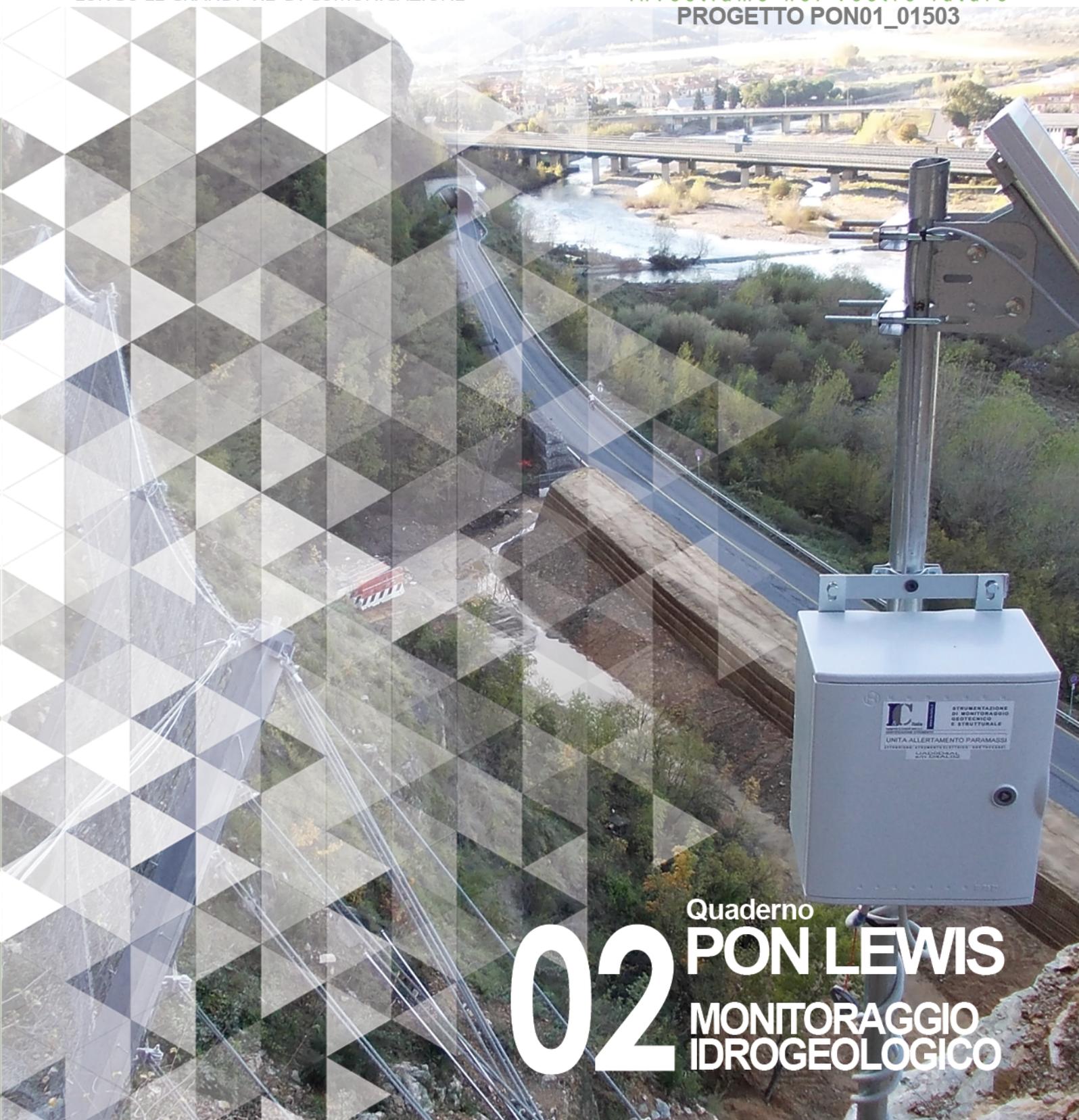


SISTEMI INTEGRATI PER IL MONITORAGGIO, L'EARLY WARNING
E LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO
LUNGO LE GRANDI VIE DI COMUNICAZIONE



investiamo nel vostro futuro
PROGETTO PON01_01503



Quaderno
02 PON LEWIS
**MONITORAGGIO
IDROGEOLOGICO**



autostrade//Tech



A cura di Marco De Marinis | **DELIVERABLE WP 2.1**

Monitoraggio idrogeologico

Sistemi integrati per il monitoraggio, l'early warning e la mitigazione del rischio idrogeologico lungo le grandi vie di comunicazione"

Premessa

Frane e inondazioni sono un problema di grande rilevanza nel nostro Paese. Negli ultimi anni le vittime e i danni dei disastri idrogeologici hanno raggiunto livelli inaccettabili e impongono un grande e immediato impegno della comunità nazionale per cercare di mitigare il livello di rischio, utilizzando strategie articolate ed efficaci capaci di integrare, in una visione organica, interventi strutturali e non strutturali.

Su questi temi l'Università della Calabria è impegnata da anni in attività di studio e di ricerca di rilevanza nazionale e internazionale e nella diffusione e promozione della cultura della previsione e prevenzione del rischio idrogeologico. Nel 2011 insieme ad altri partner, ha promosso un progetto di ricerca triennale, "Sistemi integrati per il monitoraggio, l'early warning e la mitigazione del rischio idrogeologico lungo le grandi vie di comunicazione", finalizzato allo sviluppo di un sistema complesso e articolato di preannuncio delle frane da impiegare per le fasi di previsione/prevenzione del rischio idrogeologico.

Il Progetto, indicato con l'acronimo LEWIS (Landslide Early Warning Integrated System), è stato svolto, nel periodo 2012-2014, nel quadro del Programma Operativo Nazionale 2007-13 "Ricerca e Competitività".

I risultati conseguiti sono descritti in questa collana di Quaderni PON LEWIS.

Il progetto è stato sviluppato dall'Università della Calabria e Autostrade Tech S.p.A. insieme ai partner industriali Strago e TDGroup, alle Università di Catania, di Reggio Calabria e di Firenze e al CINID (Consorzio Interuniversitario per l'Idrologia). Per l'Ateneo calabrese hanno partecipato diversi laboratori e gruppi di ricerca: CAMILab (con funzione di coordinamento), μ Wave, Geomatica, Nems, Geotecnica, Dipartimento di matematica.

