
WTRIRPEAKF	50	Frequenza misurazioni IR eseguite in corrispondenza del picco registrato sull'acqua (ossia 50Hz)
WTRIRGAIN	1	Guadagno del laser a infrarossi che esegue una misura sull'acqua
WTRIRPEAKN	100	Numero misure IR eseguite in corrispondenza del picco registrato sull'acqua
REFLOWER	1775	Numero del passo della misura che rappresenta il limite inferiore della curva ottenuta per il riferimento
WTRUPPER	215	Numero del passo della misura che rappresenta il limite superiore della curva ottenuta sull'acqua
REFUVPEAKN	100	Numero misure UV eseguite in corrispondenza del picco registrato per il riferimento
REFUVPEAKF	50	Frequenza misurazioni UV eseguite in corrispondenza del picco registrato per il riferimento (ossia 50Hz)
REFUVPWR	100	Intensità del laser UV che esegue una misura di riferimento (100%)
MEASINTERVAL	20	Intervallo di misurazione - tempo che intercorre tra le misure
WTRLOWER	135	Numero del passo della misura che rappresenta il limite inferiore della curva ottenuta sull'acqua
REFIRPEAKF	50	Frequenza misurazioni IR eseguite in corrispondenza del picco registrato per il riferimento (ossia 50Hz)
UVFREQ	1	Impostato a 1 e non usato
WTRIRPWR	100	Intensità del laser a infrarossi che esegue una misura sull'acqua (100%)
REFIRGAIN	1	Guadagno del laser a infrarossi che esegue una misura di riferimento
REFUVGAIN	1	Guadagno del laser UV che esegue una misura di riferimento
WTRUVGAIN	1	Guadagno del laser UV che esegue una misura sull' acqua

Tabella 9 - Valori numerici di impostazione.

Collegando un monitor HDMI (High Definition Multimedia Interface) ed una tastiera USB alla scheda BeagleBoard è possibile visualizzare lo stato attuale del Loadmon e modificarne i parametri (Tabella 9). L'interfaccia è di tipo "a riga di comando" e riporta nella parte superiore la sequenza delle ultime operazioni eseguite mentre nella parte inferiore è possibile visualizzare e modificare le impostazioni pre-selezionate.

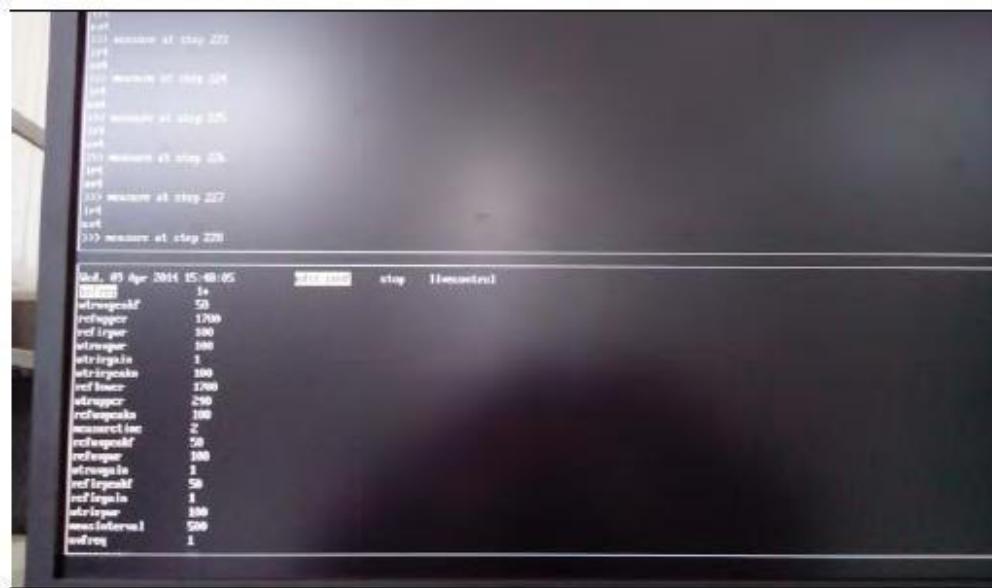


Figura 25 - Interfaccia utente del Loadmon.

Se l'operazione di misurazione viene fermata manualmente attraverso l'interfaccia, il salvataggio dei dati nel file di log e nei files in formato csv viene messo in pausa. Quando la misura riprende, il software riepiloga il salvataggio dei dati negli stessi files. Se, invece, l'operazione di misura viene interrotta a causa di un'interruzione di corrente o perché il dispositivo viene scollegato, quando la misura riprende il software effettua il salvataggio dei dati creando nuovi files di log e csv.

4.5.4 Ciclo di funzionamento del Loadmon

Il Loadmon effettua ciclicamente le misurazioni senza la necessità di alcun comando da parte dell'utente.

Il ciclo si compone delle seguenti fasi principali:

1. Formattazione della scheda MBED, per renderla idonea all'archiviazione dei dati;
2. Inizio sequenza Ref (Misura di riferimento);
3. Accensione dell'emettitore IR;
4. Accensione dell'emettitore UV;
5. Calibrazione del motore (ricerca dello zero START PSN);
6. Controllo della temperatura;
7. Posizionamento degli specchi sulla posizione iniziale (Reflower);
8. Misurazioni di riferimento dalla posizione iniziale alla finale (Refupper-Reflower+1);
9. Adattamento della curva gaussiana;
10. Posizionamento sul valore di picco IR;
11. Lettura IR;
12. Posizionamento sul valore di picco UV;
13. Lettura UV;
14. Fine sequenza Ref;
15. Inizio sequenza Wtr (misura sull'acqua);
16. Accensione dell'emettitore IR;
17. Accensione dell'emettitore UV;
18. Calibrazione del motore (ricerca dello zero START PSN);
19. Posizionamento degli specchi sulla posizione iniziale (Wtrlower);
20. Misurazioni di riferimento dalla posizione iniziale alla finale (Wtrupper-Wtrlower+1);
21. Adattamento della curva gaussiana;
22. Posizionamento sul valore di picco IR;
23. Lettura IR;
24. Posizionamento sul valore di picco UV;
25. Lettura UV;
26. Fine sequenza Wtr;
27. Spegnimento dell'emettitore IR;
28. Spegnimento dell'emettitore UV;

29. Calcolo dei risultati;
30. Calcolo dei valori normalizzati;
31. Calcolo del COD e SS;
32. Scrittura del file csv;
33. Chiusura del file Log.txt;
34. Attesa eventuale per la misurazione successiva.

4.5.5 Sviluppi Futuri

Il progetto S.I.Mon.A., con lo scopo principale di misurare il carico organico del liquame grezzo e di poter ottenere la segnalazione di eventuali scarichi non autorizzati e/o non conformi ai limiti di legge, prevede l'installazione del Loadmon in fognatura. Tale applicazione richiede il rispetto di requisiti di carattere pratico che hanno portato i membri del progetto S.I.Mon.A. a confrontarsi con gli ideatori, nonché costruttori del prototipo, ovvero il team di WRc, per richiedere alcune modifiche del dispositivo. In particolare si richiede:

- 1) **Minori dimensioni fisiche**: gli strumenti fognari sono generalmente alloggiati in pozzetti di dimensioni massime pari a 150 millimetri;
- 2) **Alimentazione alternativa**: la maggior parte dei siti di fognatura non è dotata di energia elettrica pertanto si preferisce che il dispositivo possa essere alimentato a batteria;
- 3) **Certificazione ATEX**: ATEX è il nome convenzionale che raggruppa due direttive dell'Unione Europea:
 - la 94/9/CE per la regolamentazione di apparecchiature destinate all'impiego in zone a rischio di esplosione; la direttiva si rivolge ai costruttori di attrezzature destinate all'impiego in aree con atmosfere potenzialmente esplosive e si manifesta con l'obbligo di certificazione di questi prodotti;
 - la 99/92/CE per la sicurezza e la salute dei lavoratori in atmosfere esplosive; si applica negli ambienti a rischio di esplosione, dove impianti ed

attrezzature certificate sono messe in esercizio ed è quindi rivolta agli utilizzatori;

- 4) **Tempi di risposta più brevi**: al fine di rilevare tempestivamente gli scarichi illeciti occorre avere una risposta del Loadmon quasi immediata sulla qualità del refluo.

Di seguito si esplicano gli interventi da effettuarsi per rendere il sistema Loadmon più compatto e adatto all'ambiente fognario.

1) **Minori dimensioni fisiche**

Le dimensioni del prototipo sono determinate da:

- Il sistema costituito dallo specchio rotante e il motore passo-passo che lo guida nella rotazione;
 - Gli emettitori: entrambi i tubi sono lunghi 26 cm;
 - L'elettronica di bordo: questa ha dimensioni 300x130x200.
- Per ridurre le dimensioni del prototipo riorganizzando il sistema ottico vengono valutate due strade possibili:
- a) Diminuire l'angolo tra l'asse dell'emettitore e l'asse del sensore
 - b) Rendere coincidenti l'asse dell'emettitore e l'asse del sensore
- a) Se il range di variazione del livello dell'acqua è modesto, per esempio 30 cm sono accettabili, potrebbe essere evitato l'uso degli specchi motorizzati e ottenere in tal modo uno strumento di dimensioni ridotte (Figura 26).
- Poiché la luce ricevuta dal sensore è inversamente proporzionale al quadrato della distanza dal campione, è necessario utilizzare metodi alternativi per misurare questa distanza. Ci sono almeno 3 opzioni per rilevare il livello dell'acqua:
1. Usare un trasduttore di livello a parte (per esempio della tipologia ad ultrasuoni);
 2. Sensore mobile;
 3. Usare un sensore PSD (position sensitive detector) o un array di sensori

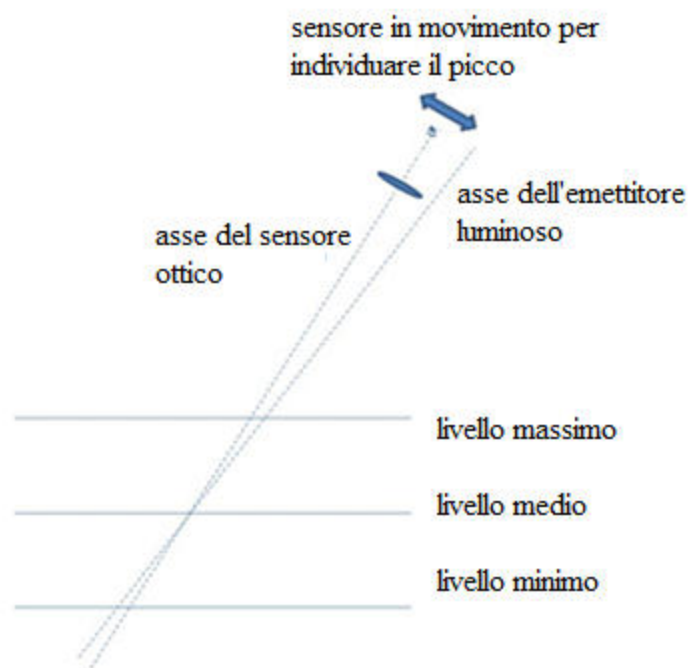


Figura 26 - Possibile geometria più compatta.

L'opzione che prevede l'impiego di un PSD, per rilevare il livello del refluo, è preferibile in quanto non comporta parti in movimento e sensori aggiuntivi e il rilevamento della posizione dell'acqua richiede un solo canale ed è facilmente ottenibile utilizzando radiazioni con lunghezza d'onda pari a 1300nm. Questi sensori sono in grado di misurare cambi estremamente piccoli della posizione del fascio di luce, più precisamente, la risoluzione ottenuta è in genere inferiore alle frazioni di micrometro. Per il canale UV viene usato un dispositivo fisso a sezione ampia, con la lente disposta in modo da mantenere l'immagine sul sensore per un range sufficiente di livelli.

b) La Figura 27 mostra una disposizione compatta costituita da uno specchio parabolico fuori asse che consente di far coincidere l'asse dell'emettitore con quello del sensore.

Questa soluzione funzionerebbe bene per uno strumento che usi solo radiazioni IR, quindi utile esclusivamente per restituire la misura dei solidi sospesi, che preveda il passaggio della luce emessa, attraverso il foro centrale dello specchio (Figura 27).

Valutando questa possibile disposizione ne emerge che probabilmente sarebbe più conveniente e comodo utilizzare un dispositivo a parte, per esempio un trasduttore di livello ad ultrasuoni.

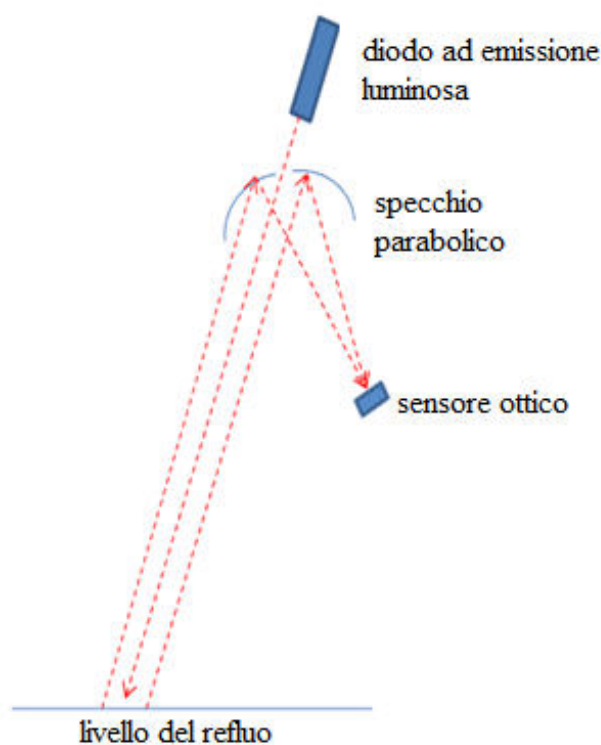


Figura 27 - Emittitore e sensore hanno lo stesso asse.

Un'ulteriore opzione comporterebbe l'utilizzo di un dispositivo che divida il fascio di luce in due, chiamato beamsplitter, utilizzabile con qualsiasi sorgente luminosa (Figura 28).

Lo svantaggio principale di questa soluzione è la perdita del 50% della luce in corrispondenza del dispositivo beamsplitter. Un vantaggio, invece, è rappresentato dalla semplicità nel fornirsi di un sensore di riferimento affidabile

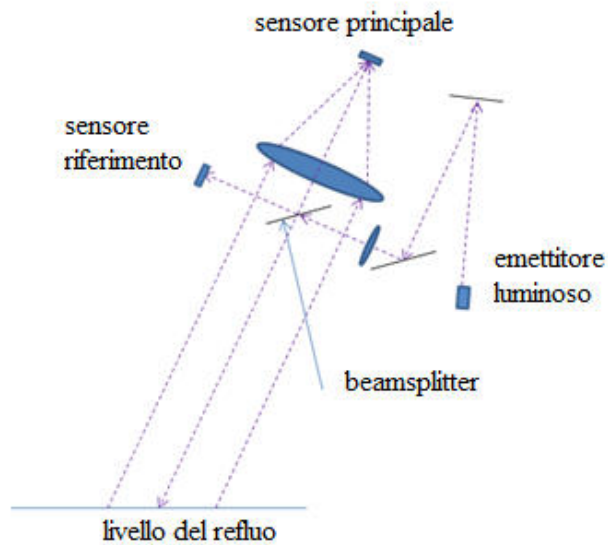


Figura 28 - Beamsplitter che consente al sensore e all'emettitore di condividere l'asse.

- Gli emettitori sono entrambi dei LED, da ognuno dei quali nasce un fascio luminoso che va ad irradiare il campione e la dimensione del punto della luce su di esso viene determinata dall'ingrandimento della lente e dall'estensione delle aperture (Figura 29). Il diametro ideale di tale punto è 10-20 mm e ottenere ciò richiede una distanza di almeno 200 mm tra il LED e la lente se si lavora con distanze dal campione di circa 1-2 metri.

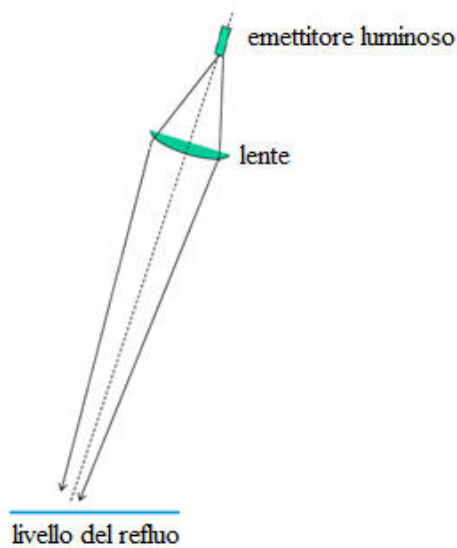


Figura 29 - Disposizione dell'emettitore senza l'uso dello specchio.

Emettitore IR:

La scelta dell'impiego di radiazioni aventi lunghezza d'onda pari a 1300 nm è giustificata dall'assorbanza elevata dell'acqua pura in corrispondenza di quella lunghezza d'onda, che impedisce la riflessione da parte del fondo del canale per profondità maggiori di 10 cm. Ci sono due tipi di emettitori a 1300 nm disponibili in commercio:

- Il LED con 2 mW di potenza;
- I diodi laser disponibili da 5, 10, 20 mW.

Se si utilizza un diodo laser, è molto facile avere un piccolo punto di luce con un sistema più compatto. Azionando il diodo laser a corrente costante sono stati ottenuti degli outputs affetti da instabilità, correggibile optando per un sistema di azionamento del diodo basato su un circuito "feedback" che riesce a controllare la costanza dei dati in uscita. Tutto ciò che serve è una sola lente asferica di collimazione e in tal modo viene fuori un ingombro non superiore ai 30 cm di lunghezza. Inoltre il diodo laser ha maggiore potenza rispetto al LED e un miglior rapporto segnale-rumore.

Un'ulteriore alternativa è rappresentata dall'uso della luce con lunghezza d'onda pari a 960 nm, in corrispondenza della quale l'acqua ha un coefficiente di assorbimento di 0,45, minore rispetto a quello relativo a 1300 nm che risulta pari a 1, pertanto per evitare la riflessione della luce da parte del fondo del canale è necessaria una profondità di questo di almeno 20 cm. Tuttavia, per il liquame greggio, l'assorbanza dovuta alle particelle è maggiore, quindi aumenta la dispersione delle particelle, pertanto il funzionamento a 960 nm risulta realistico per la fognatura.

Emettitore UV:

Il prototipo esistente utilizza un LED da 0,5 mW con lente emisferica fornito dalla casa produttrice Seti, che offre anche soluzioni diverse con potenza di 2 o 4 volte maggiore.

L'unica possibilità per utilizzare un LED con una disposizione ottica in una forma più compatta è ricorrere ad un fascio piegato, per esempio come in Figura 30.

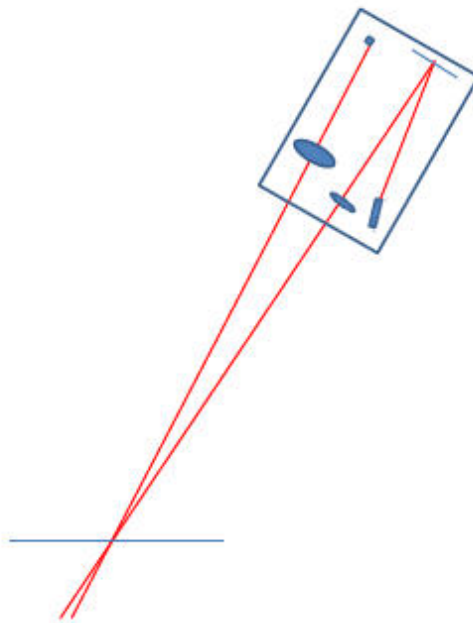


Figura 30 - Possibile sistemazione utilizzando un fascio piegato e uno specchio.

Opzioni alternative per gli emettitori:

Una lampada allo xeno costituirebbe una possibile sorgente di luce per il Loadmon. Lo spettro di un dispositivo Hamamatsu è mostrato nella Figura 31.

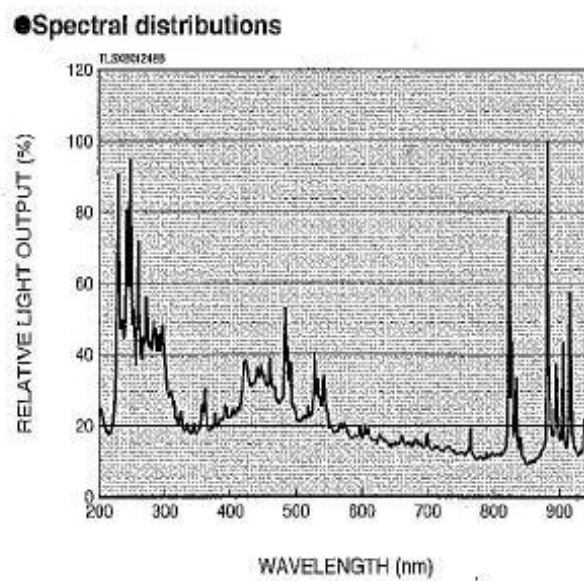


Figura 31 - Spettro di emissione di una commerciale lampada allo xeno.

La lampada può essere utilizzata per coprire sia l'UV a 270-280 nm che l'IR a 960 nm apposti filtri. L'enorme vantaggio di tale sistema è rappresentato dalla lunga durata e dalla notevole intensità di luce emessa che caratterizzano la lampada. Di contro però essa consuma molta energia pertanto il funzionamento con batteria sarebbe problematico e inoltre potrebbero esserci problemi relativi alla certificazione ATEX dovuti all'alta tensione a cui lavorano.

- Per ridurre le dimensioni del sistema elettronico, esso potrebbe essere riprogettato con la “tecnologia a montaggio superficiale”, che prevede l'applicazione dei componenti elettronici sulla superficie del circuito stampato senza la necessità di praticare dei fori come invece richiesto per il sistema presente. In particolare si prevedono due soli PCB per i sistemi analogico e digitale, facilmente montati, per esempio, sulla parte posteriore dello sportello del contenitore, con una finestra di visualizzazione utente.