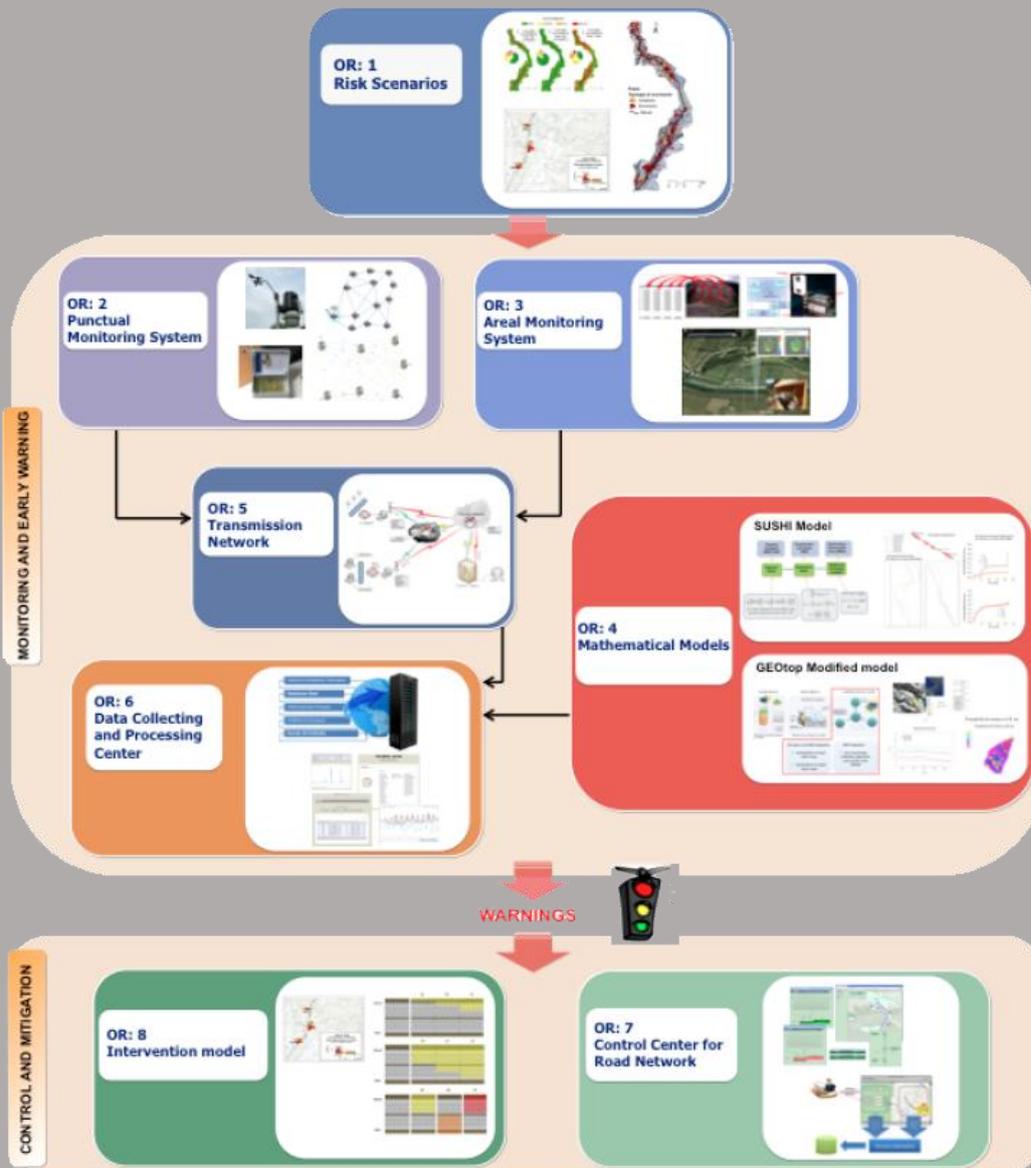


Figura 1 - Articolazione del sistema integrato di monitoraggio dei versanti e di preannuncio dei movimenti franosi

Il progetto è finalizzato allo sviluppo di un sistema di monitoraggio dei versanti e di preannuncio dei movimenti franosi che possono interessare le grandi vie di comunicazione e all'identificazione dei conseguenti interventi non strutturali di mitigazione.

Il sistema è articolato in due sottosistemi (fig. 1):

- ✓ Monitoraggio e preannuncio,
- ✓ Controllo e mitigazione,

che richiedono la preventiva individuazione degli scenari di rischio ossia dei danni che l'eventuale attivazione di una frana può produrre sugli elementi a rischio presenti (infrastruttura viaria, autoveicoli, persone). La procedura originale sviluppata nell'ambito del progetto prevede l'identificazione, lungo il tratto autostradale di interesse, delle aree soggette a movimenti franosi e la conseguente definizione dei relativi scenari di evento e di rischio.

Il sottosistema *Monitoraggio e preannuncio* è formato da diverse componenti: rete di monitoraggio "puntuale" che comprende sensori che misurano localmente l'inizio degli spostamenti superficiali o profondi; rete di monitoraggio "areale" che include sensori che controllano a distanza il fenomeno franoso con tecniche radar; modelli matematici di simulazione dell'innesco e della propagazione dei movimenti franosi. Nel progetto LEWIS sono state sviluppate numerose componenti innovative e sono state modificate e migliorate altre componenti già esistenti. In particolare tra i sensori puntuali sono stati sviluppati i sistemi SMAMID e POIS; tra quelli areali sono stati realizzati un radar in banda L, uno scatterometro, un interferometro; tra i modelli si sono sviluppati e/o migliorati: GEOtop, SUSHI, SCIDDICA.

La raccolta dei dati misurati dai sensori è affidata ad un unico sistema di trasmissione dati che trasmette anche le informazioni necessarie per il funzionamento dei modelli. Il sottosistema è completato da un Centro di acquisizione ed elaborazione dei dati (CAED) che, sulla base dei dati misurati dai sensori e delle indicazioni dei modelli, valuta la situazione di pericolo lungo il tronco autostradale emettendo i relativi livelli di criticità.

I livelli di criticità emessi dal CAED sono l'elemento di collegamento tra il sottosistema *Monitoraggio e preannuncio* e il sottosistema *Controllo e mitigazione*. Gli avvisi di criticità sono acquisiti dal Centro di comando e controllo del traffico (CCCT) che, sulla base di un modello di intervento predefinito, attiva le procedure standardizzate per la mitigazione del rischio, che vanno dalla

sorveglianza diretta del tratto di interesse da parte di squadre tecniche all'interruzione del traffico su entrambe le direzioni di marcia.

Il progetto prevede anche lo sviluppo di attività sperimentali su tre tronchi autostradali lungo la A3, la A16 e la A18, nonché l'erogazione di un Master di secondo livello denominato ESPRI (ESperto in Previsione/Prevenzione Rischio Idrogeologico).

Il progetto di ricerca è stato organizzato in Obiettivi Realizzativi (OR), ciascuno dei quali suddiviso in Work Package (WP), a loro volta articolati in Attività Elementari (AE). In totale erano previste 11 OR, 47 WP e 243 AE. In particolare le OR 1-8 riguardano la ricerca e si articolano in 26 WP e 139 AE. Le OR 9-11 sono dedicate a sperimentazione, governance e trasferimento tecnologico, integrazione e aggiornamento dell'attività di ricerca nella fase di Sviluppo Sperimentale e si articolano complessivamente in 21 WP e 104 AE.

I Quaderni che compongono questa collana sono stati costruiti con riferimento ai singoli WP, per la parte che riguarda la ricerca, e quindi ogni Quaderno contiene la descrizione dei risultati conseguiti nel WP, articolata in base alle AE previste.

Sono, inoltre, previsti altri tre Quaderni:

Quaderno 0 che contiene una descrizione di sintesi, in inglese, dei risultati conseguiti nell'ambito del progetto.

Quaderno 28 che contiene l'informazione relativa alle attività di divulgazione dei risultati scientifici.

Quaderno 29 che contiene la descrizione dei risultati conseguiti con l'attività formativa.

Il Quadro editoriale complessivo è riportato in tabella 1:

QUADERNO	OR	WP	TITOLO
0	-	-	Research outcomes
01 Parte prima	1	1.1	Linee guida per l'identificazione di scenari di rischio
01 Parte seconda	1	1.1	Linee guida per l'identificazione di scenari di rischio
02	2	2.1	Monitoraggio idrogeologico
03 Parte prima	2	2.2	Monitoraggio con unità accelerometriche (Sistema SMAMID)
03 Parte seconda	2	2.2	Monitoraggio con unità accelerometriche (Sistema SMAMID)
04	2	2.3	Circuiti integrati a bassa potenza per sistemi di monitoraggio con unità accelerometriche
05	2	2.4	Monitoraggio con sensori puntuali di posizione e inclinazione (Sistema POIS)
06	3	3.1	Sviluppo di uno scatterometro a risoluzione variabile
07	3	3.2	Elettronica di bordo dello scatterometro ed inclinazione
08	3	3.3	Sviluppo di un radar in banda L
09	3	3.4	Tecniche di analisi e sintesi di segnali radar per la simulazione accurata di scenari complessi
10	3	3.5	Elettronica di bordo del radar in banda L

QUADERNO	OR	WP	TITOLO
11	3	3.6	Sistemi interferometrici radar ad apertura sintetica basati a terra
12	4	4.1	Modello areale per il preannuncio delle frane da innesco pluviale (Modello GEOtop)
13	4	4.2	Modelli completi di versante di tipo puntuale per il preannuncio di movimenti franosi (Modello SUSHI)
14	4	4.3	Modelli di propagazione delle frane tipo colate (Modello SCIDDICA)
15	5	5.1	Rete Wireless di Telecomunicazioni: sviluppo e scelta dei parametri di progetto
16	6	6.1	CAED. Acquisizione dati: architettura del sistema
17	6	6.2	CAED. Elaborazione dei dati
18	7	7.1	CCCT. Progettazione
19	7	7.2	CCCT. Interfaccia verso il centro di acquisizione ed elaborazione dati
20	7	7.3	CCCT. Interfaccia con altre centrali operative e canali di diffusione delle notizie
21	7	7.4	CCCT. Modulo per la presentazione e convalida delle allerte
22	7	7.5	CCCT. Modulo per la gestione delle informazioni di traffico
23	7	7.6	CCCT. Integrazioni con moduli speciali

QUADERNO	OR	WP	TITOLO
24	8	8.1	Definizione del modello di intervento e predisposizione del Piano di Emergenza
25	8	8.2	CCCT. Gestione delivery allerte e attivazione squadre d'intervento
26	8	8.3	CCCT. Gestione percorsi alternativi
27	9	9.1 - 9.11	Sperimentazione
28	10	10.1 - 10.2	Piano di comunicazione e diffusione
29	-	-	Master ESPRI (Esperto in Previsione/Prevenzione Rischio Idrogeologico)

Tabella 1 - Quadro editoriale complessivo della collana di Quaderni PON LEWIS

31 dicembre 2014

Il Responsabile Scientifico del progetto PON LEWIS

Pasquale Versace

INDICE

1 Introduzione

ATTIVITA' ELEMENTARE 2.1.1

2 Analisi

2 **2.1.1.1 Analisi dello scenario di riferimento**

3 2.1.1.1.1 Classificazione delle frane

7 **2.1.1.2 Raccolta ed analisi dei requisiti utente**

7 2.1.1.2.1 Spostamenti superficiali

10 2.1.1.2.2. Spostamenti profondi

16 **2.1.1.3 Definizione delle specifiche tecniche e funzionali**

17 2.1.1.3.1 Monitoraggio delle pressioni neutre

17 2.1.1.3.2 Pressioni neutre positive

25 2.1.1.3.3 Pressioni neutre negative

32 2.1.1.3.4 Specifiche tecniche e funzionali

ATTIVITA' ELEMENTARE 2.1.2

34 **Progettazione**

35 **2.1.2.1 Definizione dell'architettura generale del sistema**

37 **2.1.2.2 Progettazione HW e FW**

37 2.1.2.2.1 Progettazione Hardware

- 40 2.1.2.2.2 Progettazione Firmware
- 42 **2.1.2.3 Progettazione SW unità locale**

ATTIVITA' ELEMENTARE 2.1.3

49 **Realizzazione e Test**

- 49 **2.1.3.1 Realizzazione moduli HW e relativo FW**
- 51 **2.1.3.2 Realizzazione moduli SW**
- 55 **2.1.3.3 Integrazione e test**

Introduzione

TD Group nell'ambito del WP 2.1, ha studiato, progettato e realizzato un sistema innovativo per la misura e la trasmissione di parametri meteorologici, idrogeologici e geofisici, che permette di monitorare in modo puntuale, in tempo reale e con continuità, la stabilità ed i movimenti dei versanti e di fornire i dati di input per i modelli matematici che valutano la probabilità di innesco frana. In particolare è stato realizzato un sistema basato sull'impiego di reti wireless di tipo innovativo, in grado di acquisire ad intervalli configurabili i dati rilevati e con minimo consumo energetico. Ciò ha permesso la creazione di reti e nodi di acquisizione completante indipendenti da fonti di alimentazione esterne quali la rete elettrica pubblica o generatori alternati autonomi. Un pacco batterie e un pannello solare, di dimensioni congrue ai consumi delle reti di sensori connessi, rappresenta, infatti, l'unica fonte di energia del sistema e di ogni nodo. Ciò permetterà il funzionamento delle reti di monitoraggio per un tempo indefinito, e la quasi totale assenza di manutenzione. Il lavoro svolto si basa sullo studio e la realizzazione di una rete sperimentale di smart sensors, ossia di reti di sensori intelligenti, caratterizzati da elevata flessibilità di utilizzo e forte autonomia operativa che ne permettono il funzionamento in campo per lunghi periodi senza intervento umano.

Per tener conto della grande variabilità spazio-temporale dei fattori che si intendono controllare e della enorme mole di dati ed elaborazioni necessarie per poter fare analisi e previsioni affidabili è stato sviluppato un sistema Firmware/Software ad hoc che, partendo dal protocollo sviluppato da OR6, ne permette la piena configurabilità e l'adattamento a varie tipologie di connessione con i sensori (RS485, Seriale, SDI12, In corrente 4-20mA e tensione). Ciò ha permesso di creare nodi wireless che, pur nella loro semplicità, connettono diverse famiglie di sensori meteorologici, idrogeologici e geofisici senza per questo cambiare la loro struttura hardware. Il presente Deliverable descrive questo sistema, il documento è organizzato seguendo le attività elementari previste nella proposta progettuale: A.E.2.1.1 – Analisi (Sezione 2), A.E.2.1.2 – Progettazione (Sezione 3), e A.E.2.1.3 – Realizzazione e test (Sezione 4).

Analisi

2.1.1.1 ANALISI DELLO SCENARIO DI RIFERIMENTO

In questa prima fase sono state studiate e approfondite le caratteristiche dello scenario nel quale dovrà operare il sistema di monitoraggio, in termini di caratteristiche ambientali, condizioni di funzionamento, caratteristiche minime da garantire per l'uso operativo.

Inoltre, sono stati appresi quali sono i fattori predisponenti e innescanti di una frana, è stata adottata una classificazione delle frane e le potenziali cause determinanti (classificazione in base alla forma della superficie di scorrimento ed al meccanismo di rottura, classificazione di Varnes, 1978).

Infine, per garantire l'uso operativo del sistema, sono state approfondite le specifiche del protocollo di comunicazione confrontando tra loro anche diversi dispositivi di comunicazione, allo scopo di verificare le modalità di funzionamento e valutare eventuali problematiche che si potrebbero presentare nello sviluppo del sistema.