2) Alimentazione alternativa

Il Sistema esistente utilizza fino a 18W quando effettua una misurazione, consumo troppo elevato per un eventuale funzionamento a batteria. Gli interventi necessari per ridurre la potenza potrebbero essere:

- Sostituire la Beagleboard con un microcomputer a bassa potenza;
- Rimuovere le parti meccaniche, le quali comportano un consumo di energia di circa 7W e ciò agevolerebbe anche l'ottenimento della certificazione ATEX.
- Rivedere la progettazione analogica e utilizzare circuiti integrati a bassa potenza, ove possibile,

3) Certificazione ATEX

Dal 1° luglio 2003 si impone a tutti gli Stati dell'Unione Europea l'ottenimento della certificazione ATEX a tutti i prodotti commercializzati nell'Unione stessa, indipendentemente dal luogo di produzione e dalle normative in esso in vigore, se installati in luoghi a rischio di esplosione. Questa certificazione aggiunge ulteriori

vincoli sul potere e sulle dimensioni dei condensatori e degli induttori e l'utilizzo di custodie antideflagranti.

4) Tempi di risposta più brevi

Il sistema esistente, per compiere tutte le operazioni che costituiscono una misurazione, impiega approssimativamente 5 minuti, come specificato in Tabella 10.

Operazione	tempo impiegato [sec]
Reset della scheda Mbed e del motore passo-passo	15
Esecuzione letture nel range di riferimento	80 (per 80 steps)
Calcolo picchi gaussiani	8
Misura di riferimento	5
Esecuzione letture nel range dell'acqua	150 (per 150 steps)
Calcolo picchi gaussiani	8
Misura sull'acqua	10
Calcolo SS e COD	2
Totale	4 minuti e 38 secondi

Tabella 10 - Tempo impiegato in una misura da ogni singola operazione.

Al fine di ottenere tempi di risposta più brevi vengono proposte le seguenti alternative da parte dell'ente di ricerca WRc:

- **Modifiche del sistema esistente:**

Le operazioni più lunghe del ciclo di misurazione sono i periodi corrispondenti alle misure effettuate sull'acqua o di riferimento, dalla posizione iniziale a quella finale degli specchi. Riducendo il numero di passi per ogni misurazione, diminuisce anche il tempo di risposta dello strumento. Il conteggio dei passi relativi alla misura di riferimento può essere ridotto al minimo necessario per individuare in modo affidabile il picco gaussiano della lettura. Attualmente i passi effettuati per una misura di riferimento sono 80, ma potrebbero diventare 50, indagando sul sito specifico, sulla velocità con cui cambia il livello e in quale intervallo massimo.

Una possibilità è quella di utilizzare il precedente picco gaussiano come il centro della scansione e quindi ridurre al minimo l'intervallo passo a ± 30 passi da questo centro.

Nell'eventualità che questo picco non venga trovato nell'intervallo ridotto, viene azionata una lettura completa su tutto l'intervallo prima di tornare al centro della scansione precedente.

Un ulteriore risparmio di tempo potrebbe essere ottenuto riducendo la frequenza della misura di riferimento. Effettuando un test di stabilità relativamente alla misura di riferimento (Figura 32) è emersa una lenta deriva verso l'alto delle letture UV mentre la lettura IR è stabile, pertanto una lettura oraria di riferimento sarebbe sufficiente.

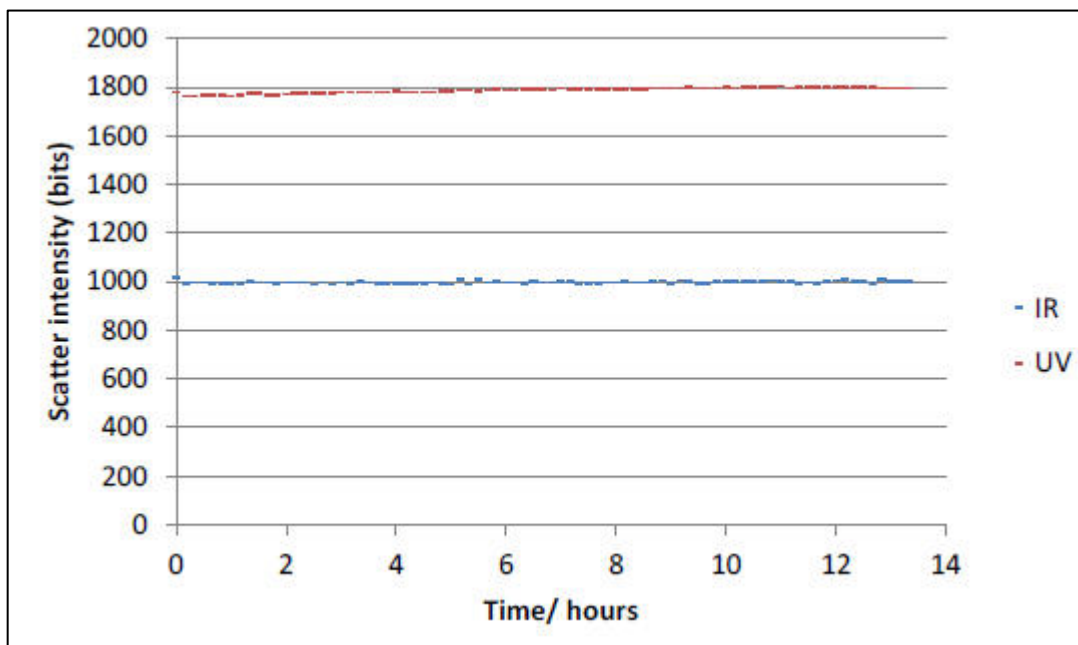


Figura 32 - Risultati del test di stabilità su 13 ore di funzionamento.

Ulteriore possibile intervento per ridurre i tempi di risposta dello strumento è rappresentato dall'uso diretto degli output delle letture. Per ogni misurazione, il software esistente esegue la lettura, calcola la posizione del picco e poi si sposta in tale posizione per fare una misura. Con qualche penalità in termini di precisione, si potrebbe utilizzare direttamente il valore di picco della curva gaussiana.

Oltre a quanto già menzionato, il sistema esistente potrebbe essere modificato, al fine di velocizzare le operazioni, usando il linguaggio di programmazione compilato “C”, molto più veloce di Python, scelto per la sua facilità di sviluppo.

- **Monitoraggio del livello con sensore separato**

Un'opzione più radicale per aumentare la velocità sarebbe di aggiungere un sensore di livello ad ultrasuoni che dovrebbe acquisire la misura, spostare lo specchio nella posizione corretta (solo se necessario) e fare una lettura. In questo modo gli specchi seguirebbero i cambiamenti di livello e la velocità della risposta sarebbe dettata dal tempo di risposta del sistema analogico.

- **Sistemazione ottica alternativa**

La velocità di risposta risulterebbe sensibilmente migliorata evitando parti in movimento. Le disposizioni mostrate in Figura 26 e in Figura 27 garantirebbero tempi di risposta molto più veloci rispetto al sistema costituito dagli specchi motorizzati.

Inoltre, durante gli incontri dei soggetti partecipanti al progetto S.I.Mon.A. con i tecnici della WRc Plc, si è parlato anche di un'ulteriore output che potrebbe essere fornito dal Loadmon. Si tratta della misura di torbidità del campione, esprimibile in NTU (Nephelometric Turbidity Units) o in FTU (Formazine Turbidity Units), importante parametro ausiliario ai fini del controllo della qualità del refluo, attraverso cui si determina la limpidezza dell'acqua, condizionata da particelle di diverse che si trovano in sospensione (colloidi). L'intensità della torbidità dell'acqua consente deduzioni dirette, utili ai gestori di un impianto, in riferimento all'efficienza della flocculazione, del filtraggio ed il controlavaggio dei filtri.

5. La sperimentazione di laboratorio

Il Loadmon è stato pensato, progettato e realizzato per poter essere installato su un canale reale di fognatura, con lo scopo di misurare il carico organico del refluo, pertanto è stato necessario effettuare una *conferma metrologica* dello strumento, intesa, secondo quanto stabilito nella norma ISO 10012:2004, come “l’insieme delle operazioni richieste per garantire che un’apparecchiatura per misurazione sia conforme ai requisiti per l’utilizzazione prevista”. Ciò mette in evidenza il fatto che una corretta conferma metrologica della strumentazione richiede di:

- definire i requisiti cui deve soddisfare un dispositivo per misurazione;
- definire le azioni messe in atto per verificare l’adeguatezza del dispositivo a tali requisiti.

Nell’ottica degli obiettivi specifici del progetto S.I.Mon.A., il Loadmon, per essere idoneo all’impiego previsto, deve poter essere in grado di rilevare, immediatamente, e segnalare, concentrazioni di COD e SS superiori alle soglie d’allarme.

Le azioni messe in atto per verificare che il dispositivo sia adeguato a soddisfare i requisiti richiesti sono le seguenti:

- Avvio del Loadmon per valutare la sua risposta e risoluzione delle problematiche connesse al suo funzionamento;
- Prove su soluzioni di silice e acido umico al fine di calibrare lo strumento, migliorandone l’accuratezza;

E’ importante specificare che, conoscendo il principio secondo cui lo strumento misura il carico inquinante, ossia attraverso la luce IR e UV diffusa dalle particelle, ci si aspetta che esso non sia in grado di indagare correttamente sostanze con composizione diversa ma contenenti la stessa quantità di carico organico, però in questa fase di conferma metrologica ci si propone di giungere semplicemente ad appurare che lo strumento, fermo restando la composizione della sostanza indagata, rilevi correttamente le variazioni di carico organico contenute in essa, per poi prevedere un allarme in caso di superamento del limite di tollerabilità prestabilito.

5.1 Interfaccia Loadmon Reader

Allo scopo di gestire e visualizzare i dati generati dal Loadmon durante il suo funzionamento è stata realizzata un'interfaccia grafica, il *Loadmon Reader*, sviluppata in VBA, che richiede Microsoft Excel 2010 32 bit, con funzionalità macro attivate e comprende 3 fogli di lavoro (Figure 33,34,35):

- **Loadmon Data**, in cui sono rappresentati i grafici di tutte le letture, le opzioni e il tasto di lettura dei dati.
- **Loadmon Chart**, in cui è possibile visualizzare i dettagli di ogni singola lettura;
- **Reader Setup**, in cui è possibile modificare alcuni parametri di funzionamento.

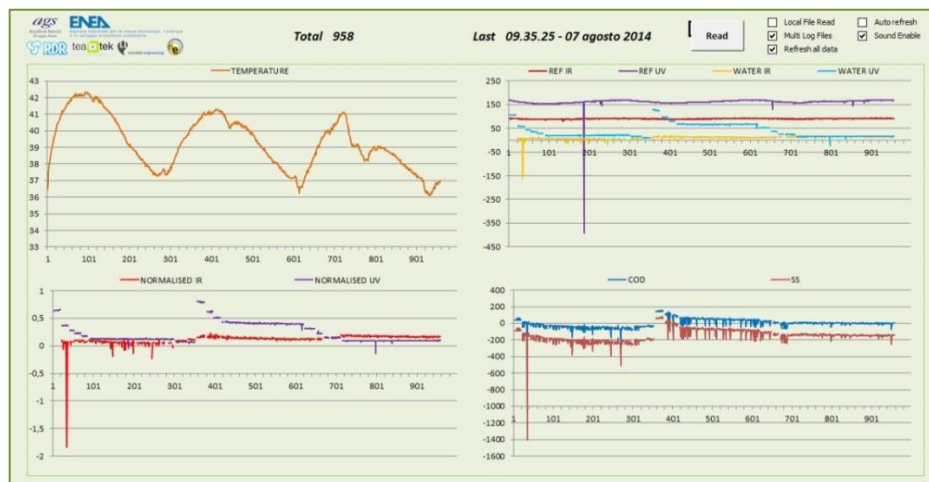


Figura 33 - Foglio "Loadmon data" del Loadmon Reader.

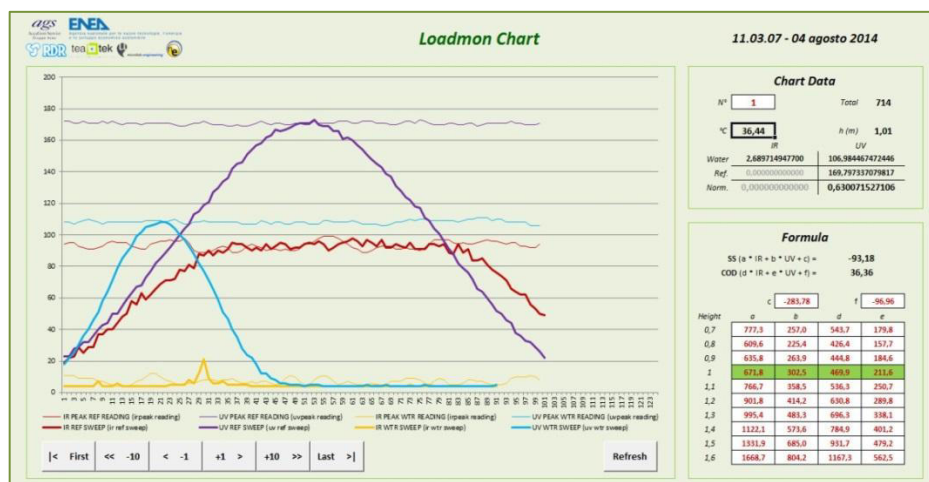


Figura 34 - Foglio "Loadmon Chart" del Loadmon Reader.

Reader Setup

Log File Setup

	Name	Ext	from n°	to n°	Enable
Multi Logs	log	.txt	30	40	VERO
Single Log	log_2014-06-17-15-29-08	.txt			

FTP Setup

FTPFile	FTPComm.txt	FTP Address	10.2.1.3
LM Log Dir	/loadmon/logs	User	ubuntu
Wait Secs	10	Password	temppwd

Refresh Setup

Local Read	VERO	Refresh all data	VERO	Sound Enable	VERO
Auto refresh	FALSO	Refresh Time	00:02:00		

Figura 35 - Foglio "Reader Setup" del Loadmon Reader.

In sostanza, l'interfaccia permette di eseguire le seguenti operazioni in modalità completamente automatica:

- Collegamento al server FTP del Loadmon;
- Download di uno o più file di log;
- Acquisizione ed elaborazione dei dati letti da uno o più file di log;
- Aggiornamento dei grafici;
- Eventuale ripetizione ciclica e temporizzata delle suddette operazioni.

5.2 Avvio del Loadmon

Il dispositivo è pervenuto presso l'officina della T.E.A. Tek in Pomigliano d'Arco (NA) nell'Aprile 2014 ed è stato avviato immediatamente, dopo averlo installato su un serbatoio, nella configurazione mostrata in Figura 36.



Figura 36 - Loadmon installato in officina T.E.A. Tek.

Inizialmente ne è stato accertato il funzionamento, testandolo in condizioni di assenza di campione, campione di acqua pura e inoltre con una miscela di acqua e terreno. Durante tali prove sono stati rilevati dei problemi ai quali si è cercata una soluzione di comune accordo tra i tecnici della WRc e gli esponenti del gruppo S.I.Mon.A:

- Differenza di voltaggio elettrico tra Italia e Regno Unito.

Il dispositivo realizzato dal gruppo WRc veniva alimentato a 110 V, mentre in Italia la tensione di alimentazione è compresa tra 220V e 240V, pertanto è stato necessario l'utilizzo di un trasformatore stabilizzato, con lo scopo di fornire in uscita una tensione alternata con valore diminuito, pari a 110V, rispetto a quella in entrata pari a 220V. Per la scelta del trasformatore occorre conoscere la potenza, cioè l'assorbimento del Loadmon, che è pari a 1 ampere.

- Interpretazione dei file di log.

Il Loadmon aggiornava costantemente ed in modo incrementale un unico file di log (Log.txt) con tutti i dati elaborati durante ogni singola misurazione (riferimento alla Figura 22 – sottoparagrafo 4.5.2). Da ciò è emersa la necessità di “sfolire” gli output per facilitarne la lettura e la successiva interpretazione. E’ stato realizzato un software che permette di scorporare questo file di log in file contenenti al massimo 200 misure.

- Mancato completamento del ciclo del Loadmon.

Come già descritto nel sotto paragrafo 4.5.4, il Loadmon effettua ciclicamente le misurazioni attraverso delle fasi senza la necessità di alcun comando da parte dell’utente.

Effettuando le prove ci si è resi conto del mancato completamento di tale ciclo, in quanto il dispositivo, misurando passo-passo, non rilevava il valore picco nelle misure e pertanto si arrestava alla fase n° 8. In tal senso S.I.Mon.A. ha cambiato il valore REFLOWER (Tabella 9 – sottoparagrafo 4.5.3) da 1775 a 1690 nelle impostazioni del Loadmon. Tale provvedimento ha permesso al Loadmon di compiere interamente il ciclo e restituire la curva gaussiana utile alle successive misure (Figura 37).

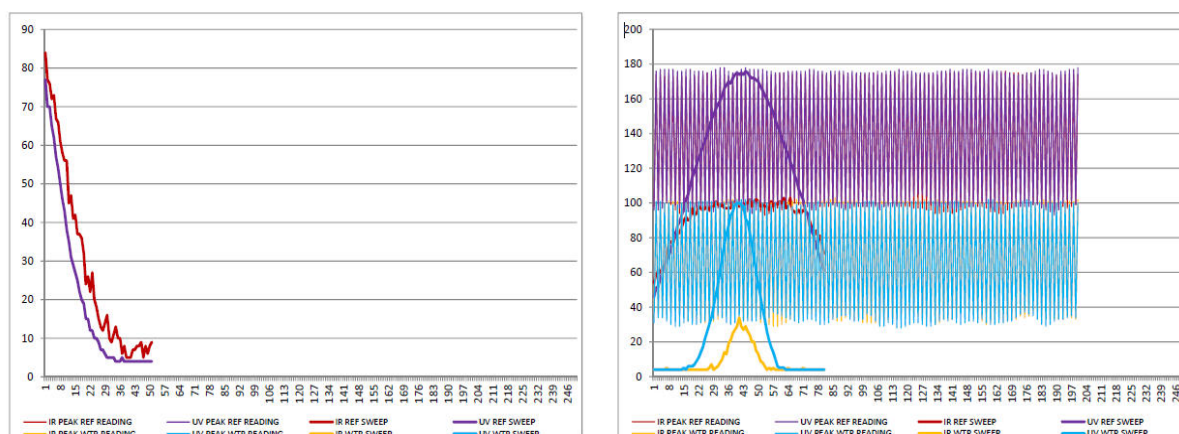


Figura 37 – Grafici ottenuti prima (foto a sx) e dopo (foto a dx) la modifica delle impostazioni.

Dopo aver risolto le problematiche suddette si è proceduto ad effettuare prove su campioni contenenti latte, su campioni di formazina ($C_2H_4N_2$) con torbidità pari a 20 FTU e, inoltre, su refluo reale fornito dal laboratorio di AGS, proveniente da un impianto di depurazione gestito dalla GORI.

Sono state confrontate le misure ottenute attraverso l'uso del prototipo con quelle di laboratorio e in base a ciò è stata modificata la formulazione da cui si ottiene la misura del COD e dei solidi sospesi, per rendere quanto più simili tra loro i risultati. In particolare sono stati modificati i parametri "c" e "f" delle equazioni matematiche che restituiscono i valori di SS e COD inserendo valori IR e UV normalizzati (riferimento alla Figura 24 – sottoparagrafo 4.5.2).

In particolare, il valore del parametro c in origine era pari a - 593, 4, per poi essere rivalutato, durante questa prima fase di sperimentazione, e assumere valori di - 283,78. Analogamente, il parametro f, è passato dall'assumere valore di 15,3 a -96,96.

I test sul latte nascono dall'esigenza di verificare il funzionamento del prototipo in condizioni quanto più vicine al contesto in cui andrà inserito, ossia in un sito in cui c'è forte presenza di industria lattiero casearia, e inoltre attraverso il latte, essendo un liquido di colore bianco, è possibile verificarne il funzionamento in presenza di eventuale formazione di schiuma all'interno dei reflui urbani, infine rappresenta una soluzione più economica rispetto alla formazina. Per le prove in officina è stato usato latte fresco intero normalmente commercializzato.

Dai grafici ottenuti analizzando il campione di acqua e latte, si evince che la prova non ha dato buoni risultati, in quanto avviene una saturazione del sensore, causata dalla totale riflessione delle radiazioni dovuta proprio alla superficie di colore bianco, come mostra la Figura 38.

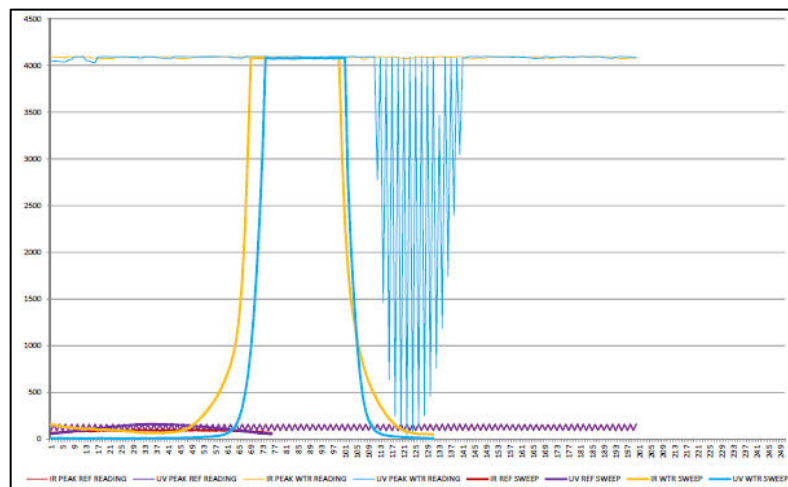


Figura 38 – Output riferiti ad una superficie bianca.

Provando a diminuire il guadagno analogico e, successivamente, riducendo la potenza UV del 50%, è stato possibile ottenere dati validi in uscita dallo strumento, confrontabili con quelli derivanti dalle analisi in laboratorio, riportati in Tabella 11 e nelle Figure 39 e 40, al variare della torbidità del campione contenente la soluzione di acqua e latte.

NTU	IR peak	UV peak	COD [mg/L]
1000	534	1797	3624
500	278	1340	1812
250	176	887	906
125	122	556	456
62,5	57	323	266
31,25	36	188	124

Tabella 11 - Confronto risultati ottenuti dal Loadmon e risultati di laboratorio, su campioni contenenti latte con diversa torbidità.

Dal punto di vista pratico si è cominciato preparando una soluzione costituita da 200 ml di latte in 10 litri di acqua (1000 NTU), con battente pari a 8 cm, distanza tra superficie del campione e strumento pari a 1 metro, e si è proceduto aggiungendo acqua in quantità tale da ottenere di volta in volta una diluizione del 50% della soluzione.