Una frana è definita come lo spostamento di una massa di roccia, terra e detrito lungo un pendio prevalentemente ad opera della gravità. Quest'ultima è quindi la forza che "governa" il fenomeno. Un fenomeno di questo tipo è provocato da due distinte categorie di fattori:

- Fattori strutturali o predisponenti, sono quei fattori che mettono un pendio nelle condizioni di essere soggetto ad una frana e sono di tipo geologico, litologico, idrologico, orografico, morfologico, idrogeologico, vegetazionale e antropico.
- Fattori determinanti o innescanti, provocano un impulso esterno che dà il via al fenomeno, ad esempio eventi meteorici intensi, erosione al piede di un versante, sismi, scioglimento delle nevi, innalzamento repentino o stazionamento elevato delle falde.

Il movimento franoso si innesca nel momento in cui una fascia di terreno lungo un pendio, le tensioni tangenziali mobilitate per l'equilibrio, eguagliano la resistenza al taglio del terreno stesso. Quindi si può verificare:

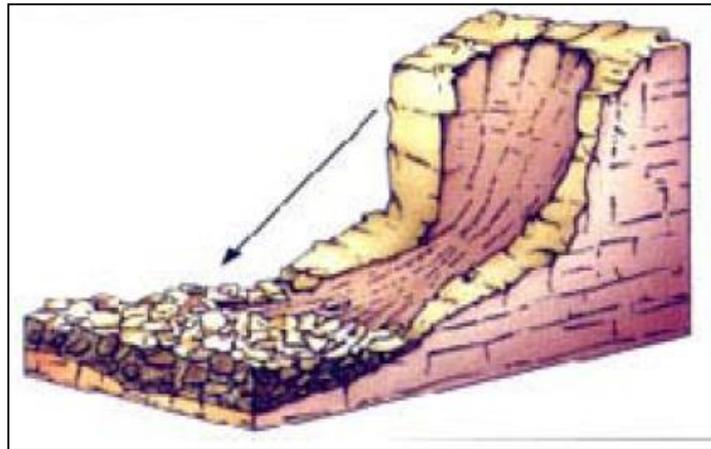
- Un aumento della domanda di resistenza (aumento di carico dovuto ad esempio alla costruzione di manufatti lungo il pendio o all'aumento dell'acclività).
- Una riduzione della resistenza al taglio (aumento delle pressioni interstiziali a causa dell'innalzamento della falda, fenomeni fisici, chimici e biologici).

> 2.1.1.1.1 Classificazione delle frane¹

La classificazione è in base: alla forma della superficie di scorrimento ed al meccanismo di rottura.

La classificazione di Varnes (1978) prevede 6 classi di frane fondamentali:

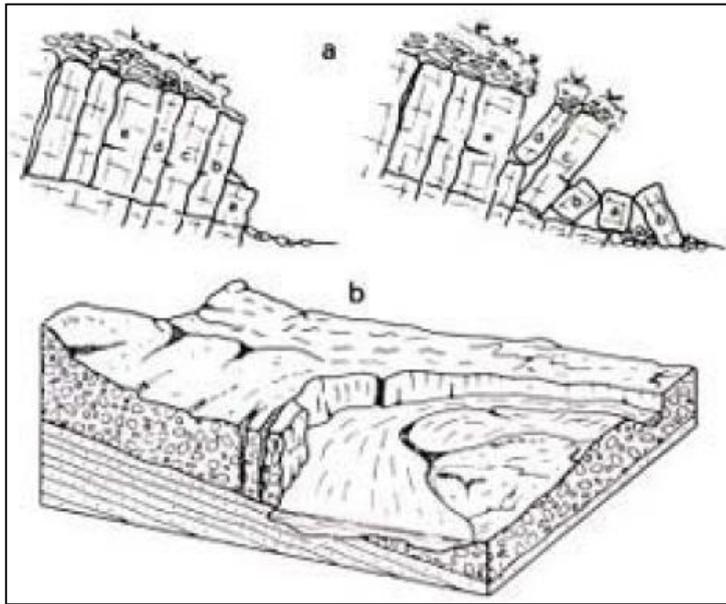
Crolli



Spostamento dei materiali in caduta libera e successivo movimento, per salti e/o rimbalzi, dei frammenti di roccia. Generalmente si verificano in versanti interessati da preesistenti discontinuità strutturali (faglie e piani di stratificazione) e sono, di norma, improvvisi con velocità di caduta dei materiali elevata. La frana di crollo avviene in pareti subverticali di roccia, dalle quali si staccano blocchi di materiale che precipitano al piede della scarpata. Cause determinanti: escursioni termiche (gelo e disgelo), erosione alla base, azioni sismiche e azioni antropiche.

¹ Dal documento tecnico della TD Group S.p.A. "Descrizione_Generale_Frane.doc" (SAL n. 2)

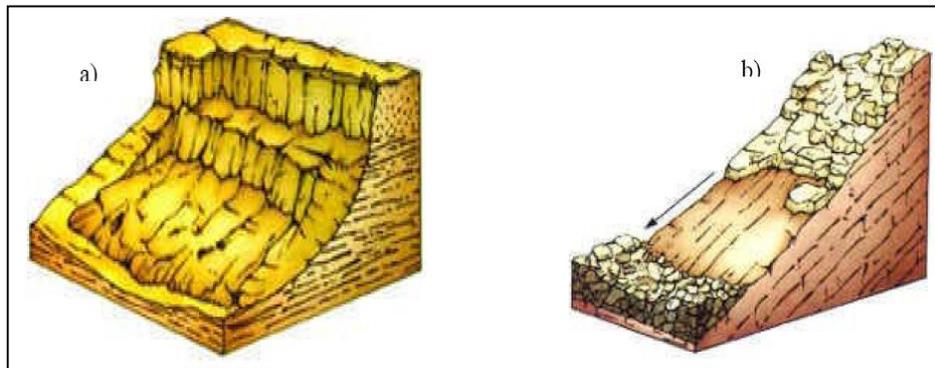
Ribaltamenti



Ribaltamento frontale del materiale che ruota intorno ad un punto al di sotto del baricentro della massa. I materiali interessati sono generalmente rocce lapidee che hanno subito intensi processi di alterazione e che presentano delle superfici di discontinuità (faglie o superfici di strato). Le frane per ribaltamento si verificano di norma nelle zone dove le superfici di strato risultano essere sub-verticali o lungo le sponde dei corsi d'acqua per scalzamento al piede.

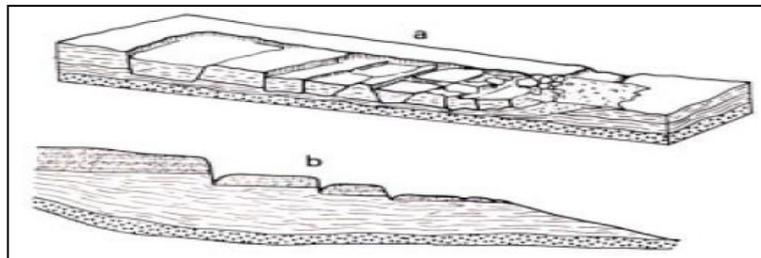
Cause determinanti: escursioni termiche (gelo e disgelo), erosione alla base, azioni sismiche e azioni antropiche.