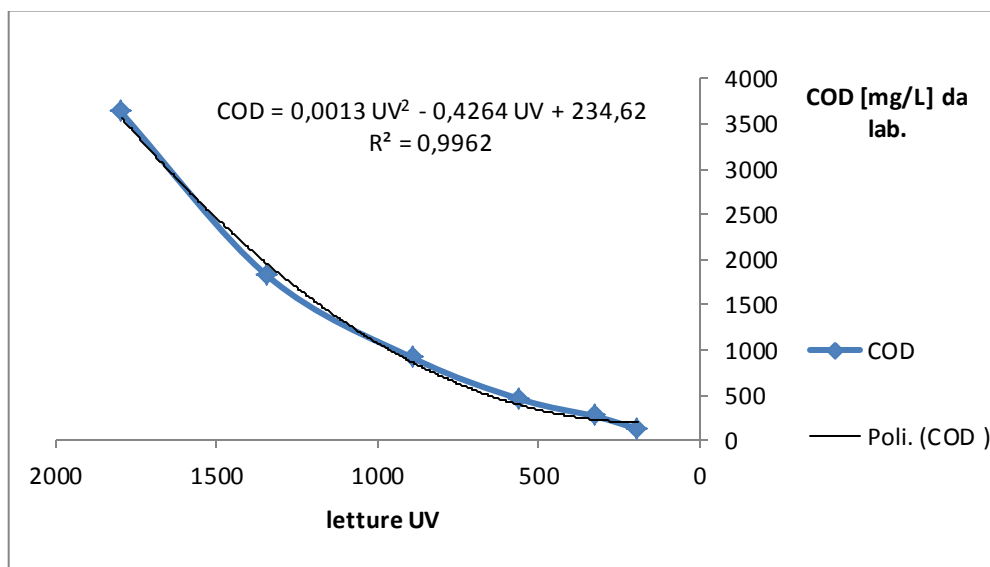


Figura 39 - Relazione tra COD ottenuto in laboratorio e letture UV dello strumento, su campioni di latte testati al decrescere della torbidità.

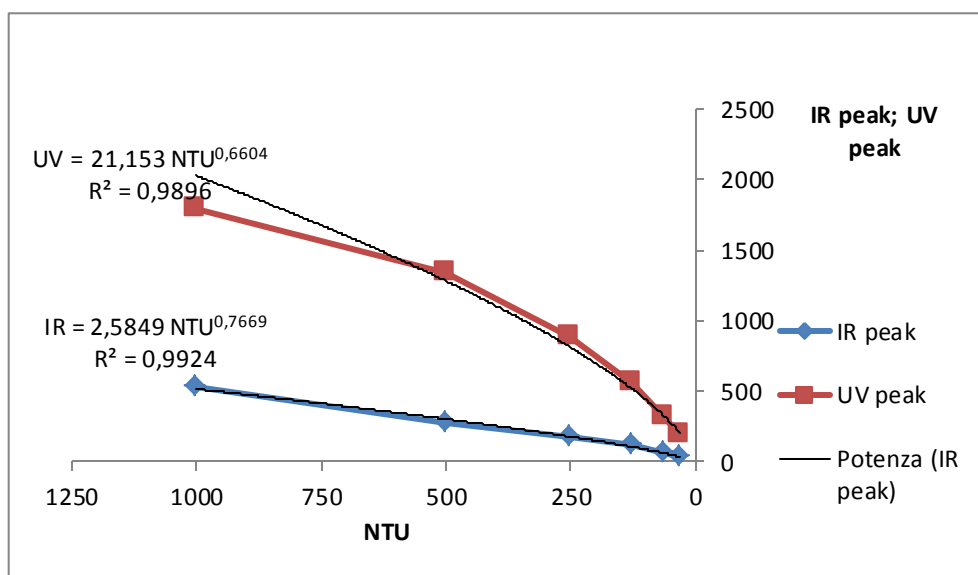


Figura 40 - Andamento delle letture UV e IR del Loadmon al decrescere della torbidità dei campioni di latte.

I grafici ottenuti denotano come le radiazioni IR e UV, diffuse e rilevate dai sensori ottici, rispondono alle diluizioni dei campioni di prova. Tuttavia non è stato possibile confrontare gli output del Loadmon, in termini di solidi sospesi o COD, con i risultati delle analisi di laboratorio, in quanto le tabelle di ricerca non sono state ancora completate da parte della WRc, e quindi inserite nel software del Loadmon. Le letture di

SS e COD possono, comunque, essere efficaci nel rilevare un cambiamento di carico, nella condizione in cui ci sia uno scarico illegale significativo.

La maggior parte dei materiali usati per testare la risposta del Loadmon si sono rivelati non sufficientemente stabili per la sperimentazione e la successiva calibrazione dello strumento, per esempio i campioni di refluo, dopo 3 giorni, hanno generato segnali deboli di luce diffusa, pertanto è stato deciso, di comune accordo con i tecnici della WRc, di effettuare delle prove usando soluzioni di silice e acido unico, preparate secondo le istruzioni dettate dallo stesso gruppo della WRc.

5.3 Configurazione del Software

Prima di testare la risposta del dispositivo, usando silice e acido unico, è stato necessario aggiornare il file di configurazione del Loadmon, in accordo con i tecnici della WRc, cambiando alcuni parametri pre-impostati, come mostrato in Tabella 12.

Inoltre, ad ogni accensione dello strumento, si è dovuto aggiornare la data e l'ora di sistema, in quanto, non disponendo di una batteria tampone per l'RTC (real-time clock), ciò comporta la cancellazione della data e dell'ora ad ogni spegnimento. Per aggiornare data e ora nel sistema, bisogna cercare il file *datetimeconf.py*, presente nella cartella principale del software del Loadmon, aprirlo con un Editor di testo e impostare la data e l'ora nell'unica variabile presente nel file (Figura 41). Al termine della modifica è necessario spegnere e riaccendere il Loadmon.

Infine, è stato possibile modificare il numero progressivo con cui il Loadmon nomina i file di log delle letture, cercando il file *sequence*, presente nella cartella principale del software del Loadmon e aprendolo con un Editor di testo per poi cambiare l'unico valore presente, il numero progressivo del successivo file di log.

Parametro d'impostazione	Valore	Descrizione
WTRUVPEAKN	100	Numero misure UV eseguite in corrispondenza del picco registrato sull'acqua
REFIRPEAKN	100	Numero misure IR eseguite in corrispondenza del picco registrato per il riferimento
RUNONSTARTUP	1	Esistono 2 opzioni per il funzionamento: 0 (manuale) e (1) automatico
IRFREQ	1	Impostato a 1 e non usato
WTRUVPEAKF	50	Frequenza misurazioni UV eseguite in corrispondenza del picco registrato sull'acqua (ossia 50Hz)
REFUPPER ⁽²⁾	1800	Numero del passo della misura che rappresenta il limite superiore della curva ottenuta per il riferimento
WTRUVPWR	100	Intensità del laser UV che esegue una misura sull' acqua (100%)
REFIRPWR	100	Intensità del laser a infrarossi che esegue una misura di riferimento (100%)
WTRIRPEAKF	50	Frequenza misurazioni IR eseguite in corrispondenza del picco registrato sull'acqua (ossia 50Hz)
WTRIRGAIN	1	Guadagno del laser a infrarossi che esegue una misura sull'acqua
WTRIRPEAKN	100	Numero misure IR eseguite in corrispondenza del picco registrato sull'acqua
REFLOWER	1690	Numero del passo della misura che rappresenta il limite inferiore della curva ottenuta per il riferimento
WTRUPPER ⁽²⁾	250	Numero del passo della misura che rappresenta il limite superiore della curva ottenuta sull'acqua
REFUVPEAKN	100	Numero misure UV eseguite in corrispondenza del picco registrato per il riferimento
REFUVPEAKF	50	Frequenza misurazioni UV eseguite in corrispondenza del picco registrato per il riferimento (ossia 50Hz)
REFUVPWR	100	Intensità del laser UV che esegue una misura di riferimento (100%)
MEASINTERVAL	20	Intervallo di misurazione - tempo che intercorre tra le misure
WTRLOWER ⁽²⁾	140	Numero del passo della misura che rappresenta il limite inferiore della curva ottenuta sull'acqua
REFIRPEAKF	50	Frequenza misurazioni IR eseguite in corrispondenza del picco registrato per il riferimento (ossia 50Hz)
UVFREQ	1	Impostato a 1 e non usato
WTRIRPWR	100	Intensità del laser a infrarossi che esegue una misura sull'acqua (100%)
REFIRGAIN	1	Guadagno del laser a infrarossi che esegue una misura di riferimento
REFUVGAIN	1	Guadagno del laser UV che esegue una misura di riferimento
WTRUVGAIN	1	Guadagno del laser UV che esegue una misura sull' acqua
MEASURETIME ⁽³⁾	2	Usato dal Software
MEASURECOUNRESET ⁽³⁾	200	Numero di letture contenute in un file di log

Tabella 12 - Parametri di impostazione

⁽²⁾ Parametri modificati;

⁽³⁾ Nuovi parametri aggiunti, non presenti nella versione precedente del file di configurazione.

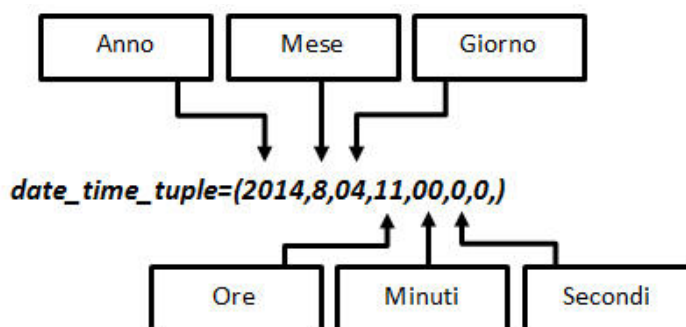


Figura 41 - Impostazione di ora e data di sistema.

5.4 Test su soluzioni di silice e acido umico

Come stabilito dopo aver riscontrato l'instabilità dei materiali usati durante l'avvio del Loadmon, è stata eseguita, presso l'officina della T.E.A.Tek in Pomigliano d'Arco (NA), una serie definita di letture su soluzioni note, per poter valutare i risultati del prototipo Loadmon, compararli con gli esiti del laboratorio e calibrare di conseguenza lo strumento, migliorandone l'accuratezza. I dati sperimentali sono utili anche per permettere alla WRc di completare la tabella di ricerca da poter utilizzare come riferimento per le future letture su reflui.

5.4.1 Materiali e metodi utilizzati

Le soluzioni utilizzate nei Test sono composte da acqua deionizzata, Silice ed Acido Umico. I componenti sono stati forniti dalla WRc Plc e sono mostrati in Figura 42.



Figura 42 - Materiali usati per le soluzioni di prova.

Di seguito si riportano le informazioni dettagliate sui materiali usati e sulla procedura seguita per la preparazione delle soluzioni.

	Materiali usati	Dettagli per la preparazione
Silice	ISO 12103-1 ARIZONA TEST DUST CONTAMINANTS, A2 FINE GRADES. Fornito dalla Power Technology Inc (PTI).	La soluzione di Silice deve avere una concentrazione pari a 40 g/l, ottenuta mettendo 40 g di polvere in un contenitore da 1 l e poi riempirlo con 1 l di acqua deionizzata. La polvere si deposita velocemente, quindi è necessario agitare e mescolare la soluzione prima di ogni uso.
Acido Umico	- Acid, Sodium Salt (Tech.), 50-60% (as Humic Acid), ACROS Organics™; - Sodium hydroxide pellets AnalAR NORMAPUR analytical reagent R.PE/ACS.	La soluzione di Acido Umico deve avere una concentrazione pari a 10 g/l, in 0,1 % NaOH. Per preparare la soluzione, mettere 0,5 l di acqua deionizzata in un contenitore da 1 l, aggiungere 1 g di Idrossido di Sodio e mescolare fino a quando si è sciolto completamente. Aggiungere poi 10 g di Acido Umico e riempire il contenitore da 1 l con acqua deionizzata. Agitare e mescolare per bene. Questa soluzione è più stabile rispetto a quella con la Silice ma, in ogni caso, è necessario agitare e mescolare prima dell'uso.

Tabella 13 - Informazioni sui materiali e le procedure usate per le soluzioni.

Per le misure oggetto della presente sperimentazione è stata utilizzata una vasca di dimensioni minori rispetto a quella impiegata per valutare la risposta dello strumento sul latte, sul refluo reale e sulla formazina. In Figura 43 è mostrata la vasca di dimensioni ridotte, pari 300x300x1000mm. Riempendola con 30 litri di soluzione (battente di 10 cm), la distanza del Loadmon dalla superficie risulta pari a 90 cm.



Figura 43 - Vasca usata nei test.

Per simulare un flusso continuo e mantenere in agitazione le soluzioni, è stata installata una pompa, mostrata in Figura 45, scelta tra la gamma Lowara, in particolare il modello Ecocirc 15-6/130.

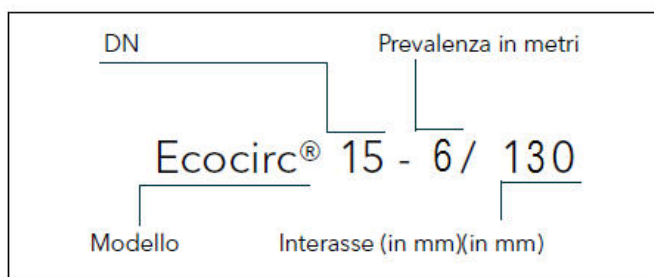


Figura 44 - Modello pompa.

La pompa scelta ha una portata massima di 3,2 m³/h e un regolatore di velocità, il quale permette due modalità di funzionamento:

- Controllo continuo a velocità costante, indicato dal LED bianco;
- Pressione differenziale in automatico, indicato dal LED blu.

Durante i test è stato utilizzato il solo controllo continuo a velocità costante, segnalato dall'accensione del LED bianco.



Figura 45 - Pompa con regolatore di velocità.

Di seguito si riporta la Curva di Prestazione della pompa utilizzata.

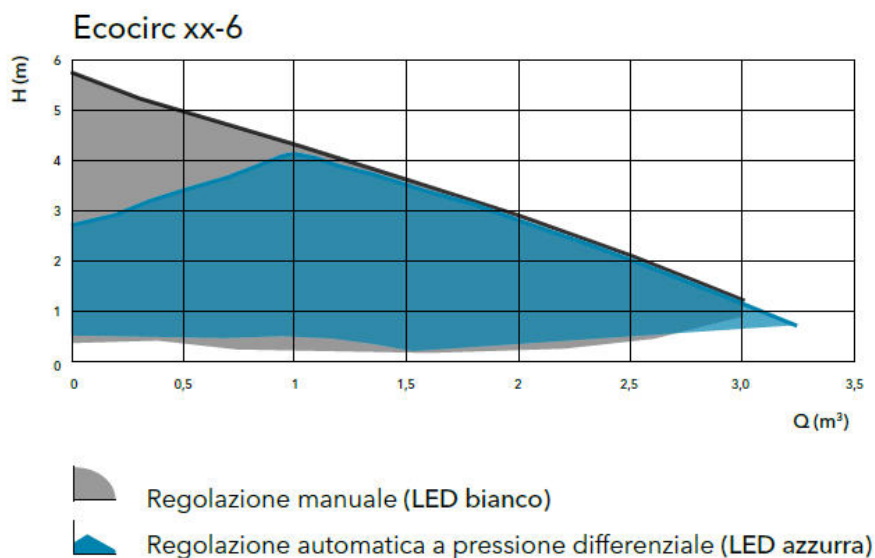


Figura 46 - Curva di Prestazione.

I test consistono nell'analisi di 6 differenti concentrazioni di Silice e 8 differenti concentrazioni di Acido Umico, per un totale di 48 concentrazioni combinate come riportato nella Tabella 14.

Concentrazioni in mg/l

<u>Acido Umico</u> Silice	1	0 50	2	1 50	3	2 50	4	3 50	5	5 50	6	10 50	7	20 50	8	50 50
<u>Acido Umico</u> Silice	9	0 100	10	1 100	11	2 100	12	3 100	13	5 100	14	10 100	15	20 100	16	50 100
<u>Acido Umico</u> Silice	17	0 250	18	1 250	19	2 250	20	3 250	21	5 250	22	10 250	23	20 250	24	50 250
<u>Acido Umico</u> Silice	25	0 500	26	1 500	27	2 500	28	3 500	29	5 500	30	10 500	31	20 500	32	50 500
<u>Acido Umico</u> Silice	33	0 750	34	1 750	35	2 750	36	3 750	37	5 750	38	10 750	39	20 750	40	50 750
<u>Acido Umico</u> Silice	41	0 1000	42	1 1000	43	2 1000	44	3 1000	45	5 1000	46	10 1000	47	20 1000	48	50 1000

Tabella 14 - Concentrazioni utilizzate nei test.

In ognuna delle 6 soluzioni di Silice è stata aggiunta, di volta in volta, la giusta quantità di Acido Umico per ottenere la concentrazione desiderata.

Silice	1	50															
			+1	+1	+1	+2	+5	+10	+30								
Acido Umico	9	0	1	2	3	5	10	20	50								
Silice		100	10	11	12	13	14	15	16								
Silice	17	250															

Tabella 15 - Variazione di acido umico a concentrazione costante di silice.

5.4.2 Avvio dei test preliminari

Inizialmente sono state eseguite le misure solo su una parte delle concentrazioni, sia per iniziare la raccolta dati, sia per verificare il corretto funzionamento della piattaforma di test.

Ad ogni variazione di concentrazione della soluzione, è stata aumentata la velocità di funzionamento della pompa per permettere una mescolazione più efficace. La durata dell'agitazione è di circa 10 minuti ogni volta, in alcuni casi l'agitazione è stata prolungata per effettuare delle prove di lettura su un flusso più rapido e turbolento.

Per ogni concentrazione sono state eseguite almeno 10 letture consecutive.

Le concentrazioni utilizzate in questa fase preliminare sono evidenziate in Tabella 16, insieme agli indici di riferimento delle letture relative ad ogni concentrazione, presenti nei file di log creati dal Loadmon e nominati dal software come: log_30, log_31, log_32, log_33, log_34, mentre in Tabella 17 sono specificate tutte le letture effettuate dallo strumento.

		<i>Acido Umico in mg/l</i>															
		<i>0</i>		<i>1</i>		<i>2</i>		<i>3</i>		<i>5</i>		<i>10</i>		<i>20</i>		<i>50</i>	
<i>Silice in mg/l</i>	50	1	Da 9 a 20	2	Da 24 a 38	3	Da 42 a 52	4	Da 57 a 69	5	Da 74 a 84	6	Da 89 a 299	7	Da 307 a 329	8	Da 336 a 352
	100	9		10		11		12		13		14		15		16	
	250	17	Da 361 a 375	18	Da 381 a 395	19	Da 399 a 413	20	Da 418 a 619	21	Da 623 a 649	22	Da 653 a 667	23	Da 691 a 711	24	Da 717 a 958
	500	25		26		27		28		29		30		31		32	
	750	33		34		35		36		37		38		39		40	
	1000	41		42		43		44		45		46		47		48	

Tabella 16 - Concentrazioni usate nei test preliminari e riferimenti alle letture.

<i>Letture</i>	<i>Attività</i>	<i>Velocità Pompa</i>
9-20	Letture Concentrazione 1	1
21-23	Agitazione Soluzione	7
24-38	Letture Concentrazione 2	1
39-41	Agitazione Soluzione	7
42-52	Letture Concentrazione 3	1
53-56	Agitazione Soluzione	7
57-69	Letture Concentrazione 4	1
70-73	Agitazione Soluzione	7
74-84	Letture Concentrazione 5	1
85-88	Agitazione Soluzione	7
89-299	Letture Concentrazione 6	1
300-306	Agitazione Soluzione	7
307-329	Letture Concentrazione 7	1
330-335	Agitazione Soluzione	7
336-352	Letture Concentrazione 8	1
353-360	Preparazione ed Agitazione Soluzione	7
361-375	Letture Concentrazione 17	1
376-380	Agitazione Soluzione	7
381-395	Letture Concentrazione 18	1
396-398	Agitazione Soluzione	7
399-413	Letture Concentrazione 19	1
414-417	Agitazione Soluzione	7
418-619	Letture Concentrazione 20	1
620-622	Agitazione Soluzione	7
623-649	Letture Concentrazione 21	1
650-652	Agitazione Soluzione	7
653-667	Letture Concentrazione 22	1
668-690	Agitazione Soluzione	7
691-711	Letture Concentrazione 23	1
712-716	Agitazione Soluzione	7
717-958	Letture Concentrazione 24	1

Tabella 17 – Attività riferite alle letture Preliminari.

I dati di output dello strumento, graficizzati mediante il Loadmon Reader, vengono mostrati in Figura 47. Essi, come già specificato nelle precedenti pagine, contengono i valori della temperatura misurata all'interno dello strumento, i valori di IR e UV normalizzati, le letture di riferimento e i valori di SS e COD ottenuti dalle equazioni matematiche specificate in Figura 24 (sottoparagrafo 4.5.2).

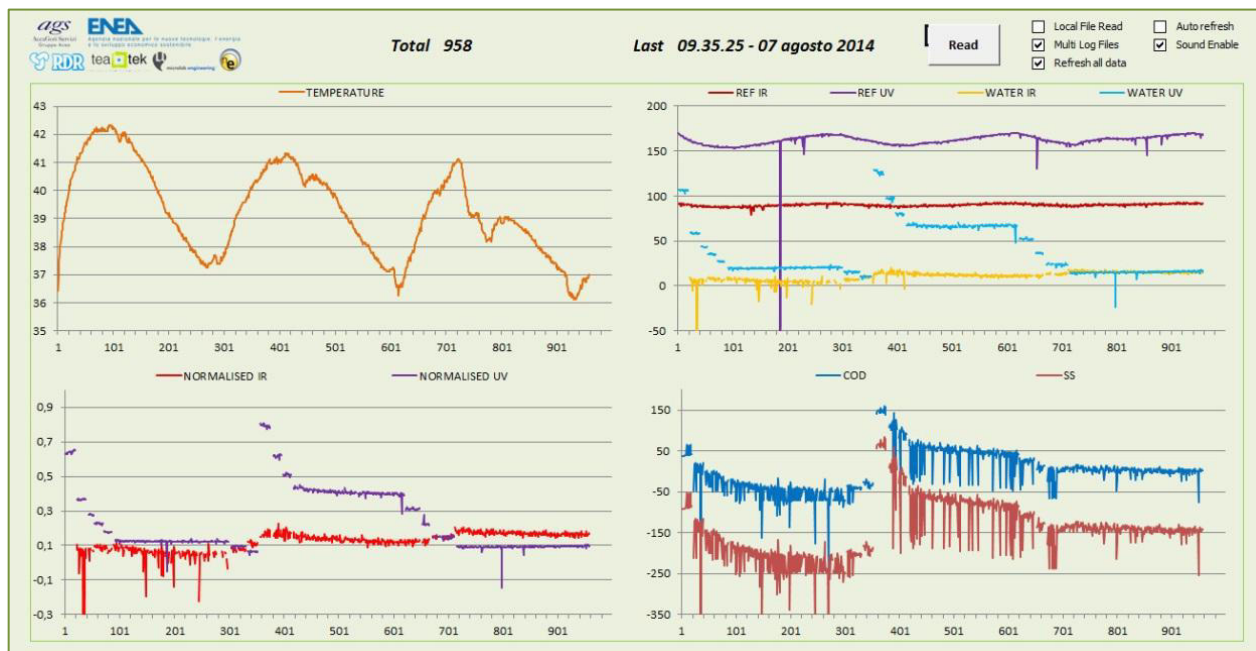


Figura 47 - Grafici delle letture preliminari.

Tutto il campionamento dei dati è durato 70,5 ore, per un totale di 958 letture e una durata media di ogni lettura pari a circa 4'25".

5.4.3 Osservazioni

Il Loadmon non è mai stato spento durante tutto il periodo di campionamento preliminare e ciò ha permesso di evidenziare alcuni aspetti altrimenti difficili da scorgere e provare il funzionamento del sistema per lunghi periodi.

- Note sulla temperatura.

Osservando i segnali di TEMPERATURE e REF_UV, è possibile notare quanto i valori di REF_UV risentano della temperatura all'interno del Loadmon (Figura 48). Tale raffronto è ancora più immediato se si invertono i valori di REF_UV (Figura 49). È possibile fare la stessa considerazione in merito ai valori di REF_IR (Figura 50).

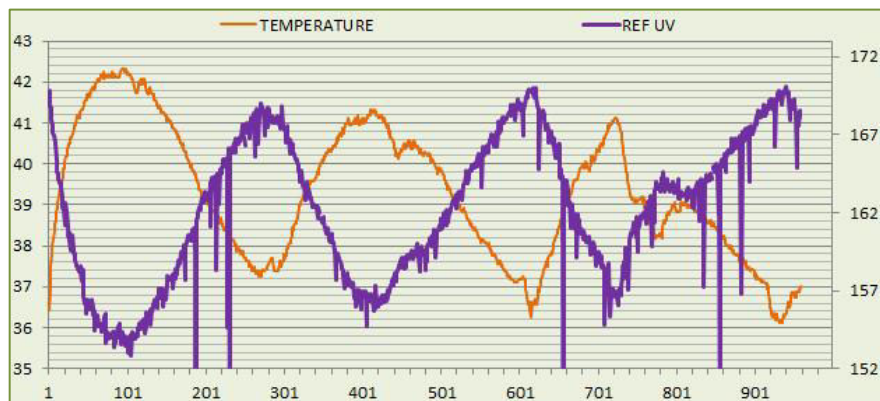


Figura 48 - Sovrapposizione dei grafici di Temperatura e di Riferimento UV.

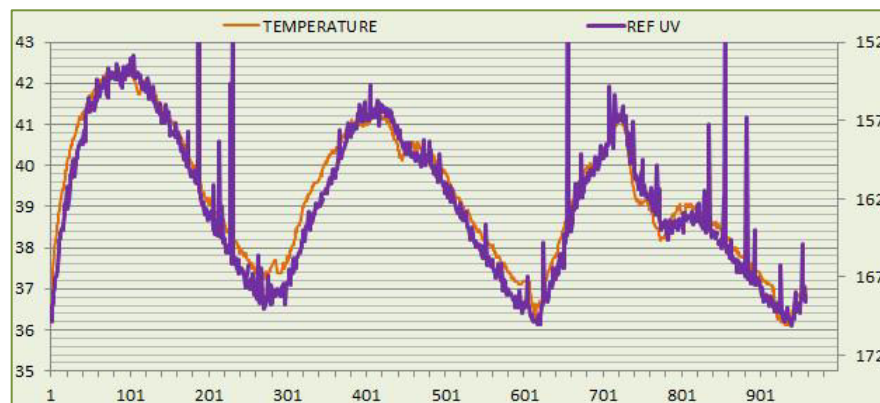


Figura 49 - Sovrapposizione dei grafici di Temperatura e di Riferimento UV invertito.

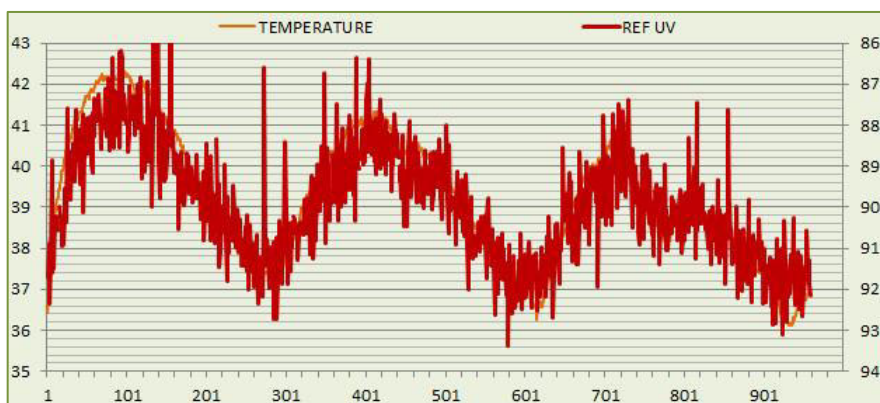


Figura 50 - Sovrapposizione dei grafici di Temperatura e di Riferimento IR invertito.

Con REF_UV e REF_IR si indicano i valori ottenuti dalle letture dei riferimenti con i rispettivi sensori, l'alterazione del segnale in funzione della temperatura potrebbe quindi dipendere sia dagli emettitori, sia dai sensori.

- Note sul flusso.

Variando la velocità della pompa è stato possibile, sia agitare le soluzioni, sia verificare il funzionamento del Loadmon con flussi più rapidi e si è osservato che, operando alla massima velocità, la superficie irregolare del flusso (Figura 51) ha generato un numero consistente di letture non valide (Figura 52).



Figura 51 - Superficie del campione quando la pompa è impostata alla massima velocità.

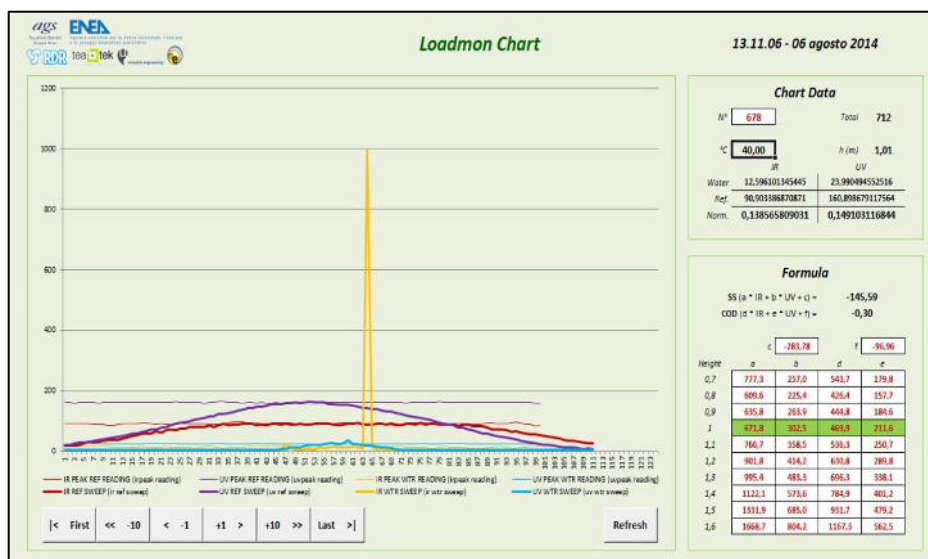


Figura 52 - Grafico di una lettura effettuata su superficie irregolare.

È evidente che, con un flusso più rapido, la luce riflessa dalla superficie altera i risultati della lettura.

- Note sull'altezza.

Il Loadmon calcola automaticamente la distanza dalla superficie in funzione dell'inclinazione degli specchi.

Per tutta la durata del campionamento preliminare, l'altezza, o distanza dalla superficie, è stata uguale a 90 cm.

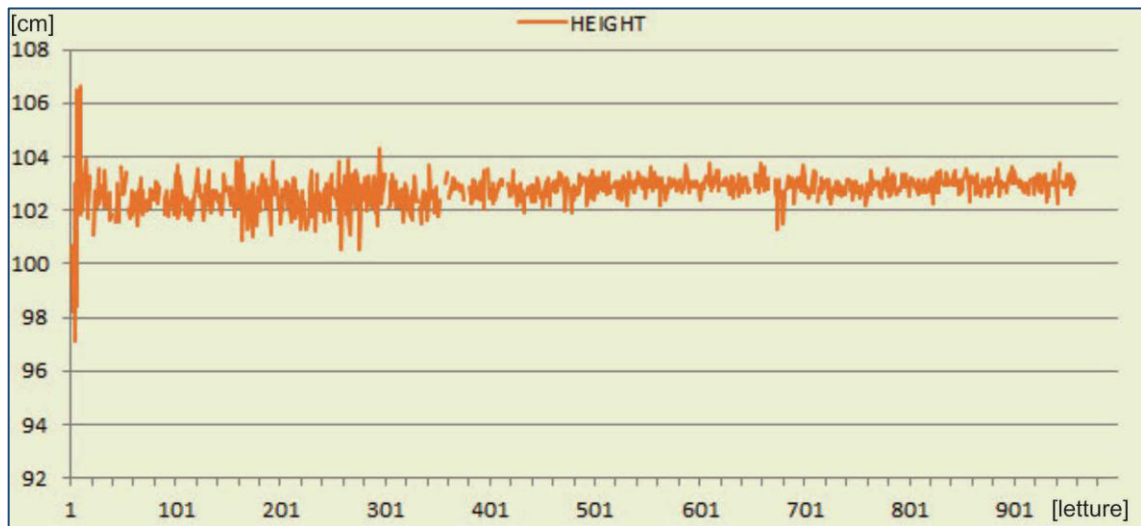


Figura 53 - Grafico relativo alle misure di distanza dal campione.

Il Loadmon ha restituito valori costanti nel tempo ma con un errore di circa il 14%.

5.4.4 Test per la raccolta dati

Dopo aver effettuato i Test Preliminari si è proceduto effettuando prove su tutte le 48 concentrazioni combinate riportate in Tabella 14 (sottoparagrafo 5.4.1).

Come per i Test preliminari, sono state eseguite almeno 10 letture consecutive per ogni concentrazione e ad ogni variazione della concentrazione della soluzione è stato consentita un'efficace agitazione aumentando la velocità della pompa per una durata di almeno 10 minuti.

Nella Tabella 16 sono riportati gli indici di riferimento delle letture relative alle singole concentrazioni, presenti nei file di log creati dal Loadmon e nominati dal software come log_100 -...- log_120.

Il campionamento ha avuto una durata di 262,82 ore, per un totale di 3533 letture con durata media pari a 4' 27".

		<i>Acido Umico in mg/l</i>							
		<i>0</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>5</i>	<i>10</i>	<i>20</i>	<i>50</i>
<i>Silice in mg/l</i>	50	1 Da 5 a 15	2 Da 20 a 30	3 Da 34 a 44	4 Da 48 a 56	5 Da 61 a 71	6 Da 77 a 309	7 Da 314 a 324	8 Da 329 a 339
	100	9 Da 343 a 355	10 Da 359 a 374	11 Da 380 a 390	12 Da 396 a 406	13 Da 410 a 1283	14 Da 1289 a 1300	15 Da 1305 a 1315	16 Da 1322 a 1335
	250	17 Da 1339 a 1351	18 Da 1356 a 1366	19 Da 1371 a 1381	20 Da 1387 a 1608	21 Da 1612 a 1623	22 Da 1628 a 1639	23 Da 1645 a 1656	24 Da 1662 a 1682
	500	25 Da 1689 a 1702	26 Da 1708 a 1924	27 Da 1929 a 1940	28 Da 1945 a 1955	29 Da 1959 a 1969	30 Da 1974 a 1985	31 Da 1990 a 2001	32 Da 2007 a 2017
	750	33 Da 2022 a 2032	34 Da 2037 a 2251	35 Da 2256 a 2267	36 Da 2273 a 2284	37 Da 2289 a 2298	38 Da 2303 a 2315	39 Da 2320 a 2330	40 Da 2335 a 2347
	1000	41 Da 2352 a 2569	42 Da 2575 a 2586	43 Da 2592 a 2602	44 Da 2607 a 2621	45 Da 2627 a 2638	46 Da 2643 a 2656	47 Da 2664 a 2674	48 Da 2681 a 3535

Tabella 18 – Letture riferite alle singole concentrazioni.

Nella Tabella 19 vengono riportate le letture effettuate e le corrispondenti attività alle quali si riferiscono.

<i>Letture</i>	<i>Attività</i>
2-4	Preparazione Soluzione
5-15	Letture Concentrazione 1
17-19	Agitazione Soluzione
20-30	Letture Concentrazione 2
32-33	Agitazione Soluzione
34-44	Letture Concentrazione 3
45-47	Agitazione Soluzione
48-56	Letture Concentrazione 4
58-60	Agitazione Soluzione

61- 71	Lecture Concentrazione 5
74-76	Agitazione Soluzione
77-309	Lecture Concentrazione 6
311-313	Agitazione Soluzione
314-324	Lecture Concentrazione 7
326-328	Agitazione Soluzione
329-339	Lecture Concentrazione 8
340-342	Preparazione Soluzione
343-355	Lecture Concentrazione 9
356-358	Agitazione Soluzione
359-374	Lecture Concentrazione 10
376-379	Agitazione Soluzione
380-390	Lecture Concentrazione 11
392-395	Agitazione Soluzione
396-406	Lecture Concentrazione 12
407-409	Agitazione Soluzione
410-1283	Lecture Concentrazione 13
1286-1288	Agitazione Soluzione
1289-1300	Lecture Concentrazione 14
1302-1304	Agitazione Soluzione
1305-1315	Lecture Concentrazione 15
1318-1321	Agitazione Soluzione
1322-1335	Lecture Concentrazione 16
1336-1338	Preparazione Soluzione
1339-1351	Lecture Concentrazione 17
1353-1355	Agitazione Soluzione
1356-1366	Lecture Concentrazione 18
1368-1370	Agitazione Soluzione
1371-1381	Lecture Concentrazione 19
1384-1386	Agitazione Soluzione
1387-1608	Lecture Concentrazione 20
1609-1611	Agitazione Soluzione
1612-1623	Lecture Concentrazione 21
1625-1627	Agitazione Soluzione
1628-1639	Lecture Concentrazione 22
1641-1644	Agitazione Soluzione
1645-1656	Lecture Concentrazione 23
1658-1661	Agitazione Soluzione
1662-1682	Lecture Concentrazione 24
1683-1688	Preparazione Soluzione
1689-1702	Lecture Concentrazione 25
1704-1707	Agitazione Soluzione
1708-1924	Lecture Concentrazione 26
1926-1928	Agitazione Soluzione
1929-1940	Lecture Concentrazione 27
1942-1944	Agitazione Soluzione
1945-1955	Lecture Concentrazione 28
1957-1958	Agitazione Soluzione
1959-1969	Lecture Concentrazione 29
1971-1973	Agitazione Soluzione

1974-1985	Lettture Concentrazione 30
1987-1989	Agitazione Soluzione
1990-2001	Lettture Concentrazione 31
2003-2006	Agitazione Soluzione
2007-2017	Lettture Concentrazione 32
2018-2021	Preparazione Soluzione
2022-2032	Lettture Concentrazione 33
2034-2036	Agitazione Soluzione
2037-2251	Lettture Concentrazione 34
2253-2255	Agitazione Soluzione
2256-2267	Lettture Concentrazione 35
2269-2272	Agitazione Soluzione
2273-2284	Lettture Concentrazione 36
2286-2288	Agitazione Soluzione
2289-2298	Lettture Concentrazione 37
2300-2302	Agitazione Soluzione
2303-2315	Lettture Concentrazione 38
2317-2319	Agitazione Soluzione
2320-2330	Lettture Concentrazione 39
2332-2334	Agitazione Soluzione
2335-2347	Lettture Concentrazione 40
2349-2351	Preparazione Soluzione
2352-2569	Lettture Concentrazione 41
2571-2574	Agitazione Soluzione
2575-2586	Lettture Concentrazione 42
2588-2591	Agitazione Soluzione
2592-2602	Lettture Concentrazione 43
2605-2606	Agitazione Soluzione
2607-2621	Lettture Concentrazione 44
2624-2626	Agitazione Soluzione
2627-2638	Lettture Concentrazione 45
2640-2642	Agitazione Soluzione
2643-2656	Lettture Concentrazione 46
2659-2663	Agitazione Soluzione
2664-2674	Lettture Concentrazione 47
2676-2680	Agitazione Soluzione
2681-3535	Lettture Concentrazione 48

Tabella 19 - Attività riferite ad ogni singola lettura.

Visualizzando, attraverso il Loadmon Reader, i grafici di ogni singola lettura è possibile notare che, durante i test effettuati con la concentrazione di silice pari a 100 mg/L, le misurazioni degli IR sull'acqua non sono state rilevate, pertanto non è stata adattata la curva di lettura (Figura 54) e di conseguenza non è stato possibile rilevare il picco IR.

Ciò potrebbe essere dovuto all'assenza di particelle presenti nell'acqua, dato tenuto conto che i sensori ricevono la luce riflessa da esse.

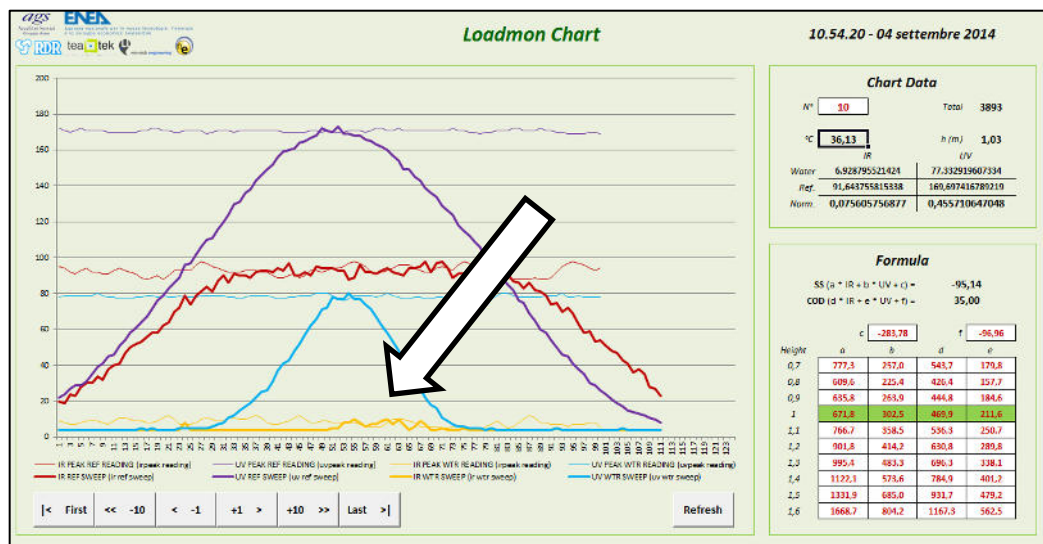


Figura 54 - Lettura sul campione con concentrazione di silice pari a 100 mg/L.

Tale anomalia è osservabile anche nel grafico rappresentativo di tutte le letture in cui sono riportati i valori di COD e SS (Figura 55).

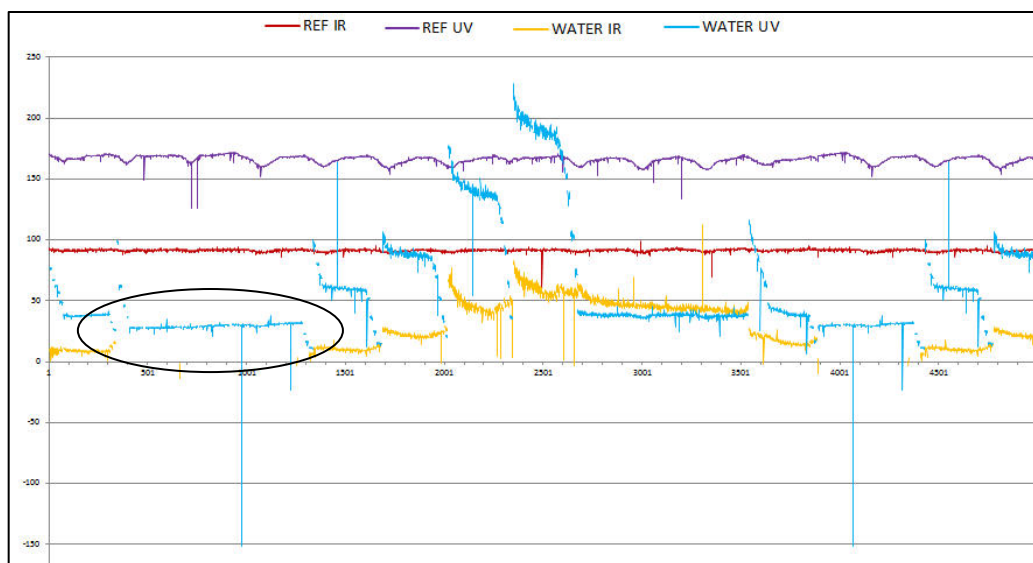


Figura 55 - Grafico delle letture ottenute dalle prove sulle 48 concentrazioni.

Osservata la discordanza con i risultati attesi è stato necessario ripetere le misure sul campione caratterizzato dalla concentrazione di silice pari a 100 mg/L e di seguito si riportano le letture relative alle prove su tale concentrazione (Tabella 20).

Lettura	Attività
3536-3541	Preparazione Soluzione
3542-3562	Lecture Concentrazione 9
3565-3567	Agitazione Soluzione
3568-3580	Lecture Concentrazione 10
3583-3586	Agitazione Soluzione
3587-3596	Lecture Concentrazione 11
3599-3601	Agitazione Soluzione
3602-3614	Lecture Concentrazione 12
3617-3622	Agitazione Soluzione
3623-3632	Lecture Concentrazione 13
3635-3636	Agitazione Soluzione
3637-3849	Lecture Concentrazione 14
3851-3853	Agitazione Soluzione
3854-3867	Lecture Concentrazione 15
3870-3871	Agitazione Soluzione
3872-3885	Lecture Concentrazione 16

Tabella 20 - lettura relative ai test ripetuti sul campione con silice pari a 100 mg/L

I dati di output del Loadmon, visualizzati attraverso il Loadmon Reader, sono riportati di seguito, in Figura 56.