Scorrimenti



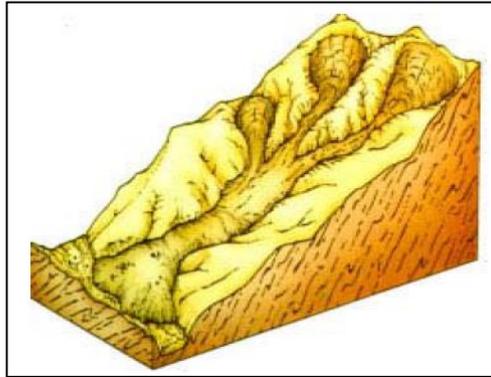
In base alla forma della superficie di scorrimento si distinguono in scorrimenti rotazionali e scorrimenti traslativi. Lo scorrimento rotazionale avviene in terreni o rocce dotati di coesione e si sviluppa lungo una superficie generalmente concava che si produce al momento della rottura del materiale. La parte inferiore del cumulo di frana tende ad allargarsi e dà luogo spesso a frane di colamento. Lo scorrimento traslazionale invece consiste nel movimento di masse rocciose o di terreni lungo una superficie di discontinuità poco scabrosa e preesistente disposta a frana-poggio. Cause determinanti: acque di infiltrazione, azioni antropiche e terremoti.

Espansioni laterali



Movimenti complessi, a componente orizzontale prevalente, che hanno luogo quando una massa rocciosa lapidea e fratturata giace su un terreno dal comportamento molto plastico.

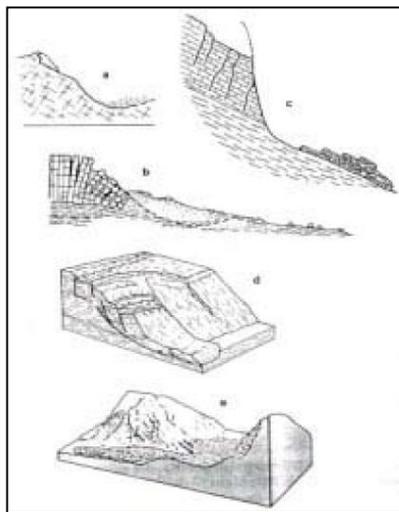
Colamenti



Movimenti franosi, anche molto estesi, che si verificano nei terreni sciolti. La superficie di scorrimento non è ben definibile, la velocità è variabile da punto a punto della massa in frana, talvolta è molto elevata con conseguenze catastrofiche. Il materiale in frana ha il comportamento di un fluido viscoso e segue l'andamento di preesistenti solchi di erosione che ne costituiscono l'alveo.

Fenomeni complessi

Combinazioni di due o più tipi di frane precedentemente descritte, ad esempio: crollo di roccia e colata di detrito, scorrimento rotazionale e ribaltamento, scorrimento traslativo di blocchi e crollo di roccia, etc.



2.1.1.2 RACCOLTA ED ANALISI DEI REQUISITI UTENTE

Sono state raccolte ed analizzate le necessità tecniche e funzionali espresse dagli utenti e necessarie ad implementare il sistema. La scelta della strumentazione sarà realizzata in base alle caratteristiche cinematiche del movimento franoso e al livello di precisione da conseguire.

Sono stati definiti i punti di rilevazione degli spostamenti, **superficiali e profondi**, come di seguito indicato, e le corrispondenti misure da rilevare. Sono state studiate le caratteristiche dei tipi di misura per valutarne l'implementazione nel progetto (misure topografiche, fotogrammetriche, estensimetriche, con sonde inclinometriche, con pendoli rovesci, con estensimetri in foro, con sonde estensoinclinometriche).

Inoltre, sono state analizzate le modalità di acquisizione delle diverse misure, definite le modalità e le tecniche più appropriate per la trasmissione dei dati al centro di controllo e le possibili forme di controllo della sicurezza e di ridondanza dei collegamenti.

Ad oggi la tecnologia più efficace per la trasmissione dei dati al centro di controllo consiste nell'utilizzare un sistema di acquisizione aperto, che consenta di ospitare qualsiasi tipologia di sensori. Dalle reti di Sensori al CAED, si è ipotizzato un collegamento GPRS per ognuno dei Nodi Coordinatori (Sink), con trasporto TCP/IP su indirizzo pubblico dinamico.

> 2.1.1.2.1 Spostamenti superficiali²

Misure topografiche o geodetiche

Teodoliti: misura degli angoli

Distanziometri: misura delle distanze (tra cui a raggi infrarossi e raggi laser in cui si possono registrare i dati su memorie di massa e predisporre misure in automatico)

Livelli: misura spostamenti verticali

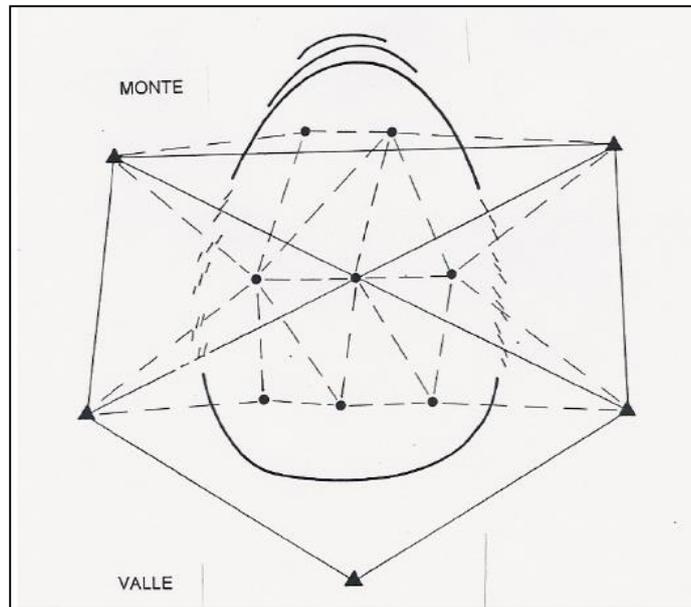
Fasi operative:

- Progettazione della rete di misura
- Realizzazione (Installazione) della rete di misura
- Esecuzioni delle operazioni di misura

² Dal documento tecnico della TD Group S.p.A. "Monitoraggio_Spostamenti.doc" (SAL n. 2)

- Calcolo degli spostamenti

Rete topografica a maglie chiuse:



Scelta dei punti della rete (punti fissi e punti mobili). I punti fissi all'esterno della zona di frana, quelli mobili all'interno. Sono misurati angoli (azimutali e zenitali) e/o distanze.

Si misura la quota dei punti rispetto ad un piano di riferimento assoluto o relativo con livellazioni geometriche ad alta precisione.

Si rilevano le misure planimetriche con teodoliti e distanziometri con tecniche di triangolazione, trilaterazione e triangolaterazione. Queste ultime causano errori di misura minori rispetto alle prime due.

Importante:

- Modalità operative adeguate per compiere le misure in tempi rapidi ed avere un quadro della situazione di un determinato momento.
- Reti a maglie chiuse per avere una migliore compensazione degli errori di misura.

Misure fotogrammetriche

Utilizzo di fotocamere.

- Fotogrammetria aerea (per pendii che si estendono prevalentemente in orizzontale).
- Fotogrammetria terrestre o verticale (per pendii con limitata estensione ed elevate pendenze).