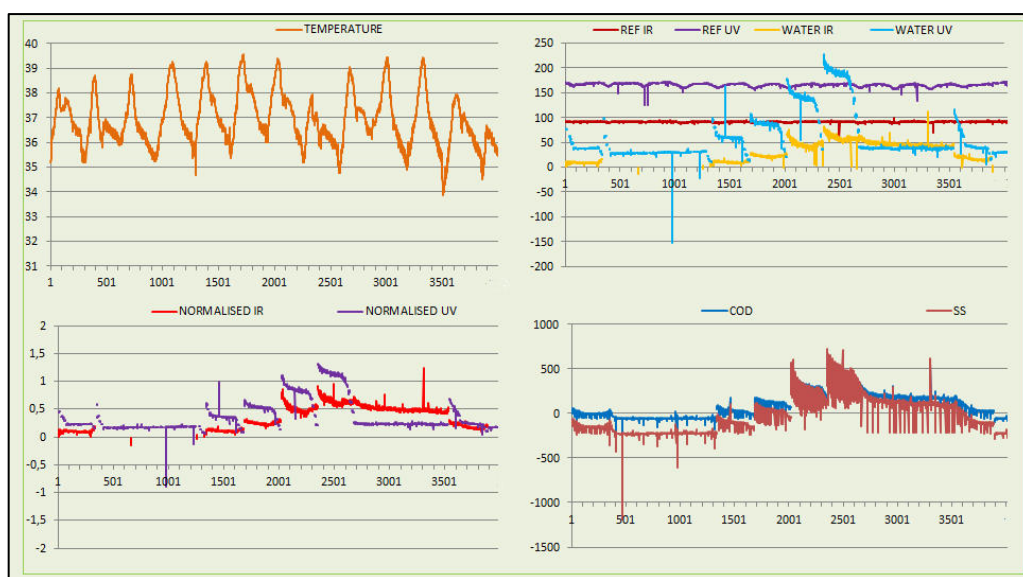


Figura 56 - Grafici di tutte le letture relative alle misure sulle 48 concentrazioni.

Al fine di confrontare i risultati generati dal prototipo con quelli ottenuti in laboratorio sono stati effettuati 3 prelievi, da 1 litro di soluzione ciascuno, per ogni concentrazione di silice e con 3 differenti concentrazioni di acido umico, per un totale di 18 campioni, caratterizzati come in Tabella 21.

	Acido Umico 1 mg/L	Acido Umico 5 mg/L	Acido Umico 50 mg/L
Silice 50 mg/L	campione 1	campione 2	campione 3
Silice 100 mg/L	campione 4	campione 5	campione 6
Silice 250 mg/L	campione 7	campione 8	campione 9
Silice 500 mg/L	campione 10	campione 11	campione 12
Silice 750 mg/L	campione 13	campione 14	campione 15
Silice 1000 mg/L	campione 16	campione 17	campione 18

Tabella 21 - Concentrazioni caratterizzanti i campioni analizzati in laboratorio.

I risultati delle analisi svolte presso il laboratorio di AGS sono mostrate in Tabella 22.

	Acido Umico 1mg/L	Acido Umico 1mg/L	Acido Umico 5mg/L	Acido Umico 5mg/L	Acido Umico 50mg/L	Acido Umico 50mg/L
	COD [mg/L]	SST [mg/L]	COD [mg/L]	SST [mg/L]	COD [mg/L]	SST [mg/L]
Silice 50 mg/L	< 10	4	< 10	7	50	10
Silice 100mg/L	< 10	7	< 10	10	32	13
Silice 250mg/L	< 10	10	< 10	13	46	15
Silice 500mg/L	< 10	12	14	14	55	17
Silice 750mg/L	12	18	31	21	71	25
Silice 1000mg/L	20	21	43	24	100	28

Tabella 22- Risultati delle analisi di laboratorio dei 18 campioni prelevati.

L'incertezza delle determinazioni analitiche è data dalla somma dell'operatore e dell'apparecchiatura ed è inferiore al 20-25%.

5.5 Discussione ed elaborazione dei risultati

Analizzando gli output delle prove effettuate dall'avvio dello strumento al momento del suo spegnimento, esposti nei precedenti paragrafi, risulta che:

- L'altezza misurata dal Loadmon tra la superficie del pelo libero del campione e la base stessa dello strumento risulta affetta da un errore pari circa al 14%;
- Se la velocità del fluido è tale da dare turbolenza al pelo libero, in alcuni casi, il Loadmon non riesce a rilevare valori validi di IR e UV;
- Le misure di UV e IR risentono della temperatura registrata all'interno del dispositivo, la quale, durante tutta la sperimentazione è oscillata tra 34 °C e 39.5 °C nella sua escursione notte-giorno;
- In caso di blackout il Loadmon non mantiene data ed ora. Queste vanno inserite manualmente ed è necessario, tuttavia, uno spegnimento e riaccensione del dispositivo per acquisirli a sistema;
- Molte letture risultano invalide e la restituzione grafica dei dati mette in evidenza molto "rumore di fase", probabilmente dovuto sia all'azione delle parti meccaniche che alla componente elettrica dello strumento;
- Osservando i risultati di COD e SST restituiti dal Laboratorio di AGS, si ritiene che lo strumento abbia lavorato fuori dal range richiesto alla WRc, il quale sarebbe 100-1000 mg/l di COD/SST, simulato con le concentrazioni crescenti di silice, da 0 a 1000 mg/l, ed acido unico, da 0 a 50 mg/l. I dati di laboratorio hanno evidenziato valori di COD inferiori a 100 mg/l. Durante la permanenza in vasca delle soluzioni di prova la silice è sedimentata per circa il 90% del suo quantitativo restituendo dei valori di SST inferiori a 50 mg/l.

Al fine di elaborare i risultati ottenuti, in primo luogo, è stato necessario effettuare una media tra le prime 5 letture IR e UV riferite ad ogni punto di prova, ritenute affette in misura minore dal processo della sedimentazione, riportate in Tabella 23. In tal modo è possibile ricavare un solo valore di luce diffusa IR e uno solo di luce diffusa UV per ogni concentrazione indagata.

Concentrazione	IR norm.	UV norm.	Concentrazione	IR norm.	UV norm.
conc. 1	0,090	0,455	conc. 25	0,286	0,626
conc. 2	0,101	0,400	conc. 26	0,294	0,600
conc. 3	0,092	0,370	conc. 27	0,237	0,502
conc. 4	0,088	0,343	conc. 28	0,257	0,471
conc. 5	0,103	0,299	conc. 29	0,254	0,425
conc. 6	0,115	0,229	conc. 30	0,257	0,321
conc. 7	0,135	0,190	conc. 31	0,273	0,222
conc. 8	0,174	0,157	conc. 32	0,292	0,132
conc. 9	0,289	0,680	conc. 33	0,759	1,091
conc. 10	0,258	0,574	conc. 34	0,726	1,006
conc. 11	0,244	0,524	conc. 35	0,467	0,809
conc. 12	0,233	0,462	conc. 36	0,485	0,773
conc. 13	0,233	0,397	conc. 37	0,497	0,687
conc. 14	0,230	0,292	conc. 38	0,541	0,558
conc. 15	0,178	0,173	conc. 39	0,542	0,399
conc. 16	0,212	0,102	conc. 40	0,550	0,223
conc. 17	0,100	0,584	conc. 41	0,863	1,314
conc. 18	0,125	0,495	conc. 42	0,639	1,061
conc. 19	0,133	0,435	conc. 43	0,664	1,009
conc. 20	0,124	0,385	conc. 44	0,620	0,941
conc. 21	0,109	0,303	conc. 45	0,620	0,811
conc. 22	0,112	0,217	conc. 46	0,645	0,634
conc. 23	0,130	0,152	conc. 47	0,640	0,456
conc. 24	0,146	0,093	conc. 48	0,666	0,251

Tabella 23 - Valori IR e UV normalizzati per ogni concentrazione di prova.

E' importante rammentare che il Loadmon riesce a misurare fino alla profondità di 2 cm dal pelo libero, pertanto i valori presentati in Tabella 23 si riferiscono a tale spessore di campione.

Successivamente è stata valutata la risposta dello strumento, in termini di luce diffusa, al variare della concentrazione di silice e acido umico (Figura 57).

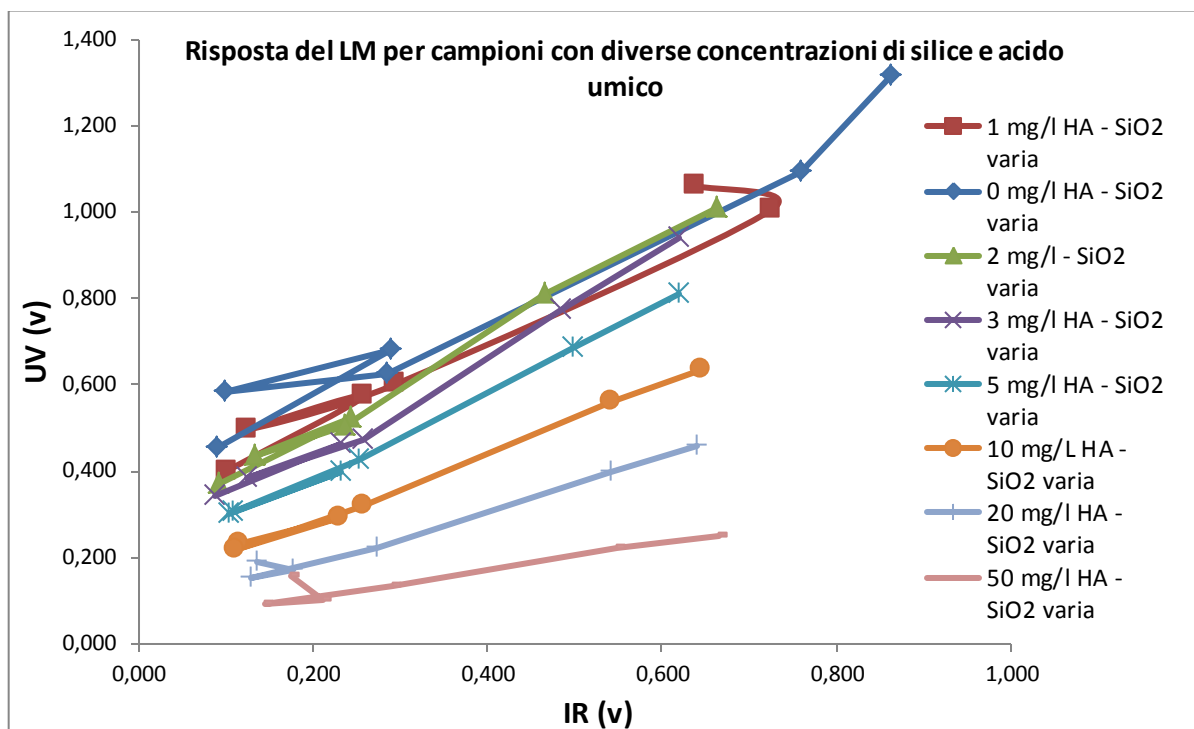


Figura 57 - Risposta del Loadmon per campioni con diverse concentrazioni di silice e acido umico.

Osservando il grafico di Figura 57, è possibile sostenere che, senza tener conto di errori sull'altezza misurata e dell'influenza della temperatura sui valori di IR e UV, esso risulta sensibile alle variazioni dei reflui investigati. Ciò è evidenziato dall'andamento abbastanza lineare della luce diffusa dalle particelle del campione al variare delle concentrazioni di materiali che simulano la presenza di carico organico e solidi sospesi. Infatti, dal grafico è possibile osservare come i punti ottenuti dalle letture IR e UV si dispongano linearmente all'aumentare della concentrazione di silice, descrivendo pressappoco una retta. Inoltre si può notare anche come questo andamento pseudolineare descritto trasli grossomodo al variare della concentrazione di acido umico, in particolare si rileva un abbassamento verso valori di luce diffusa UV minori all'aumentare della concentrazione di acido umico.

Successivamente sono stati confrontati i risultati dello strumento, in termini di luce diffusa, con quelli derivanti dalle analisi eseguite dal Laboratorio di AGS, al fine di cercare la relazione funzionale che meglio correla tra loro i risultati.

In particolare, sapendo che la diffusione della luce IR è legata al materiale solido in sospensione presente nel campione, sono stati comparati i valori delle letture IR dello strumento con le concentrazioni di solidi sospesi totali misurate in laboratorio (Figura 58). In questo caso i valori di IR normalizzati sono ottenuti facendo la media delle ultime 5 letture eseguite dallo strumento su ogni punto di prova su cui è stato effettuato il campionamento, dato che il campione di un litro di soluzione da analizzare in laboratorio, è stato prelevato sempre al termine del periodo di lettura dello strumento.

1 mg/l HA - SiO2 varia		5 mg/l HA - SiO2 varia		50 mg/l HA - SiO2 varia	
IR norm.	SST [mg/L]	IR norm.	SST [mg/L]	IR norm.	SST [mg/L]
0,094	4	0,102	7	0,168	10
0,216	7	0,227	10	0,203	13
0,131	10	0,111	13	0,144	15
0,223	12	0,255	14	0,290	17
0,418	18	0,480	21	0,540	25
0,618	21	0,605	24	0,476	28

Tabella 24 - Valori di SST e letture IR per ogni punto del campionamento.

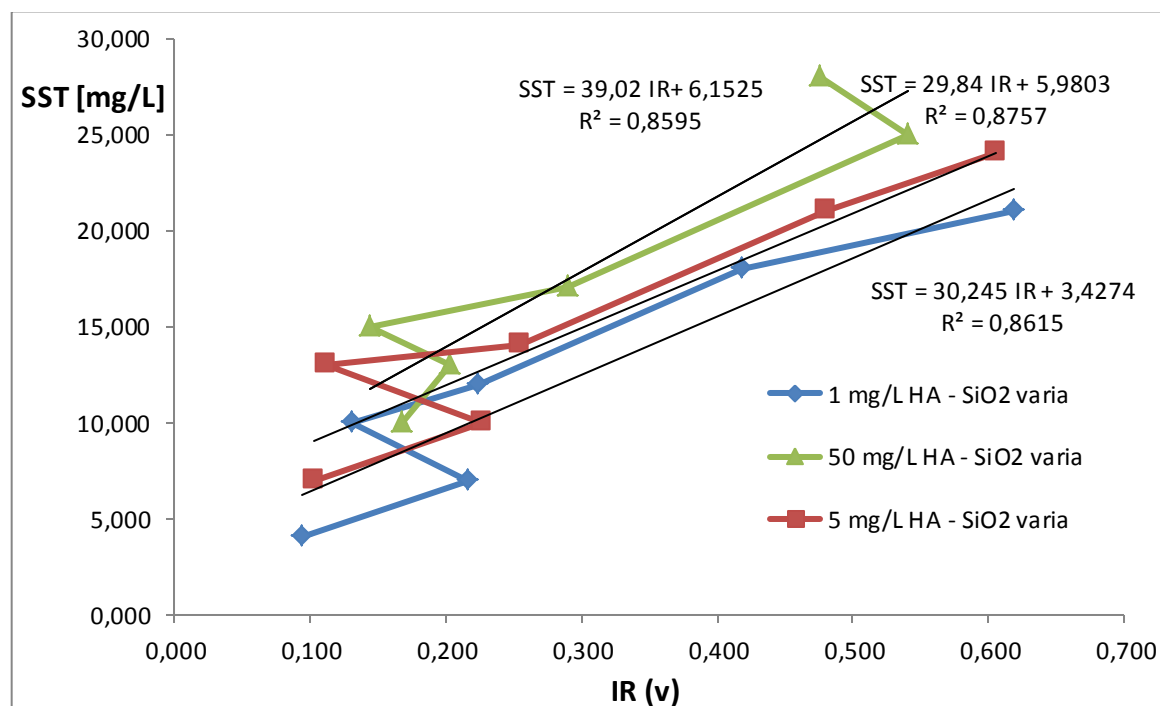


Figura 58 - Correlazione tra letture IR e SST al variare delle concentrazioni di Silice e Acido Umico.

Effettuando una regressione lineare tra le grandezze rappresentate nel grafico si ottengono 3 rette con equazioni molto simili tra esse, in termini di coefficiente angolare e intercetta della retta. Nello specifico risultano i seguenti valori raccolti in Tabella 25.

Concentrazioni soluzione	Equazione retta di regressione lineare	Quadrato del coefficiente di correlazione	Coefficiente angolare della retta	Intercetta della retta
50 mg/L acido unico - silice che varia	$SST=39,02 \text{ IR} + 6,1525$	0,8595	39,02	6,1525
5 mg/L acido unico - silice che varia	$SST=29,84 \text{ IR} + 5,9803$	0,8757	29,84	5,9803
1 mg/L acido unico - silice che varia	$SST=30,25 \text{ IR} + 3,4274$	0,8615	30,25	3,4274

Tabella 25 - Caratteristiche della regressione lineare SST – IR

Andando a rappresentare i risultati in termini di luce diffusa IR e SST senza contrassegnare le diverse concentrazioni, si ottiene un'unica retta di regressione che lega le due grandezze con una relazione lineare (Figura 59).

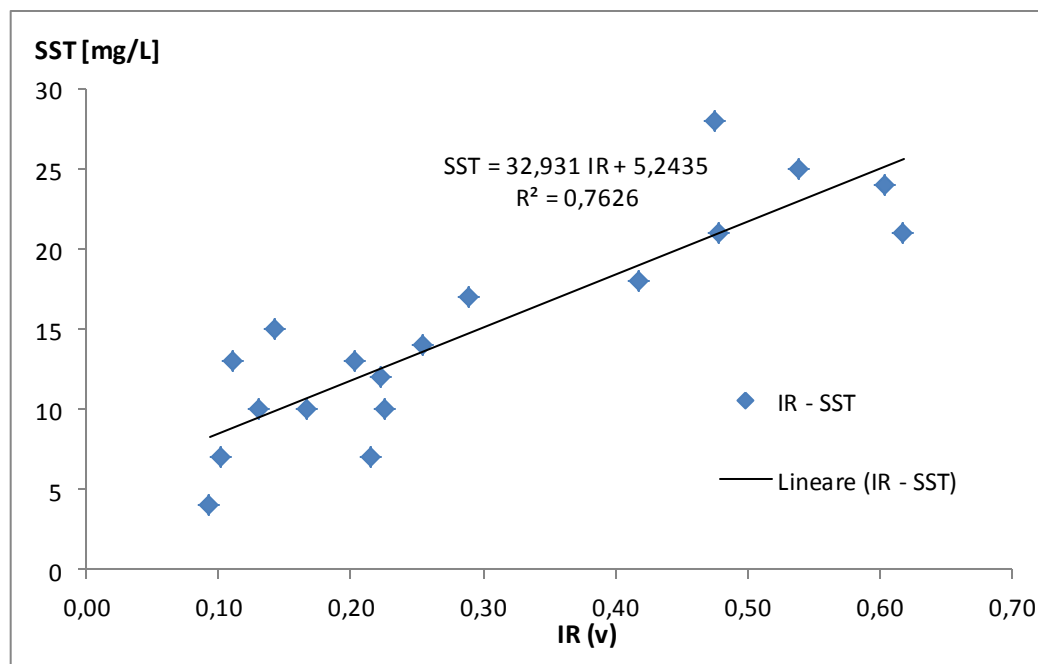


Figura 59 – Correlazione tra letture IR e SST al variare delle concentrazioni di Silice e Acido Umico.

Quanto sopra esposto è un'approssimazione al problema della ricerca di una relazione tra dati sperimentali e dati analitici restituiti dallo strumento, in quanto, come mostra la Figura 60, i valori dei solidi sospesi dipendono oltre che dalle letture IR anche da quelle UV.

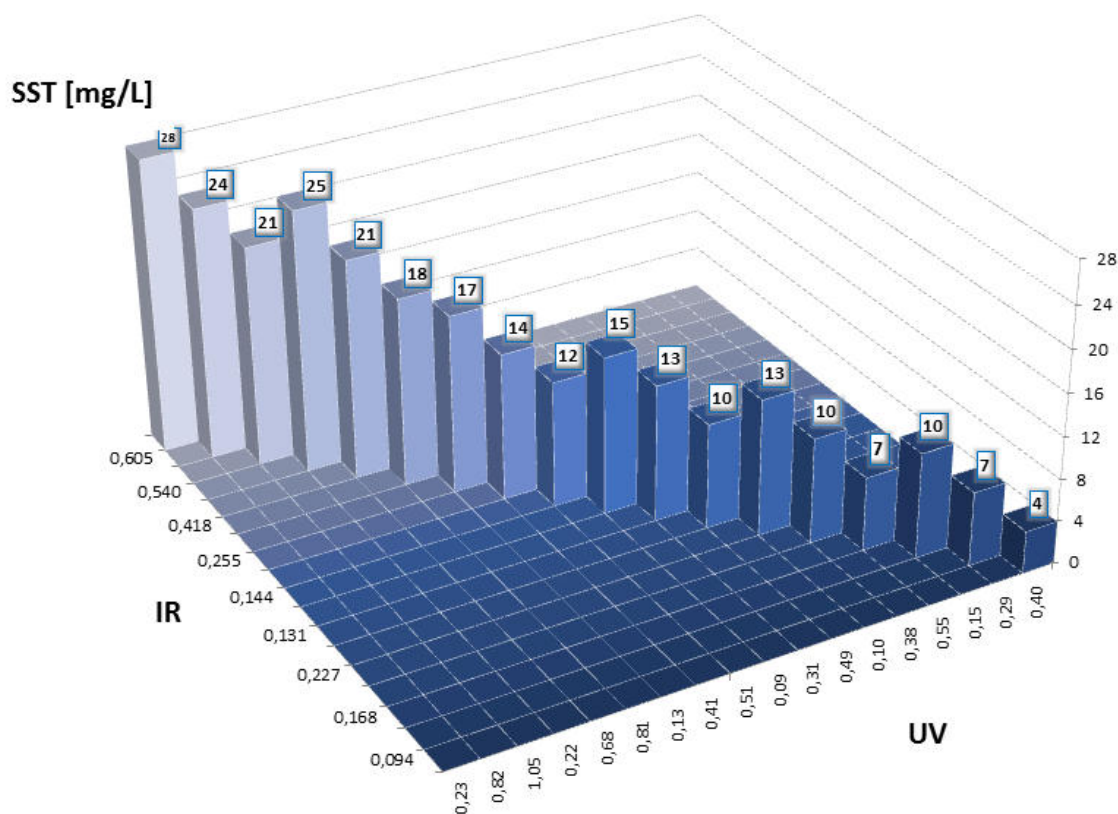


Figura 60 - Valori di SST, IR e UV per ogni concentrazione del campionamento.

Volendo trovare una funzione lineare più precisa, che consideri sia l'influenza della luce diffusa IR che quella degli UV è possibile procedere nel seguente modo, cercando i parametri a, b e c della relazione ipotizzata tra le grandezze in gioco e di seguito mostrata.

$$SST = a \cdot IR + b \cdot UV + c$$

La stessa forma potrebbe avere l'equazione che lega la luce diffusa ai dati di COD, ma non è stato possibile effettuare lo stesso procedimento, in quanto si è giunti a valori troppo bassi di COD da non essere rilevabili in laboratorio. Ciò è dovuto essenzialmente alla seguenti cause:

- a) Notevole sedimentabilità del tipo di silice impiegato, caratterizzato da particelle con granulometria elevata.
- b) Stratificazione dell'acido umico, il quale, nonostante sia più stabile della silice ha bisogno di un'efficace agitazione per essere presente in maniera più omogenea nella soluzione.
- c) Il prelievo dei reflui, per le analisi in laboratorio, stante il battente di circa 10 cm, ha comportato il campionamento del solo pelo libero, più chiarificato rispetto al resto.
- d) Miscelazione dei reflui insufficiente a garantire la stabilità delle soluzioni testate. Ciò è stato constatato dai residui di materiale presenti sul fondo della vasca ogni volta che si procedeva a svuotare la stessa.
- e) Lunga permanenza delle concentrazioni di soluzioni in vasca, in quanto su ogni soluzione lo strumento ha effettuato almeno 10 letture, con durata media di ognuna di esse pari circa a 4-5 minuti, per un tempo totale di almeno 50 minuti, sufficiente a far sedimentare la silice e a stratificare l'acido umico;

Riprendendo la relazione lineare succitata, al fine di cercare i parametri a, b e c che meglio correlano tra essi i dati a disposizione, si è utilizzata la procedura illustrata di seguito e successivamente è stata verificata la veridicità della soluzione ottenuta.

Innanzitutto è necessario precisare i dati di input del problema, ossia i risultati di SST ottenuti dal Laboratorio per ogni punto di prova e i corrispondenti valori normalizzati di IR e UV. Legando tali risultati attraverso la stessa funzione lineare, si ha a disposizione

un sistema di 18 equazioni, numero dettato dai punti di campionamento, nelle 3 incognite che permettono la migliore approssimazione della legge di correlazione, illustrato di seguito:

[illegible]

Sfruttando l'algebra matriciale è possibile scrivere il sistema nel seguente modo:

$$\begin{bmatrix} \text{SST}_1 \\ \text{SST}_2 \\ \dots \\ \dots \\ \text{SST}_{18} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \overline{\text{IR}_1} & \overline{\text{UV}_1} & \overline{1} \\ \text{IR}_2 & \text{UV}_2 & 1 \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ \text{IR}_{18} & \text{UV}_{18} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{a} \\ \text{b} \\ \text{c} \end{bmatrix}$$

Indicando con A la matrice dei coefficienti, con p il vettore dei parametri incogniti e con SST il vettore dei solidi sospesi, è possibile scrivere:

$$SST = A \cdot p$$

Per ricavare il vettore delle incognite basterebbe moltiplicare ambo i membri dell'equazione per l'inversa della matrice A , la quale però non è una matrice quadrata, pertanto è necessario prima moltiplicare tutto per la trasposta della matrice A ottenendo:

$$A^T \cdot SST = A^T \cdot A \cdot p$$

Successivamente, indicando con B la matrice ottenuta dal prodotto tra la matrice A e la sua trasposta è stato possibile ricavare il vettore delle incognite come segue:

$$p = B^{-1} \cdot A^T \cdot SST$$

Per svolgere le operazioni appena descritte e poter, di conseguenza, trovare i parametri a, b e c, sono stati implementati i dati di input del problema nel software Maple, in grado di soddisfare esigenze di calcolo sia di tipo simbolico che numerico.

In Appendice B si riporta l'interfaccia Maple in cui sono stati inseriti gli input del problema ed effettuati i calcoli necessari alla risoluzione dello stesso, mentre di seguito vengono elencati ed esplicitati i passi della procedura eseguita:

- 1) Richiamo del pacchetto *linalg* per operare sulle matrici e, in generale, su problemi di algebra lineare;
- 2) Definizione del vettore delle incognite p costituito dai parametri a,b e c;
- 3) Definizione della matrice A 18x3 dei coefficienti, contenente i valori di luce diffusa IR e UV restituiti dal Loadmon;
- 4) Definizione del vettore SST contenente gli esiti del laboratorio espressi in mg/L;
- 5) Ricerca della trasposta della matrice A ;
- 6) Prodotto tra la matrice A e la sua trasposta. Da questa operazione si ottiene la matrice quadrata B ;
- 7) Ricerca dell'inversa della matrice B ;
- 8) Prodotto tra la matrice inversa di B^{-1} e A^T ;
- 9) Ricerca dei parametri a,b e c che costituiscono il vettore p delle incognite del sistema;

Di seguito si mostrano valori ottenuti dei parametri ricercati.

a	b	c
41,8166	-10,1159	6,9230

Tabella 26 - Parametri della relazione lineare che lega SST alla luce diffusa IR e UV.

Una volta trovati i parametri della funzione ipotizzata di tipo lineare, che correla i dati sperimentali, per ogni punto del campionamento, sono stati trovati i valori di solidi sospesi (Tabella 27) che vengono fuori sostituendo il valore corrispondente ad ognuno dei tre parametri nell'equazione seguente:

$$SST_i = a \cdot IR_i + b \cdot UV_i + c$$

Con $i = 1 \dots 18$, che indica il punto del campionamento.

SST		IR		UV	
6,798		0,094		0,400	
8,236		0,102		0,294	
12,397		0,168		0,154	
10,381		0,216		0,552	
12,544		0,227		0,384	
14,372		0,203		0,104	
7,403		0,131		0,493	
8,450		0,111		0,307	
12,022	=	0,144	+ b	0,090	+ c
11,076		0,223		0,512	
13,471		0,255		0,406	
17,732		0,290		0,129	
16,219		0,418		0,810	
20,053		0,480		0,685	
27,314		0,540		0,217	
22,119		0,618		1,054	
23,900		0,605		0,823	
24,513		0,476		0,231	

Tabella 27 - SST da ipotetica relazione lineare con IR e UV.

Successivamente è stata indagata la discordanza (Tabella 28) tra il valore effettivo di SST restituito dal Laboratorio di AGS e quello ottenuto dalla procedura implementata in Maple.

N° concentrazione	IR norm.	UV norm.	SST da Lab. [mg/L]	SST da relazione lineare (con l'uso di Maple)	scarto
conc. 2	0,094	0,400	4	6,798	2,798
conc. 5	0,102	0,294	7	8,236	1,236
conc. 8	0,168	0,154	10	12,397	2,397
conc. 10	0,216	0,552	7	10,381	3,381
conc. 13	0,227	0,384	10	12,544	2,544
conc. 16	0,203	0,104	13	14,372	1,372
conc. 18	0,131	0,493	10	7,403	2,597
conc. 21	0,111	0,307	13	8,450	4,550
conc. 24	0,144	0,090	15	12,022	2,978
conc. 26	0,223	0,512	12	11,076	0,924
conc. 29	0,255	0,406	14	13,471	0,529
conc. 32	0,290	0,129	17	17,732	0,732
conc. 34	0,418	0,810	18	16,219	1,781
conc. 37	0,480	0,685	21	20,053	0,947
conc. 40	0,540	0,217	25	27,314	2,314
conc. 42	0,618	1,054	21	22,119	1,119
conc. 45	0,605	0,823	24	23,900	0,100
conc. 48	0,476	0,231	28	24,513	3,487

Tabella 28 - Confronto tra risultati del laboratorio e quelli ottenuti dalla funzione lineare ipotizzata.

I valori ottenuti dalla procedura effettuata non si discostano di molto da quelli reali derivanti dal laboratorio, pertanto è possibile affermare che la relazione di dipendenza degli SST dai valori di luce diffusa IR e UV è abbastanza lineare.

5.6 Azioni future

Le prove effettuate nascevano dall'esigenza di assumere familiarità con lo strumento, e nonostante i campioni testati fossero al di sotto del limite inferiore del range di lavoro per cui è stato progettato il Loadmon, il sensore si è accorto perfettamente delle variazioni di concentrazione e ha restituito dei dati e delle curve accettabili.

In forza della risposta positiva dello strumento e tenuto conto anche delle problematiche emerse durante la procedura utilizzata, sono state pianificate due attività future da realizzarsi contemporaneamente:

1. Installazione del Loadmon a Massa Centro e calibrazione dello stesso, simulando un ambiente di test con reflui reali, ottenendo delle misure sperimentali di riferimento, confrontabili con quelle ottenute in laboratorio. Facendo lavorare lo strumento in campo è possibile testarlo con valori di solidi sospesi e di COD molto elevati, che determinano l'individuazione di scarichi illeciti e/o non conformi, scopo principale del progetto S.I.Mon.A.

2. Duplicazione del Loadmon, con cui effettuare le misure in laboratorio su tutto il range di interesse, per poter ricavare una curva di calibrazione "universale", necessaria a rendere commercializzabile lo strumento.

Il secondo Loadmon avrà dimensioni più contenute e sarà più affidabile, privo della parte di movimentazione interna, con le ottiche fisse e probabilmente utilizzando frequenze diverse. Inoltre si potrà lavorare sulla parte idraulica, offrendo al Loadmon un campione da misurare che abbia sempre lo stesso livello.

Oltre a ciò, sarebbe necessario cambiare le modalità di esecuzione dei Test riguardanti le differenti concentrazioni di solidi sospesi e carico organico. Il modo corretto di procedere consisterebbe nell'interdisperdere le misure delle diverse concentrazioni delle grandezze in gioco, in modo da non produrre artificialmente fenomeni di drift, un effetto regressivo del tempo o di altre variabili non controllabili, ad esempio la temperatura. Infine, in merito al problema della sedimentazione della silice e della stratificazione dell'acido umico si prevedono due possibili opzioni, l'una che consiste nell'uso di una silice con granulometria molto più fine che non sedimenti così velocemente, l'altra che assicuri una efficiente miscelazione dei reflui attraverso l'aggiunta di un'asta di miscelazione al sistema in officina, senza cambiare il tipo di silice.

Il Loadmon rappresenta una parte integrante del Dimostratore previsto dal progetto S.I.Mon.A, costituito, in primo luogo, da una rete di sensori distribuita in punti ritenuti strategici del sistema di cui monitorare, in continuo, i parametri quantitativi e qualitativi.

Inoltre, il Dimostratore, prevede una seconda rete di sensori, non connessi in continuo, che provvederà a raccogliere e memorizzare in locale i dati quantitativi e qualitativi rilevati sulle sottoreti individuate da ciascuno dei sensori.

La rete di sensori sarà connessa ad un sistema di gestione ed elaborazione dei dati mediante una rete di comunicazione (fibra ottica, trasmissione via radio,...).

Ovviamente la connessione della rete di sensori al centro di elaborazione dei dati costituisce il punto nevralgico dell'intero sistema, che deve essere efficacemente risolto al fine di rendere tecnicamente ed economicamente sostenibile l'applicazione di S.I.MON.A. ad infrastrutture reali. Proprio perché gli obiettivi che si vogliono perseguire sono molteplici, si ipotizza la realizzazione di una rete gerarchizzata di sensori georeferenziati, costituita da:

- un insieme di sensori “always on”, che siano permanentemente connessi al centro di elaborazione dati, al fine del riconoscimento rapido di un evento di contaminazione;
- un insieme di sensori dormienti “on demand”, che registrino in locale i dati e che possano trasmetterli al centro di elaborazione dati solo quando ve ne sia l'effettiva necessità. Tali sensori provvederanno pertanto a raccogliere e memorizzare in locale i dati quantitativi e qualitativi rilevati sulle sottoreti individuate da ciascuno dei sensori del primo tipo.

Il Loadmon, consente la misura di una vasta gamma di parametri, tuttavia è caratterizzato da un significativo consumo energetico. Ben si presta, pertanto, all'uso “on demand”.

L'insieme di tutti i sensori dovrà garantire l'acquisizione di una grande quantità di dati, tale da consentire una simulazione “all'indietro nel tempo” del processo il trasporto e della diffusione del contaminante, risalendo alla sua fonte.

Dunque, tra le azioni future si colloca anche la definizione, per i vari punti di installazione individuati, della tipologia e della configurazione dei sensori e delle sonde commerciali da installare, tra cui, ad esempio, sonde multiparametriche, sonde di livello e pluviometri.

Concludendo, bisognerà definire i marker di calibrazione del Dimostratore, che siano compatibili con le esigenze di sicurezza e protezione dell'ambiente del gestore, e che al contempo abbiano caratteristiche tali da essere rilevabili dalle macchine che verranno installate in campo.

APPENDICE A – Brevetto del Loadmon

 Europäisches Patentamt European Patent Office Office européen des brevets		(11) EP 1 241 464 A1
(12) EUROPEAN PATENT APPLICATION		
(43) Date of publication: 18.09.2002 Bulletin 2002/38	(51) Int Cl.7: G01N 21/47, G01N 21/64	
(21) Application number: 02251861.7		
(22) Date of filing: 15.03.2002		
(84) Designated Contracting States: AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC NL PT SE TR Designated Extension States: AL LT LV MK RO SI	• Maccraith, Brian Dominic Portmarnock, County Dublin (IE) • O'Connor, Mark Joseph Castlenock, Dublin 15 (IE) • Russell, Stephen Lindsay Swindon, Wiltshire SN5 7AP (GB)	
(30) Priority: 17.03.2001 GB 0106676	(74) Representative: Curtis, Philip Anthony et al A.A. Thornton & Co., 235 High Holborn London WC1V 7LE (GB)	
(71) Applicant: WRC PLC Swindon, Wiltshire SN5 8YF (GB)		
(72) Inventors: • Schmalfuss, Jürgen Harald 82538 Geretsried (DE)		
(54) Non-contact optical monitor		

(57) An optical device for monitoring characteristics of a liquid or solid sample which operates without contact between a radiation source (3) and a detector (15) and the sample and without a sampling system. The device is capable of accommodating to varying range between the device and sample and the means of accom-

modation can be used both to infer the range between the device and sample and to correct for fouling of the optical windows of the source and detector units. Using scattering, fluorescence and flow velocity measurements the polluting load of a wastewater can be deduced.

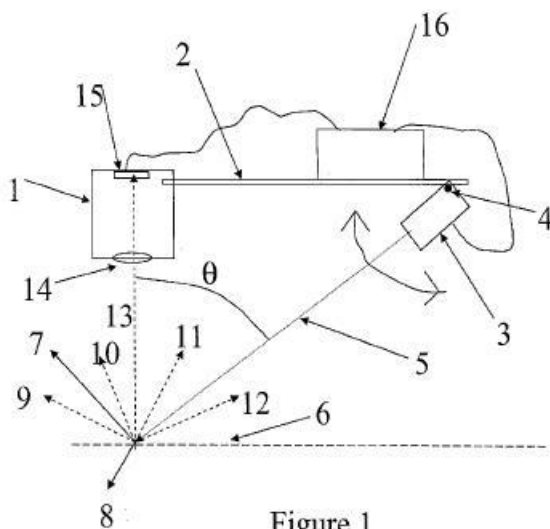


Figure 1

Description

[0001] This invention relates to the measurement of the characteristics of a liquid or solid sample by an optical non-contact method.

5 [0002] Industrial processes frequently require monitoring of one or more key parameters which characterise the quality of the process material, for example the turbidity or colour of a beverage. Many of these measurements are made rapidly and continuously by online process analysers rather than waiting for the results of sampling the process material and making the measurements off line in a laboratory. Some process materials are particularly difficult to handle such as sewage, dairy products or molten metals and this has given rise to non-contact measurement techniques
10 which seek to make the measurement whilst avoiding direct contact between the measuring system and the process material. There may also be health and safety issues which make non-contact measurement desirable.

[0003] An example of such a process is the collection, treatment and discharge of wastewaters. Municipal sewage treatment plants and industrial wastewater treatment plants are required to reduce the polluting load of the waste to an agreed level prior to discharge, and will benefit from continuous measurement of some key pollution parameters
15 such as suspended solids concentration, biochemical oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD) and ammonia concentration. Such data is of use both at the discharge of the plant and also at the inlet and within the collection network, where for example significant changes in the polluting load can notify operators of the need to adjust the aeration in the biological stage of the plant. This perceived need has been met by a range of monitoring instruments, some of which are dipped into a flowing channel, others pump a sample through a chemical analyser. The reliability
20 of these instruments is badly affected by the direct contact with the wastewater sample which frequently blocks pipes or coats optical surfaces with layers of grease or biological films or dirt. Further these instruments are frequently complex machines so that the cost of monitoring the wastewater is high both in initial capital cost and the maintenance costs of keeping the instruments operating within acceptable accuracy. Many of these machines require supplies of services such as compressed air or mains water to assist in cleaning, thus incurring both installation and operating costs and
25 restricting their application.

[0004] In the prior art a number of non-contact methods have been devised to minimise or eliminate the direct contact between the sample and the measuring equipment. Examples of these are the surface scatter turbidimeter described in US patent number 3,309,956, which uses a special flowcell where the sample forms a mirror-like surface, and the sample turbidity is measured by interrogating the surface using a beam of light and a detector which is arranged to
30 measure non-specularly reflected light. A development of this system is described in US patent number 5,400,137 which employs a very similar flowcell arrangement but includes, in addition to the turbidity measurement, a light source and detector for fluorescence measurement for oils or other fluorescent material. Variants on the non-contact principle are the falling column flowcells produced by Sigrist in which the sample is arranged as a continuous falling stream which is interrogated optically to determine turbidity, absorbance or fluorescence. The Sigrist instruments employ light
35 sources and detectors arranged around the falling column, whilst the arrangement described in UK patent number 2,310,282 uses a beam of light which is directed into a falling column from within a header tank above, and then can detect light which is scattered or absorbed by the falling liquid sample. All of these non-contact systems use a sampling system which is itself subject to fouling and blockage. Further, the sampled liquid may not be representative of the main flow, especially where there is a range of different suspended material present.

40 [0005] We have now found a way to overcome these difficulties. Broadly, the invention relates to a device for monitoring one or more characteristics of a liquid or solid sample, and involves a radiation source adapted to direct radiation, which is preferably collimated radiation, to the sample, and a detector adapted to receive the radiation back from the sample.

[0006] In an especially advantageous embodiment of the invention, the device comprises at least one source of collimated radiation, and at least one detector for the collimated radiation, the detector being capable of detecting radiation returning from the sample, wherein the optical axis of the radiation source or sources and the optical axis of the detector or detectors are non-parallel.

[0007] In an embodiment, the device includes at least two sources of collimated radiation arranged side by side, or at least two sources of collimated radiation arranged on a common optical axis.

50 [0008] In an embodiment, the device includes at least two radiation detectors arranged side by side, or at least two radiation detectors arranged on a common optical axis.

[0009] Preferably, the each collimated radiation source is a laser.

[0010] In an embodiment the device is capable of being operated in a hand-held fashion. To this end the device may be provided with means to enable it to be held by hand, such as a hand grip, and is of a size and weight such that it is readily portable. In this embodiment, it is preferably that the device further comprising means to measure the range
55 from the device to the sample surface, such as a position sensitive detector. It is also desirable that the device further comprises an inclinometer. In this embodiment, the detector is preferably movable relative to the radiation source; an adjustable connection may be provided between the source and the detector, and preferably this connection is a tel-

escapable connection.

[0011] Preferably, the device further comprising means to accommodate changes in level of the sample.

[0012] Desirably, the radiation source is pivotable and controllable such that the interaction between radiation and sample occurs on or close to the optical axis of the radiation detector.

5 [0013] It is preferred that the angle between the axis of the collimated radiation and the detector optical axis is controlled by the device using a mirror on a motorised rotating shaft such that the interaction between radiation and sample occurs on or close to the optical axis of the radiation detector

[0014] In a preferred embodiment, the detector consists of a linear array of detectors, or a single position sensitive detector such that as the level varies the image of the region of interaction of the source radiation and sample moves
10 laterally across the detector.

[0015] In a preferred embodiment, the radiation source and radiation detector are mounted together on a float which is free to move on one or more swinging arms or tethers maintaining a constant range between the radiation source and detectors and the sample surface.

[0016] preferably, the device further comprising means for measuring the losses across the optical windows. The means for measuring the losses across the optical windows may include a detector window arranged such that collimated radiation from the radiation source can be passed through the radiation source window and detector optical window directly, without interaction with the sample.

[0017] Desirably, a correction is applied to the detected radiation for the varying range to the detector, incident angle and scatter angle of the collimated radiation beam.

20 [0018] Preferably, the device further comprises a data smoothing means, such as a median filter, for smoothing the data received by the detector. Some applications generate spurious high values for the scatter and fluorescence data caused by for example large ripples, foam and highly reflecting floating objects. The data can be smoothed to remove these spurious data values using the median filter.

[0019] In a preferred construction, the device comprises a radiation source housing containing the or each radiation source, a detector housing containing the or each detector and a lens arranged such that radiation from the or each radiation source must pass through the lens in order to reach the or each detector, a support for supporting the detector housing and the radiation source housing, and control means for controlling the or each radiation source and the or each detector.

30 [0020] According to another aspect of the invention there is provided the use of a device, as described above, to measure the polluting properties of an aqueous sample. Thus, the device can be used to infer the suspended solids content of the aqueous sample from measurements of scattered radiation at one or more wavelengths.

[0021] The measurement of fluorescence using excitation in the range 360 — 410 nanometres and emission in the range 570 — 630 nanometres can be used to infer the organic load of an aqueous sample which may be expressed as biochemical oxygen demand or chemical oxygen demand.

35 [0022] The measurement of fluorescence using excitation in the range 360 — 410 nanometres and emission in the range 570 — 630 nanometres can be used in combination with measurements of scattered radiation to infer the organic load of an aqueous sample which may be expressed as biochemical oxygen demand or chemical oxygen demand.

[0023] The flow velocity of the aqueous sample can be used in combination with other measurements to infer the suspended solids and organic load of the flowing sample.

40 [0024] The invention also provides a method for determining characteristics of a solid or liquid sample which involves directing collimated radiation at the sample from a source along a first axis, and receiving the radiation back from the source at a detector along a second axis different from the first axis.

[0025] The measurement of fluorescence, especially at the wavelength ranges indicated above are particularly useful for monitoring sewage, which has been found to respond at these wavelengths. Thus, the invention also provides a method for monitoring sewage using the device described above, by measuring fluorescence using excitation and
45 emission in the wavelengths described above.