Si valutano gli spostamenti superficiali di punti posti all'interno della zona instabile attraverso la ripresa di punti posti all'esterno in corrispondenza di capisaldi.

Sono tecniche che, nel caso in cui vengano scelte modalità operative adeguate, consentono una stima affetta da errori ridotti. Sono anche economiche (costo pari al 25% delle tecniche topografiche).

Misure estensimetriche e clinometriche

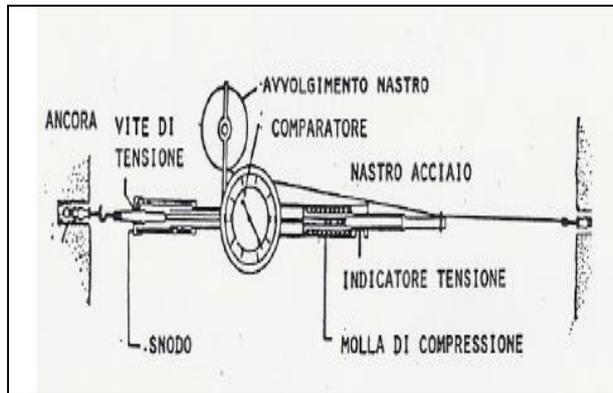
Consentono di rilevare spostamenti superficiali relativi di un punto rispetto ad un altro all'interno dell'area instabile, in modo da valutare l'evoluzione delle fratture e delle fessure nel terreno o su manufatti ad esso collegati. Gli spostamenti, possono ovviamente essere riportati in termini assoluti qualora le relative stazioni di misura siano collegate a reti di controllo topografico.

Vengono generalmente installati con l'asse dello strumento disposto lungo un piano orizzontale. In tale configurazione:

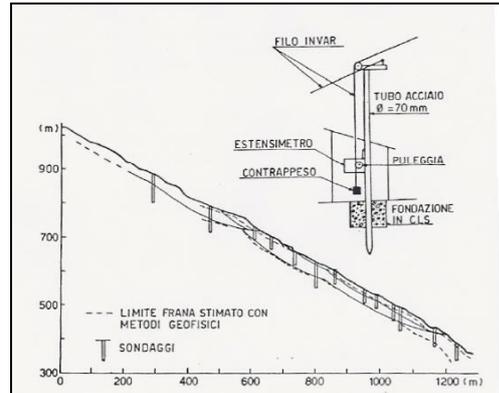
- Estensimetri: (tra cui estensimetri a filo o a nastro) misura della componente orizzontale dello spostamento.
- Clinometri: misura della componente verticale.

Gli strumenti possono essere installati con relativa semplicità e prevedere l'acquisizione delle misure in automatico con trasmissione a stazioni remote; sia la semplice installazione che l'eventuale automazione, richiede l'intervento di personale qualificato.

L'impiego degli estensimetri e dei clinometri è prevalente in fenomenologie che coinvolgono rocce lapidee o tenere.



Estensimetro a nastro



Estensimetro a filo

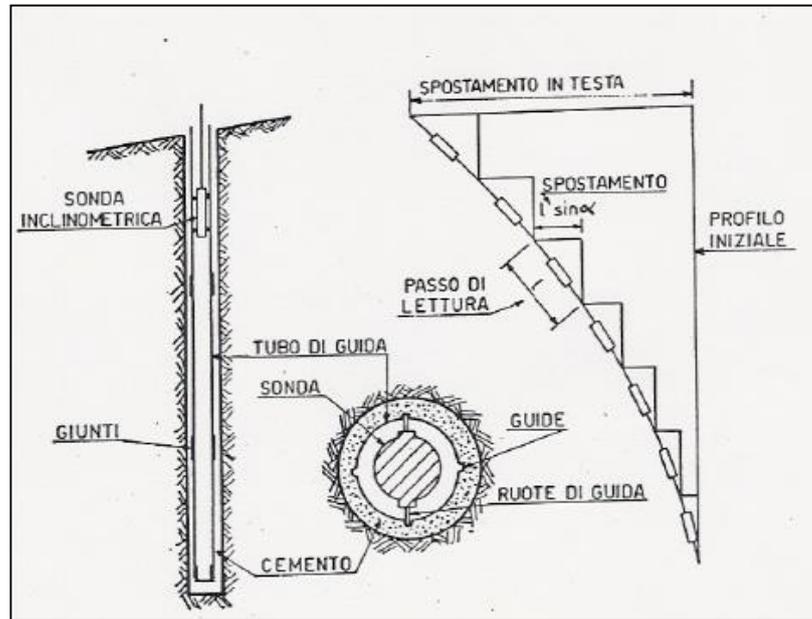
> 2.1.1.2.2 Spostamenti profondi³

Si utilizzano tubi di plastica, generalmente con diametro di 5 cm, cementati in fori di sondaggio. La misura viene eseguita calando al loro interno, con l'ausilio di robusti cavetti d'acciaio, aste metalliche, lunghe generalmente 1m, sino al fondo del tubo. Estrahendo periodicamente le aste sino a piano campagna e valutando in quali condizioni avviene la risalita delle stesse è possibile avere indicazioni circa le profondità dove si concentrano gli spostamenti e, quindi, dove è presumibilmente presente o si sta formando una superficie di scorrimento.

Altre strumentazioni, più costose, consentono di individuare, ad una profondità nota, il superamento di un determinato valore dello spostamento segnalato dall'interruzione di un circuito elettrico.

³ Dal documento tecnico della TD Group S.p.A. "Monitoraggio_Spostamenti.doc" (SAL n. 2)

Misure con sonde inclinometriche



Si cala la sonda inclinometrica all'interno di un tubo, fornito di apposite scanalature e generalmente realizzato in alluminio, i servoaccelerometri, relativamente ai due piani che li contengono, consentono di rilevare l'inclinazione rispetto alla verticale dell'asse longitudinale delle sonde. Attualmente, al fine di consentire l'utilizzo di cavi a lunghezza variabile, la quasi generalità delle sonde prodotte è dotata di un dispositivo elettronico aggiuntivo per il condizionamento del segnale.

Il cavo di collegamento sonda-centralina, oltre a trasmettere il segnale rilevato dai sensori, deve sostenere la sonda e, pertanto, deve avere buone capacità portanti per far fronte alle eventuali difficoltà che si possono incontrare nelle operazioni di recupero della sonda stessa. I dati trasmessi alla centralina possono essere acquisiti manualmente o immagazzinati su memoria di massa e, quindi, direttamente trasferibili su PC.

Gli inclinometri consentono di ottenere una notevole precisione, dell'ordine di 0.01 mm/m.