[0026] Reference is now made to the accompanying drawings, in which:

50 Figures 1 to 8 are schematic side elevations of embodiments of an optical monitor according to the invention;
Figure 9 is a schematic side elevation of a handheld embodiment of an optical monitor according to the invention;
and
Figure 10 shows the embodiment of Figure 9 in greater detail.

55 [0027] Referring to Figure 1, there is provided an optical detector unit 1 mounted on a support in the form of a rigid bar 2. A collimated radiation source unit 3 is also mounted on the bar 2, and is pivoted about point 4. A beam of radiation 5, from the source 3, strikes the sample surface 6 producing a specular reflected beam 7, and a refracted beam 8. Other processes of interaction of the incident radiation 5 and the sample such as scattering or fluorescence may generate beams of radiation such as 9, 10, 11 and 12; some of this radiation, such as that designated 13 is collected

by a lens 14 to be focused on a detector 15 housed within the unit 1.

[0028] The unit 3 includes a precision motor or other means of rotating it about the pivot point 4; this rotation is under the control of a computer 16. In an alternative embodiment the movement of the beam of radiation may be achieved by deflecting the radiation beam using a mirror mounted on a rotating shaft. Within the unit 3 there may be more than one radiation source operating at different optical wavelengths and the selection of radiation source is under control of the computer 16. The detector 15 is also connected to the computer 16.

[0029] The arrangement is such that the radiation source unit 3 swings around the pivot 4 under control of the computer 16 until the detector 15 registers a maximum response. By this means the interaction of the radiation and the sample may be measured over a range of sample levels, and the range between the detector unit 1 and sample surface 6 can be calculated from the position of the radiation source unit 3 when the maximum signal is registered at the detector 15.

[0030] In an alternative embodiment the variations in level can be accommodated without moving parts. Referring to figure 2, the radiation source unit 3 is attached to the rigid member 2 at a fixed angle ϕ . With the liquid sample at a low position 17, the radiation produced by the interaction with the sample is imaged by lens 14 of detector unit 1 on to the detector 15 at position 18. As the sample level rises to position 19 the radiation produced by the interaction with the sample is imaged by lens 14 centrally on to the detector 15. At a higher sample level 20 the radiation produced by the interaction with the sample is imaged by lens 14 on to the detector at position 21. It may be seen therefore that as the sample level moves vertically, the position of the imaged radiation on the detector moves laterally. If the detector 15 is a position sensitive detector, or an array of detectors, the sample level can be inferred by the established method of triangulation from the position of the radiation falling on the detector 15. At the same time, information about the strength of the interaction between the radiation and sample is available from the intensity of the radiation falling on the detector 15. If an array of detectors is used the progressive decay and spread of the radiation as it penetrates the sample may be measured to gain additional information about the sample.

[0031] In a further alternative embodiment variations in liquid level are accommodated by allowing the optical system to float on the sample surface, which can only be liquid in this embodiment, maintaining a constant range between the optical system and the sample surface. Referring to figure 3, the optical system is mounted on one or more floats 22 which are attached by one or more arms 23 pivoted at points 24 and 25, or a simple tether to a rigid support 26. The measurement equipment on the floats consists of a radiation source unit 3, which may contain one or more different sources of collimated radiation, and a detector unit 1 mounted on a rigid frame 27 on the float(s) 22. The radiation from the source unit 3 strikes the liquid surface at 28 and interacts with it to produce scattered, fluorescent or other radiation which is radiated upwards from the liquid surface. Some of this radiation is collected by lens 14 which focuses the radiation on a detector 15. As the liquid level changes, the float-mounted equipment rides with the liquid maintaining a constant range between the optical units 3 and 1 and the liquid. The system may include a rotational transducer or other means to monitor the angle between the arms 23 and the float(s) 22 and hence deduce the liquid level. The radiation source unit 3 operates under control of a computer, not shown in this diagram, connected to both the radiation source unit 3 and the detector unit 1. The computer may be mounted on the float or may be mounted with the rigid support on the sides of the channel, tank or other structure.

[0032] A number of arrangements of radiation sources and detectors are possible within the basic geometries of figures 1, 2 and 3, depending upon what measurements are required to characterise the liquid sample. Referring to figure 4, which uses the configuration of figure 1 by way of example, the radiation source unit 3 generates two or more separate collimated beams of radiation side by side 29 and 30. These strike the sample surface 6 and interact with the sample producing radiation above the sample surface. This radiation is focused by lens 14 and produces images of the regions of interaction on two or more detectors 31 and 32 which are arranged to respond to the radiation of interest for example by the use of suitable filters. Two separate lenses, one for each detector, could be used in place of the single lens 14. In addition to collecting data which characterises the sample 6, this arrangement can be used to measure the surface velocity of the sample along the direction 33 using cross correlation of the signals measured at detectors 31 and 32.

[0033] The radiation sources and detectors may be arranged side by side in a plane at right angles to that shown in figure 4. Referring to figure 5, using as an example the configuration of figure 1, two or more collimated beams of radiation 34 and 35 are arranged to emerge side by side from the radiation source unit 3 and strike the sample surface 6 below the detector unit 1. This contains two or more radiation detectors 31 and 32 arranged side by side and with a radiation response suited to the properties of the liquid sample being monitored. Radiation emerging from the sample surface 6 is focused on the detectors 31 and 32 by one or more lenses 14.

[0034] There is a further different possible arrangement of radiation sources and detectors which may be used within the basic geometries of figures 1, 2 and 3. Using the configuration of figure 1 as an example, and referring to figure 6, collimated radiation from 2 separate sources 36 and 37 is arranged to emerge from the radiation source unit 3 along a common axis 5 by the use of a plate 38 which may be part silvered or coated with a wavelength selective layer designed to reflect radiation from source 37 and transmit radiation from source 36 so that the emerging radiation is

coaxial. Some of the radiation produced by the interaction with the sample 6 is collected by the lens 14 in the detector unit 1 where it is split by beamsplitter 39 into 2 portions to be registered by detectors 31 and 32. A further variant on this arrangement would be to use a single radiation source and measure the scattered radiation using 1 detector and the fluorescent radiation with the second detector.

5 [0035] It should be appreciated that the different arrangements of figures 1 to 6 may be used to assemble combinations of collimated sources and detectors to suit the measurement requirement.

[0036] The collimated radiation sources may be for example lasers. If the collimated radiation source is plane polarised, it is advantageous that the E vector is aligned vertically to the sample surface to obtain maximum transmission at the interface.

10 [0037] It is highly desirable in making the measurements needed to characterise the sample that they do not interfere with each other and are not disturbed by changes in ambient radiation. There are a number of methods by which this can be achieved. One method is to modulate the radiation sources at different frequencies and to use synchronous detection methods such as lock-in amplification to select only the radiation from the sample which was stimulated by interaction with the intended radiation source. It may be advantageous to operate the different radiation sources one at a time to assist in separating the effects which are to be measured.

15 [0038] Changes in the sample level will affect the intensity of the radiation received at the detector unit and it is desirable to correct for this using a computer or other means. Corrections are desirable to compensate for three effects. Referring to figure 1, the first is that the proportions of the incident source radiation to be reflected and refracted at the sample surface will vary with the angle θ at which the radiation strikes the sample surface and it is only the refracted radiation which will interact with the sample to generate for example scattered or fluorescent radiation. The intensity of radiation received at the detector will fall with increasing θ according to the known laws of reflection and refraction. The second effect is that the strength of scattered radiation will generally depend upon the angle between the incident radiation and the scatter direction, and this will depend upon the relative size of the particles and the wavelength of the radiation according to the established theories of radiation scattering. The third effect is the inverse square law governing the range between a point radiation source and detector of fixed aperture, which is approximated by this system. Whilst most of these effects can be calculated, a convenient method of correction is to use a lookup table derived from empirical measurements in the computer for example, to normalise the measured radiation intensities for the effects of varying range to the sample.

20 [0039] A further effect which can be compensated for occurs when the depth of sample is sufficiently small that reflected radiation from the floor of the vessel, pipe or channel interferes with the measurement. For example, with crude sewage samples this effect becomes significant with depths of less than about 80 millimetres of sewage depth and causes an increase in the scattered radiation detected. As with the range effect, a lookup table in the computer derived empirically offers a convenient method of applying a correction.

25 [0040] The embodiments described all employ optical windows through which radiation is transmitted and received and these windows may be subject to fouling from dust, condensation, spray, cobwebs and other sources. The optical arrangement of the present invention may be used to provide a measure of the degree of window fouling and thus to apply a correction for radiation losses at the windows. Referring to figure 7, the radiation source unit 3 is shown in the normal measuring position using solid lines, where the collimated radiation beam 5 strikes the sample surface 6 and radiation from the interaction between sample and radiation enters the main detector 15 through the inclined window 40. The radiation source unit 3 may be raised under control of the computer 16 to the position shown by the dotted lines so that the collimated beam 5 enters the window 40 directly and reaches the auxiliary detector 41. The measurements of intensity by the main detector 15 will vary with: the strength of the collimated source beam inside the radiation source unit 3; the attenuation by the radiation source unit window 42; the attenuation due to the radiation path in air due to mist or other losses; attenuation due to the detector unit window 40. The measurement made by the auxiliary detector with the radiation source unit in the raised position will therefore allow a correction to be applied which improves the accuracy of the measurement in the presence of some optical window fouling. It has the added benefit of providing registration for the angular position measurement of the radiation source unit relative to the detector unit. Additional information may be gathered by moving the radiation source to the position below the normal operating position also shown in broken lines, such that the collimated radiation strikes the sample at 43 and is reflected specularly from the sample surface into the auxiliary detector 41. The radiation intensity at the main detector 15 will depend upon the source intensity; losses at the windows 42 and 40; losses in the transmission path; losses upon reflection. Provided that the reflection characteristics of the sample 6 are known, the reflection losses may be calculated from the angle of incidence α which is known from the rotational position of the source unit 1. The measurements made in the two dotted positions may then be compared and provide a means of measuring and correcting for transmission losses in the air path. This lower position for the radiation source unit 3 also provides an alternative method for measuring the sample level to the usual method with the radiation source in the normal measuring position.

30 [0041] This arrangement cannot be used with the fixed radiation source units for example shown in figures 2 and 3 but a similar correction for window fouling may be derived using the arrangement of figure 8. Referring to figure 8, the

fixed radiation source unit 3 includes one or more radiation sources 36 for the measurement of the sample characteristics as in for example figures 2 and 3 and the radiation detected from the interaction between radiation and sample is measured using detector unit 1. In so doing the radiation passes through window 42 in the radiation source unit 3 and the inclined window 40 in the detection unit 1. An auxiliary radiation source 37 is arranged in the radiation source unit 3 so that its collimated beam 44 passes through the windows 42 and 40 at the same point as the radiation from the source 36 when making measurements on the sample, and it is detected by auxiliary detector 41. This measurement will be attenuated by fouling of the windows 42 and 40 and can be used by the computer 16 to correct for the losses due to fouling on the windows.

[0042] In the embodiments of figures 7 and 8 the auxiliary detector 41 can be replaced by a small reflecting sphere or thin wire placed inside the window 40. Such a wire would scatter radiation into the main detector 15 when the collimated source beam 5 of figure 7 or the auxiliary collimated beam 44 of figure 8 strikes the wire. The measured intensity at the main detector 15 would thus provide data from which a correction for window fouling can be made. In the arrangement of figure 7 the wire or sphere would also provide registration for the swivelling collimated beam 5. Whilst the wire or sphere would obscure a portion of the window 40 the wire or sphere would be made sufficiently small so that the losses of scattered and fluorescent light from the sample 6 received at the main detector 15 were negligible.

[0043] The invention may be used in handheld instrumentation. Referring to figure 9, the system is configured as a handheld unit 45 which is aimed at the sample surface 6 by the operator standing on the side of the channel 46. The optical axis 47 of the radiation source and the detector optical axis 48 are arranged to intersect at a range which is the middle of the expected range of operation.

[0044] Referring to figure 10, the handheld unit has a radiation source unit 3 connected by a rigid arm 2 to a detector unit 1. It is convenient for the arm 2 to be telescopic or hinged to enable the system to be stored and carried in a compact form. The lens 14 focuses the radiation received on the detector 15 which is a position sensitive device or an array of detectors. By triangulation the range to the sample surface can be deduced from the position of the image of the radiation source on the sample surface, which moves laterally across the detector 15 as the range to the sample varies. In order to make correct measurements of the sample properties it is necessary to know the angle made by the source beam 47 and the sample surface. The system therefore includes an inclinometer which is connected with the radiation source and detector to a computer also included in the handheld system.

[0045] The lens 14 in all of the examples given may be for example a fixed focus lens. For large ranges of sample level it may be necessary to replace this fixed focus lens with a variable focus lens under computer control or a self-contained automatic focus system.

[0046] The present invention may be used for a range of possible measurements. An example is the measurement of the polluting load of a wastewater. In this application, two radiation sources are used, the first at a red or infrared wavelength in the range 670 to 880 nanometres the second in the far blue or near ultraviolet in the range 360 to 410 nanometres. Using these radiation sources, three measurements are made with the detection unit, the scattered radiation at the blue/near ultraviolet, the scattered radiation at the red/near infrared, and the fluorescence of the sample using the blue/near ultraviolet radiation as excitation and measuring the emission in the range 570 to 630 nanometres wavelength. It is found that for many wastewater samples a correlation exists between the suspended solids of the sample and the linear sum of the red/infrared scattered radiation (IR scatter) and the blue/near ultraviolet scattered radiation (UV scatter) of the form:

$$\text{Suspended Solids} = a_1 \times (\text{IR scatter}) + b_1 \times (\text{UV scatter}) + c_1$$

where a_1 , b_1 and c_1 are constants to be determined for a given wastewater.

[0047] It has also been found that for many wastewaters a correlation exists between the BOD and COD of a sample and the linear sum of the red/infrared scattered radiation (IR scatter), the blue/near ultraviolet scattered radiation (UV scatter) and the fluorescence of the sample using the blue/near ultraviolet radiation as excitation and measuring the emission in the range 570 to 630 nanometres (UV-red fluorescence) of the form:

$$\text{BOD} = a_2 \times (\text{IR scatter}) + b_2 \times (\text{UV scatter}) + c_2 (\text{UV-red fluorescence}) + d_2$$

$$\text{COD} = a_3 \times (\text{IR scatter}) + b_3 \times (\text{UV scatter}) + c_3 (\text{UV-red fluorescence}) + d_3$$

where a_2 , b_2 , c_2 , a_3 , b_3 and c_3 are constants to be determined for a given wastewater.

[0048] For some wastewaters it may be advantageous to add non-linear terms to these expressions for suspended solids, BOD and COD.

[0049] It has further been found that for wastewater samples of similar origin the constants in the expressions for suspended solids, BOD and COD are very close to each other, thus enabling standard calibrations to be used. Samples may then be taken for analysis and used to trim the values of the standard constants.

5 [0050] The size of the suspended material and its quality will be influenced by the flow velocity. Where the present invention includes a flow velocity measurement or where it is available as an input to the system computer, this can be added to the above correlation expressions to obtain an improved prediction of the pollution parameters.

[0051] Some applications generate spurious high values for the scatter and fluorescence data caused by for example large ripples, foam and highly reflecting floating objects. The data can be smoothed by removing these spurious data values using for example a median filter.

10 [0052] It will be appreciated that the invention described above may be modified.

Claims

- 15 1. A device for monitoring one or more characteristics of a liquid or solid sample, comprising at least one source of collimated radiation, and at least one detector for the collimated radiation, the detector being capable of detecting radiation returning from the sample, wherein the optical axis of the radiation source or sources and the optical axis of the detector or detectors are non-parallel.
- 20 2. A device according to claim 1, comprising at least two sources of collimated radiation arranged side by side or arranged on a common optical axis.
3. A device according to claim 1 or 2, comprising at least two radiation detectors arranged side by side or arranged on a common optical axis.
- 25 4. A device according to any preceding claim, wherein the or each collimated radiation source is a laser.
5. A device according to any preceding claim, further comprising means to enable the device to be held by hand, whereby the device is portable and can be used by handheld operation.
- 30 6. A device according to claim 5, further comprising means to measure the range from the device to the sample surface, and wherein the range measuring means is preferably a position sensitive detector.
7. A device according to claim 8, further comprising an inclinometer.
- 35 8. A device according to any preceding claim, further comprising means to accommodate changes in level of the sample.
9. A device according to any preceding claim, wherein the radiation source is pivotable and controllable such that the interaction between radiation and sample occurs on or close to the optical axis of the radiation detector.
- 40 10. A device according to any one of claims 1 to 8, wherein the angle between the axis of the collimated radiation and the detector optical axis is controlled by the device using a mirror on a motorised rotating shaft such that the interaction between radiation and sample occurs on or close to the optical axis of the radiation detector.
- 45 12. A device according to any preceding claim, wherein the detector consists of a linear array of detectors, or a single position sensitive detector such that as the level varies the image of the region of interaction of the source radiation and sample moves laterally across the detector.
- 50 13. A device according to any preceding claim, wherein the radiation source and radiation detector are mounted together on a float which is free to move on one or more swinging arms or tethers maintaining a constant range between the radiation source and detectors and the sample surface.
14. A device according to any preceding claim, further comprising means for measuring the losses across the optical windows.
- 55 15. A device according to claim 14, wherein the means for measuring the losses across the optical windows includes a detector window arranged such that collimated radiation from the radiation source can be passed through the

radiation source window and detector optical window directly, without interaction with the sample..

16. A device according to any preceding claim, wherein a correction is applied to the detected radiation for the varying range to the detector, incident angle and scatter angle of the collimated radiation beam.

5

17. A device according to claim 1, comprising a radiation source housing containing the or each radiation source, a detector housing containing the or each detector and a lens arranged such that radiation from the or each radiation source must pass through the lens in order to reach the or each detector, a support for supporting the detector housing and the radiation source housing, and control means for controlling the or each radiation source and the or each detector.

10

18. A method of determining the polluting properties of an aqueous sample comprising directing a beam of collimated radiation from a collimated radiation source of a device according to any preceding claim at the aqueous sample, detecting radiation returned back from the sample using a detector of the device, and processing the data received by the detector.

15

19. A method according to claim 18, wherein the aqueous sample comprises a sewage stream flowing along an open channel.

20

20. A method according to claim 18 or 19, wherein the suspended solids content of the aqueous sample is inferred from measurements of scattered radiation at one or more wavelengths.

21. A use according to claim 18, 19 or 20, wherein measurements of fluorescence using excitation in the range 360 - 410 nanometres and emission in the range 570 — 630 nanometres is used to infer the organic load of an aqueous sample which may be expressed as biochemical oxygen demand or chemical oxygen demand.

25

22. The use according to claim 18, 19, 20 or 21, wherein the flow velocity of the aqueous sample is used in combination with other measurements to infer the suspended solids and organic load of the flowing sample.

30

35

40

45

50

55

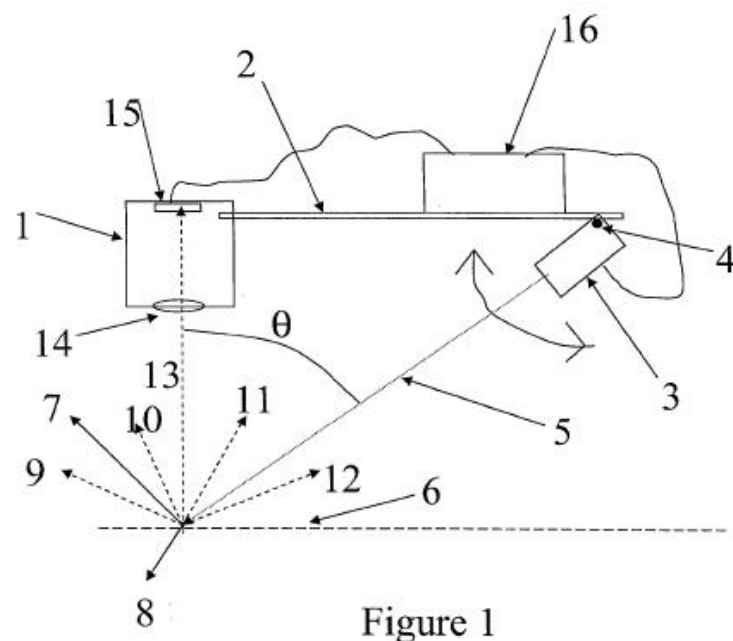


Figure 1

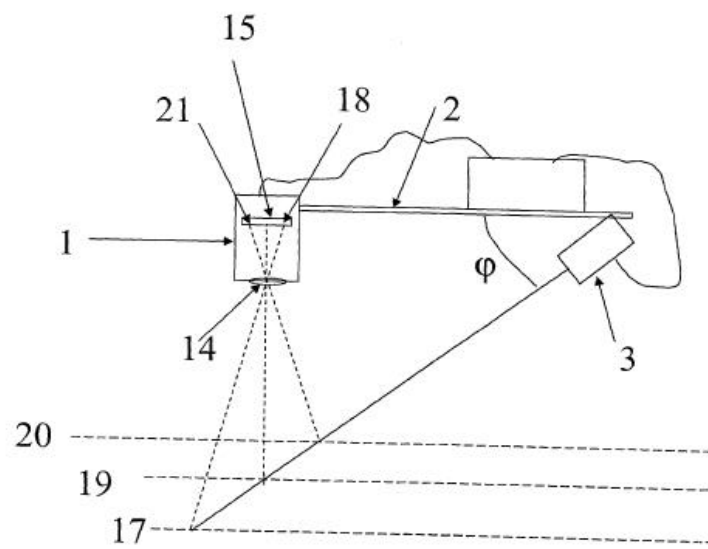
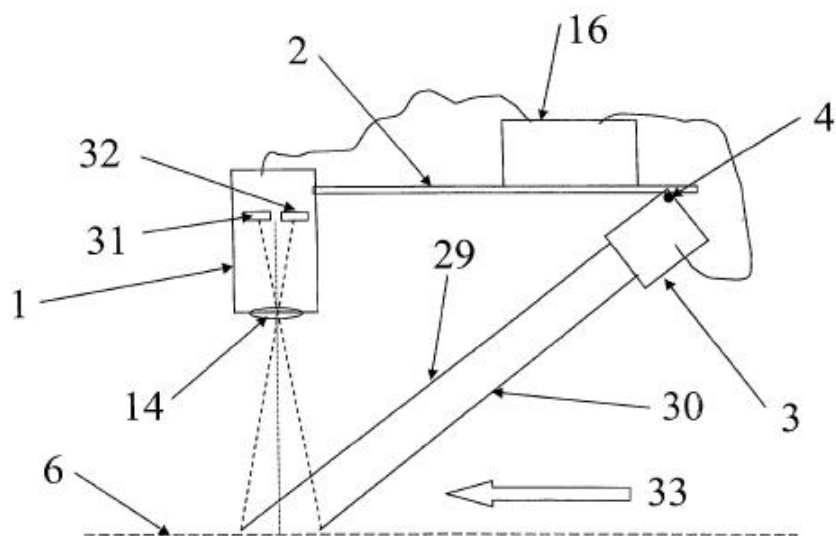
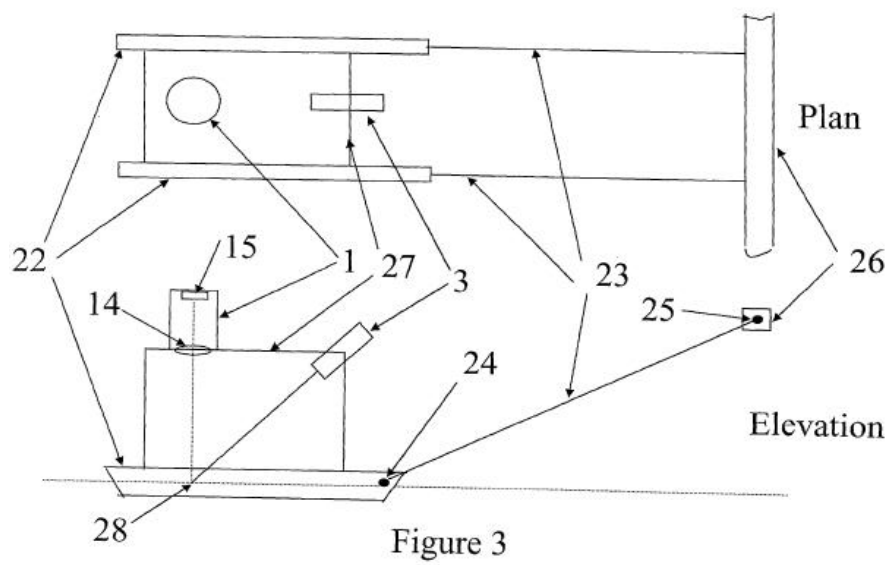


Figure 2



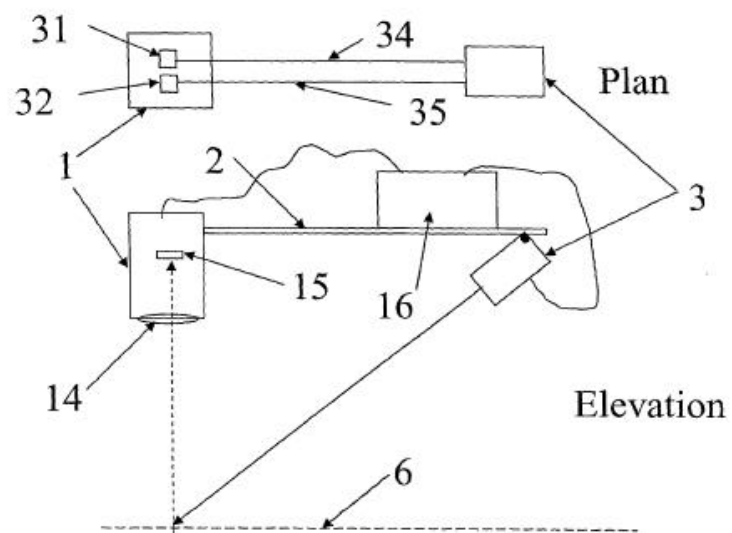


Figure 5

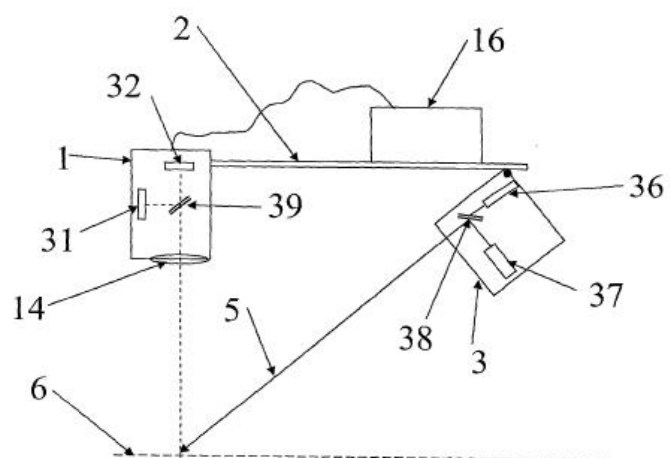


Figure 6

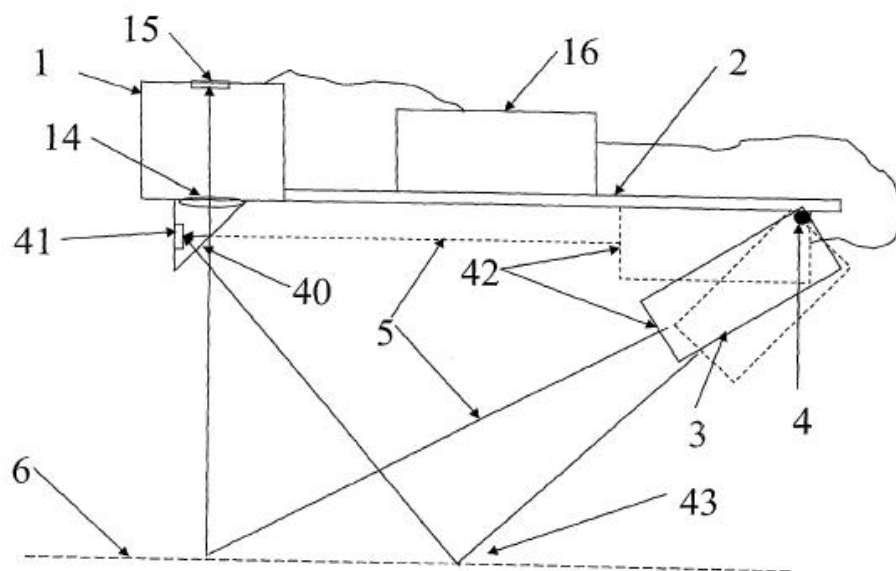


Figure 7

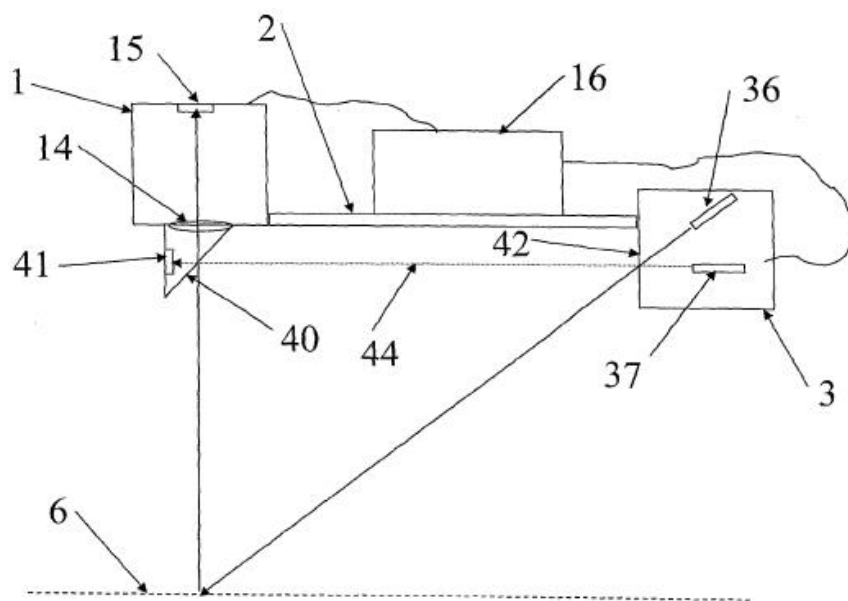


Figure 8

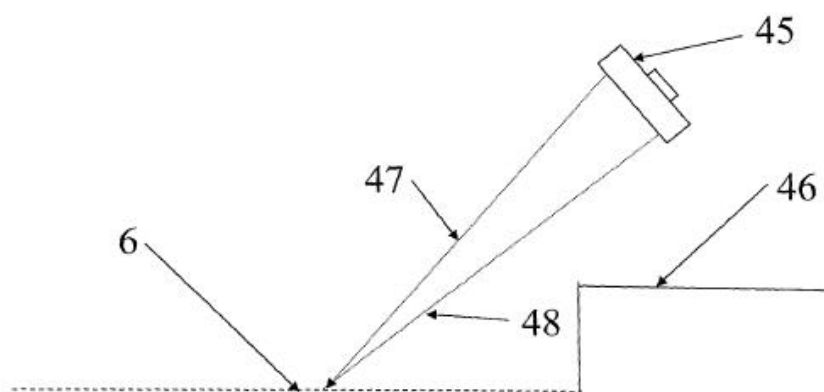


Figure 9

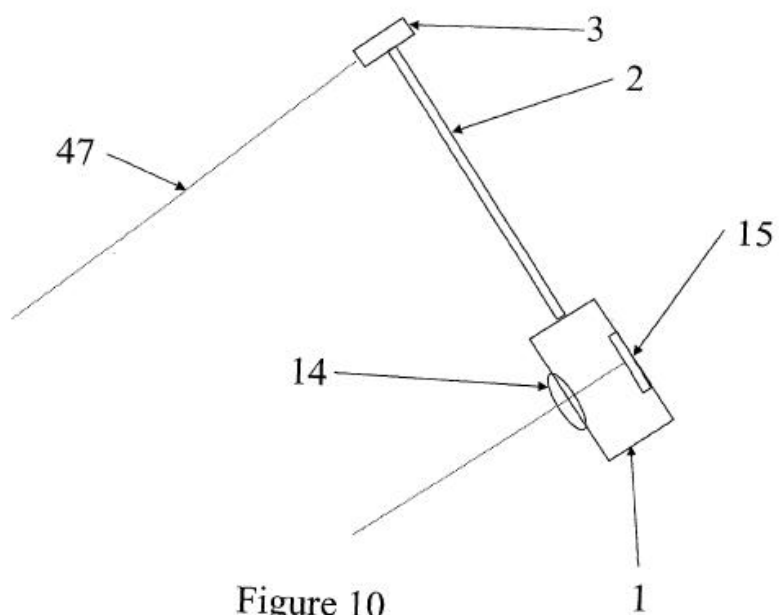


Figure 10

European Patent
Office

EUROPEAN SEARCH REPORT

Application Number
EP 02 25 1861

DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT			
Category	Citation of document with indication, where appropriate, of relevant passages	Relevant to claim	CLASSIFICATION OF THE APPLICATION (Int.Cl.7)
D,X	US 3 309 956 A (HACH CLIFFORD C) 21 March 1967 (1967-03-21) * column 1, line 65 - column 2, line 35; figure 1 *	1,17,18, 20	G01N21/47 G01N21/64
Y	----- US 4 668 860 A (ANTHON ERIK W) 26 May 1987 (1987-05-26) * column 2, line 20-34 * * column 3, line 10-19 * * figures 1,2,4-6 *	1,4,8, 10,17	
X	----- GB 2 130 742 A (GEN ELECTRIC) 6 June 1984 (1984-06-06) * column 1, line 60 - column 3, line 24; figures 1,3 *	1,4,6,12	
D,Y	----- US 5 400 137 A (WINSLOW GREGORY A ET AL) 21 March 1995 (1995-03-21) * column 3, line 38 - column 4, line 56; figure 1 *	2,3,21	
Y	----- US 5 461 236 A (GRAM HERBERT R ET AL) 24 October 1995 (1995-10-24) * column 2, line 44-56; figures 1B,2 *	5,13	TECHNICAL FIELDS SEARCHED (Int.Cl.7) G01N
Y	----- US 5 489 977 A (WINSLOW GREGORY A ET AL) 6 February 1996 (1996-02-06) * column 1, line 8-14 * * column 7, line 13-15 *	21	
The present search report has been drawn up for all claims			
Place of search MUNICH		Date of completion of the search 14 June 2002	Examiner Hoogen, R
CATEGORY OF CITED DOCUMENTS X : particularly relevant if taken alone Y : particularly relevant if combined with another document of the same category A : technological background O : non-written disclosure P : intermediate document		T : theory or principle underlying the invention E : earlier patent document, but published on, or after the filing date D : document cited in the application I : document cited for other reasons & : member of the same patent family, corresponding document	

EPD FORM 1503 03 J2 (P04001)

**ANNEX TO THE EUROPEAN SEARCH REPORT
ON EUROPEAN PATENT APPLICATION NO.**

EP 02 25 1861

This annex lists the patent family members relating to the patent documents cited in the above-mentioned European search report. The members are as contained in the European Patent Office EDP file on
The European Patent Office is in no way liable for these particulars which are merely given for the purpose of information.

14-06-2002

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)		Publication date
US 3309956	A	21-03-1967	NONE		
US 4668860	A	26-05-1987	GB	2181540 A , B	23-04-1987
GB 2130742	A	06-06-1984	DE	3329375 A1	24-05-1984
			FR	2536532 A1	25-05-1984
			JP	59092310 A	28-05-1984
US 5400137	A	21-03-1995	NONE		
US 5461236	A	24-10-1995	AU	4406293 A	04-01-1994
			WO	9325891 A1	23-12-1993
US 5489977	A	06-02-1996	NONE		

APPENDICE B – Operazioni implementate in Maple

```
> with(linalg);
[BlockDiagonal, GramSchmidt, JordanBlock, LUdecomp, QRdecomp, Wronskian, addcol, addrow, adj, adjoint, angle,
augment, backsub, band, basis, bezout, blockmatrix, charmat, charpoly, cholesky, col, coldim, colspace, colspan,
companion, concat, cond, copyinto, crossprod, curl, definite, delcols, delrows, det, diag, diverge, dotprod, eigenvals,
eigenvalues, eigenvectors, eigenvects, entermatrix, equal, exponential, extend, ffgausselim, fibonacci, forwardsub,
frobenius, gausselim, gaussjord, geneqns, genmatrix, grad, hadamard, hermite, hessian, hilbert, htranspose, ihermite,
indexfunc, innerprod, intbasis, inverse, ismith, issimilar, iszero, jacobian, jordan, kernel, laplacian, leastsqrs, linsolve,
matadd, matrix, minor, minpoly, mulcol, mulrow, multiply, norm, normalize, nullspace, orthog, permanent, pivot, potential,
randmatrix, randvector, rank, ratform, row, rowdim, rowspace, rowspan, rref, scalarmul, singularvals, smith, stackmatrix,
submatrix, subvector, sumbasis, swapcol, swaprow, sylveste, toeplitz, trace, transpose, vandermonde, vecpotent, vectdim,
vector, wronskian]
```

(1)

```
> p:= vector(3, [a,b,c]);
```

$$p := \begin{bmatrix} a & b & c \end{bmatrix}$$

(2)

```
> A := matrix( 18, 3, [[0.09389389,0.40046166,1], [0.10243876,0.29365281,1], [0.16819541,
0.15412744,1], [0.21613742,0.55164305,1], [0.22724113,0.38370438,1], [0.20336395,
0.10431836,1], [0.13084940, 0.49348388,1], [0.11090968,0.30747396,1], [0.14372181,
0.09002901,1], [0.22309731,0.51168206,1], [0.25486540,0.40623358,1], [0.28979033,
0.12941998,1], [0.41820918,0.80985963,1], [0.47966914,0.68489230,1], [0.54020093,
0.21729668,1], [0.61845610,1.05434089,1], [0.60497120,0.82256403,1], [0.47647838,
0.23076616,1]]);
```

$$A := \begin{bmatrix} 0.09389389 & 0.40046166 & 1 \\ 0.10243876 & 0.29365281 & 1 \\ 0.16819541 & 0.15412744 & 1 \\ 0.21613742 & 0.55164305 & 1 \\ 0.22724113 & 0.38370438 & 1 \\ 0.20336395 & 0.10431836 & 1 \\ 0.13084940 & 0.49348388 & 1 \\ 0.11090968 & 0.30747396 & 1 \\ 0.14372181 & 0.09002901 & 1 \\ 0.22309731 & 0.51168206 & 1 \\ 0.25486540 & 0.40623358 & 1 \\ 0.28979033 & 0.12941998 & 1 \\ 0.41820918 & 0.80985963 & 1 \\ 0.47966914 & 0.68489230 & 1 \\ 0.54020093 & 0.21729668 & 1 \\ 0.61845610 & 1.05434089 & 1 \\ 0.60497120 & 0.82256403 & 1 \\ 0.47647838 & 0.23076616 & 1 \end{bmatrix}$$

(3)

```
> Atrasp:=transpose(A);
```

```
Atrasp := [[0.09389389,0.10243876,0.16819541,0.21613742,0.22724113,0.20336395,0.13084940,0.11090968,0.14372181,
0.22309731,0.25486540,0.28979033,0.41820918,0.47966914,0.54020093,0.61845610,0.60497120,0.47647838],
[0.40046166,0.29365281,0.15412744,0.55164305,0.38370438,0.10431836,0.49348388,0.30747396,0.09002901,
0.51168206,0.40623358,0.12941998,0.80985963,0.68489230,0.21729668,1.05434089,0.82256403,0.23076616],
[1.11111111,1.11111111,1.11111111,1.11111111,1.11111111,1.11111111,1.11111111,1.11111111,1.11111111,
1.11111111,1.11111111,1.11111111,1.11111111,1.11111111,1.11111111,1.11111111,1.11111111]]
```

(4)

```
> B:=evalm(Atrasp&*A);
```

$$B := \begin{bmatrix} 2.108404163 & 2.732294542 & 5.30248942 \\ 2.732294542 & 4.536211037 & 7.64594986 \\ 5.30248942 & 7.64594986 & 18 \end{bmatrix}$$

(5)

```
> Binv:=inverse(B);
```

$$Binv := \begin{bmatrix} 2.720284394 & -1.013305129 & -0.3709221671 \\ -1.013305129 & 1.153610679 & -0.1915227600 \\ -0.3709221671 & -0.1915227600 & 0.2461769050 \end{bmatrix}$$

(6)

```

> SST:=vector(18,[4,7,10,7,10,13,10,13,15,12,14,17,18,21,25,21,24,28]);
SST:= [ 4 7 10 7 10 13 10 13 15 12 14 17 18 21 25 21 24 28 ] (7)
> M:=evalm(Binv&Atrasp);
M:= [ [-0.5212939374, -0.3898195054, -0.0695609436, -0.3419496484, -0.1415712838, 0.0765792832, -0.5150243330,
-0.3807812362, -0.0711848279, -0.2825240922, -0.0892543671, 0.2862480156, -0.0539091779, 0.2399094285,
0.8783901529, 0.2430852779, 0.4412631964, 0.6913980009],
[ 0.1753109272, 0.0434365366, -0.1841529709, 0.2258453972, 0.0208581078, -0.2772497195, 0.2451751458, 0.0507971362,
-0.2332983798, 0.1726934802, 0.0188562191, -0.3358685167, 0.3189664506, 0.1125251114, -0.4882353625, 0.3980914118,
0.1443754693, -0.4081264398],
[ 0.1346520574, 0.1519389015, 0.1542705863, 0.0603545453, 0.0884000107, 0.1507653677, 0.1031285673, 0.1461497847,
0.1756246953, 0.0654264069, 0.0738387021, 0.1139003760, -0.0640527019, -0.0629154755, 0.0041871455, -0.1851524491,
-0.1357600568, 0.0252435398]]
> evalm(M&SST);
[ 41.81658098 -10.11586517 6.922967850 ] (9)
>

```

DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- WRC Ref: Non-contact organic load monitor – User specification V1.3, June 2012;
- WRC Ref: Loadmon Field Prototype Design Specification - P9176/15546-0, July 2012;
- WRC Ref: S.I.Mon.A. project – Options for Loadmon equipment and WRC support - UC9282/15900-0, November 2012;
- WRC Ref: Loadmon system documentation - UC9846.01, November 2013;
- WRC Ref: Loadmon system documentation - UC9846.02, March 2014;
- WRC Ref: Loadmon Software User Guide - UC9877/15900-0, March 2014;
- WRC Ref: User Guide – downloading and interpreting data from Loadmon - UC10072.1, April 2014;
- WRC Ref: Common protocol for Loadmon test - 15900-0, July 2014;

Ringraziamenti

Non sono brava nell'arte dello scrivere, preferisco i numeri alle parole, ma ci tengo a ringraziare, in poche righe, tutte le persone che hanno contribuito, in misura diversa, alla mia carriera universitaria e a questo lavoro.

Desidero ringraziare il Professor Angelo Leoperdi, relatore della presente tesi, per avermi proposto questo progetto rivelatosi ancora più interessante di quanto pensassi, per la sua cortesia, la sua costanza nel seguirmi e per aver costruito con me un rapporto alla pari, non professore e tesista, ma due ingegneri che si confrontano risolvendo un problema, tutto ciò ha accresciuto la mia stima nei suoi confronti.

La mia gratitudine va anche a tutto il personale della T.E.A. Tek S.r.l., per la cordialità e il calore con cui sono stata accolta, e per l'atmosfera serena e piacevole che ha accompagnato la mia prima esperienza in azienda.

In particolare, voglio rivolgere un ringraziamento speciale al mio Tutor aziendale, l'Ingegnere Marianna Panico, della quale ho potuto apprezzare, oltre alla notevole disponibilità e professionalità nel fornirmi insegnamenti preziosi per il mio lavoro, anche la grande simpatia e umiltà.

Ai componenti dell'ufficio di programmazione, Alfonso e Massimo, che mi hanno ospitato durante il periodo di stage e, nonostante gli incalcolabili impegni hanno sempre trovato il tempo per dispensare consigli, suggerimenti e sorrisi.

Vorrei ringraziare profondamente i miei genitori che sono le mie colonne, punto di riferimento da cui parto e a cui torno in ogni circostanza. Ogni mio successo è anche il loro e non deluderli è il mio obiettivo principale. Un piccolo grazie di cuore è rivolto anche ad Elena, la sorellona che ha sempre avuto fiducia nelle mie capacità e a Stefano, la peste della famiglia, un tornado di vitalità e spensieratezza che, nauseandomi con le sue canzoni preferite al massimo del volume, ha reso la stesura della tesi più divertente.

Un simpatico grazie va a tutti gli amici di sempre e ai colleghi che hanno “alleggerito” questo percorso. L'affetto maggiore mi è stato riservato da Asia, fedelissima compagna durante tutto il tempo dedicato allo studio, e non solo.

Dulcis in fundo, grazie a Michele, sempre pronto ad incoraggiarmi e ad infondere in me quella tranquillità d'animo di cui ho avuto disperatamente bisogno il giorno prima di ogni esame!.

Ah, poi ringrazio me stessa, per essere riuscita ad ottenere questo nuovo traguardo, affrontando le difficoltà incontrate senza mai abbattermi.