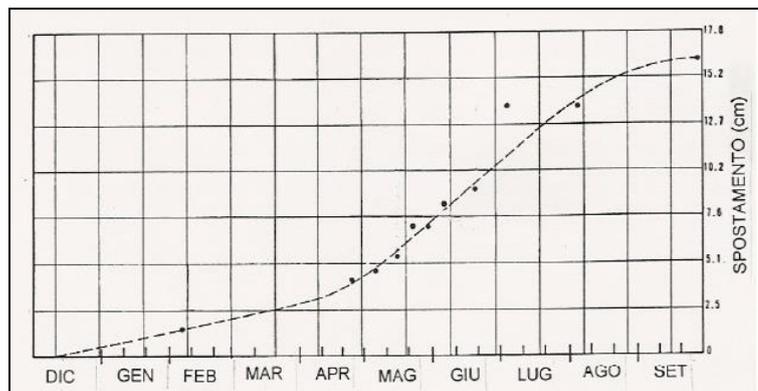
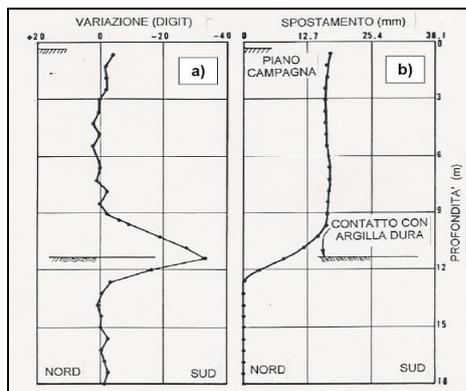
Le operazioni di installazione, per quanto concettualmente semplici, debbono essere eseguite e controllate da personale qualificato, in grado di trovare

soluzioni adeguate ai problemi che eventualmente possono presentarsi nel corso delle operazioni di misura.

Le operazioni di misura, rispettando il passo stabilito, sono generalmente eseguite a partire dal fondo, ed attendendo che la temperatura del sensore sia in equilibrio con quella presente nel foro. Per ogni misura devono essere previste almeno due serie di letture, la seconda delle quali condotta ruotando la sonda di 180° intorno al suo asse principale. Il passo di lettura varia in genere da 0.5 m, per sondaggi poco profondi o quando si rende necessario un elevato livello di definizione della deformata, a 1.0 m, quando si raggiungono profondità elevate oppure non si necessita di informazioni di particolare dettaglio. Nella pratica è in ogni caso buona norma eseguire la prima lettura (o lettura di zero) utilizzando un passo pari a 0.5 m. Nell'ipotesi che il tratto terminale del tubo non sia soggetto a movimenti, lo spostamento alla generica profondità di misura z è dato dalla semplice relazione:

$$\delta = \sum l \sin \alpha$$

Rappresentazione delle misure rispetto alla profondità:



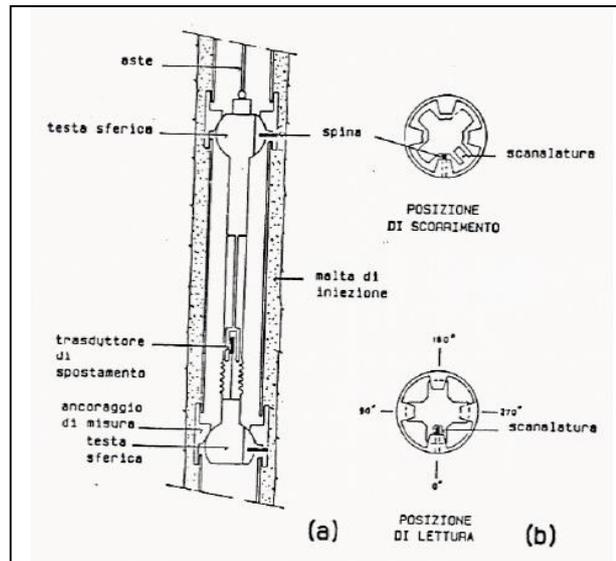
Misure con pendoli rovesci

Trovano frequenti applicazioni nell'ambito del controllo delle fondazioni di dighe, mentre sono poco diffuse per il rilievo degli spostamenti nei corpi di frana.

Misure con estensimetri in foro

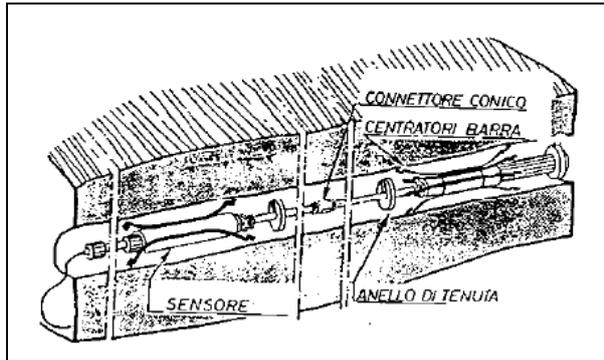
Gli estensimetri in foro, che consentono di valutare lo spostamento lungo una prefissata direzione coincidente con l'asse dello strumento, sono

prevalentemente impiegati nello studio degli ammassi rocciosi ed in particolare per l'osservazione di fenomeni di ribaltamento (toppling) o di scivolamenti su giunti. Gli spostamenti sono trasmessi in superficie attraverso un filo o una barra metallica ancorata ad una prefissata profondità. Lungo un foro di sondaggio possono essere installati, a varie quote, sino ad un massimo di 5-6 estensimetri.

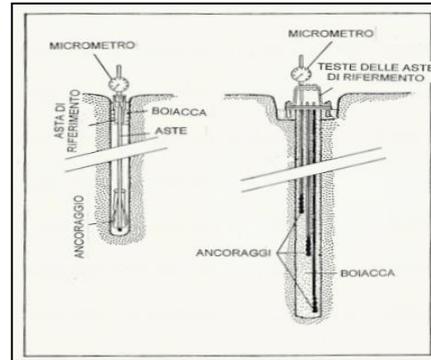


I rilievi sono condotti alla bocca del foro con comparatori di precisione o con sensori del tipo LVDT che consentono eventualmente l'acquisizione automatica ed in continuo. Le precisioni raggiungibili sono notevoli, con sensibilità dell'ordine di 0.01mm.

Le apparecchiature in questione possono essere anche rimovibili e si prestano all'acquisizione delle misure in automatico. In tale ambito rientra l'apparecchiatura denominata ISETH, realizzata dal Politecnico di Zurigo, che consente la misura degli spostamenti lungo l'asse di un foro attrezzato con ancoraggi anulari di acciaio.

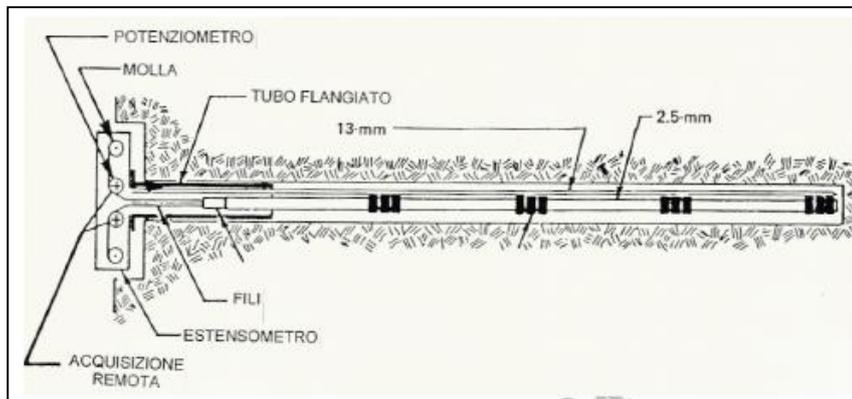


Apparecchiatura denominata Distofor
(analoga alla precedente)



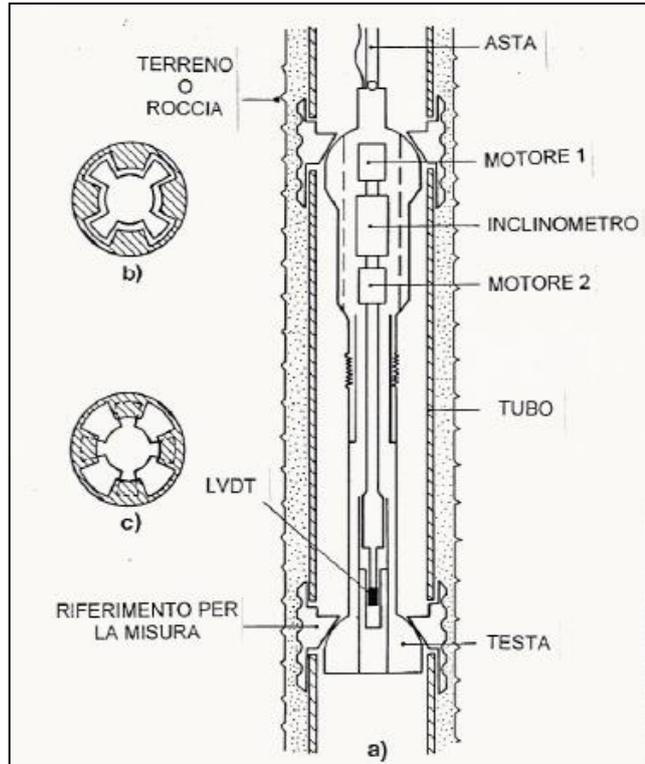
Estensimetro singolo e multiplo a
barra

Estensimetro a filo:



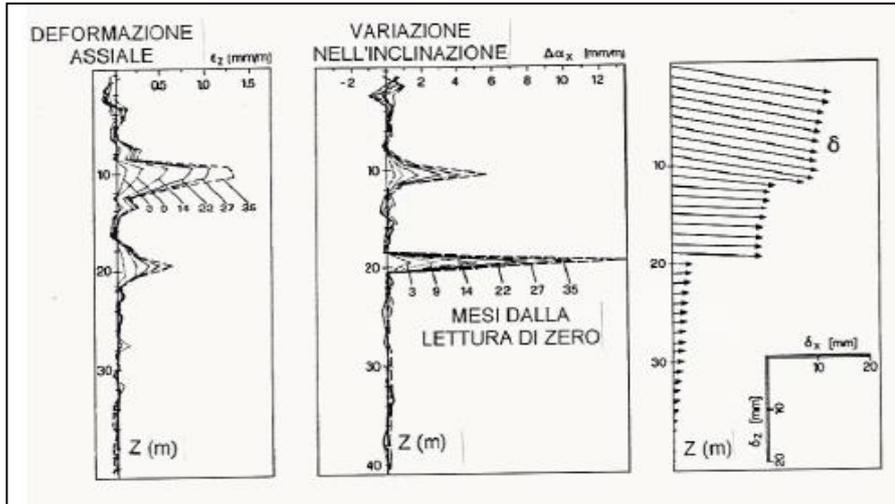
Misure con sonde estensoinclinometriche

Questo tipo di apparecchiature consente di misurare gli spostamenti nelle tre direzioni e trae origine, in sostanza, dall'accoppiamento di inclinometri ed estensimetri in foro. Da un punto di vista costruttivo le sonde estensoinclinometriche sono sonde inclinometriche biassiali che dispongono di un terzo sensore in grado di valutare la distanza tra riferimenti noti; nel punto di misura è quindi possibile rilevare le tre componenti dello spostamento.



L'apparecchiatura è costituita, analogamente alle sonde inclinometriche, da una sonda, un cavo di collegamento ed una centralina di acquisizione.

I vantaggi che presenta l'impiego di tale strumentazione sono notevoli e ciò sia in termini di precisione che di completezza delle informazioni. A fronte di tali potenzialità, bisogna comunque rilevare che il costo, sia delle singole installazioni che della strumentazione, è considerevolmente elevato e, mediamente, supera di 8-10 volte il costo di acquisto ed installazione di una normale sonda inclinometrica. Ciò rappresenta, probabilmente, il principale motivo della limitata diffusione di tale strumentazione nello studio dei pendii.



2.1.1.3 DEFINIZIONE DELLE SPECIFICHE TECNICHE E FUNZIONALI

Sono state definite le principali specifiche tecniche e funzionali del sistema in funzione delle sottoattività precedenti. E' emersa la necessità di valutare gli spostamenti differenziali di tutto il corpo di frana, per avere un'indicazione delle dinamiche del movimento e comparare i risultati con le misure degli strumenti areali, quali l'interferometro, lo scatterometro o il radar.

In quest'ambito è stato proposto di utilizzare una rete di sensori GPS dislocati lungo l'area da monitorare ed effettuare una triangolazione classica con punti di appoggio stabili.

A seguito di varie riunioni congiunte con i responsabili e tecnici degli OR2 (Prof. Artese) OR4 (Prof. Conte, Dott.ssa Capparelli) e OR6 (Prof. Mendicino), sono state definite le tipologie e il numero di sensori che andranno utilizzati presso i due site di monitoraggio previsti nel progetto (vedi OR9).

Contemporaneamente, grazie all'apporto dei programmatori dell'OR6, si è potuto procedere alla definizione dei protocolli di scambio dati fra reti puntuali e sistema centrale di raccolta dati (LEWIS). Per tale protocollo di comunicazione con il server CAED (OR 6) è stato redatto un apposito documento tecnico, vedasi il documento tecnico di riferimento "Servizio di Acquisizione dati" redatto dal gruppo di ricerca del Prof. Mendicino: CAED AqServ 0.3a.pdf.

> 2.1.1.3.1 Monitoraggio delle pressioni neutre⁴

Il regime delle pressioni neutre riveste un ruolo rilevante nell'ambito delle problematiche affrontate in Ingegneria Geotecnica, in quanto la variazione di tale regime comporta, a parità di altre condizioni, una modifica del fattore di sicurezza e, pertanto, costituisce una delle principali cause innescanti delle frane.

Si distinguono:

- Pressioni neutre positive (valori maggiori/uguali alla pressione atmosferica)

$$\tau = c' + (\sigma_n - u_w) \operatorname{tg} \varphi'$$

- Pressioni neutre negative (valori inferiori alla pressione atmosferica)

$$\tau = c' + (\sigma_n - u_a) \operatorname{tg} \varphi' + (u_a - u_w) \operatorname{tg} \varphi^b$$

Le pressioni neutre si misurano attraverso i piezometri. La misura è mirante a:

- Definire la circolazione idrica nel sottosuolo e della sua evoluzione nel tempo in relazione a cause naturali o antropiche;
- Individuare le cause innescanti l'instabilità di pendio;
- Definire le condizioni di stabilità di un pendio;
- Progettare gli interventi strutturali e non strutturali;
- Verificare l'efficienza degli interventi realizzati.

I piezometri si raggruppano in base al principio di funzionamento (legge fisica utilizzata per la misura).

> 2.1.1.3.2 Pressioni neutre positive

Piezometri idraulici

Principio dei vasi comunicanti. Consentono l'equalizzazione delle quote piezometriche tra l'acqua contenuta nello strumento e quella presente nel terreno in corrispondenza della sezione di misura.

- A circuito aperto, costituiti da un dispositivo di presa posto a contatto con il terreno e da uno o due tubi che provvedono al collegamento di quest'ultimo al piano campagna. La misura della pressione neutra viene determinata in base al livello dell'acqua presente all'interno del tubo (o dei

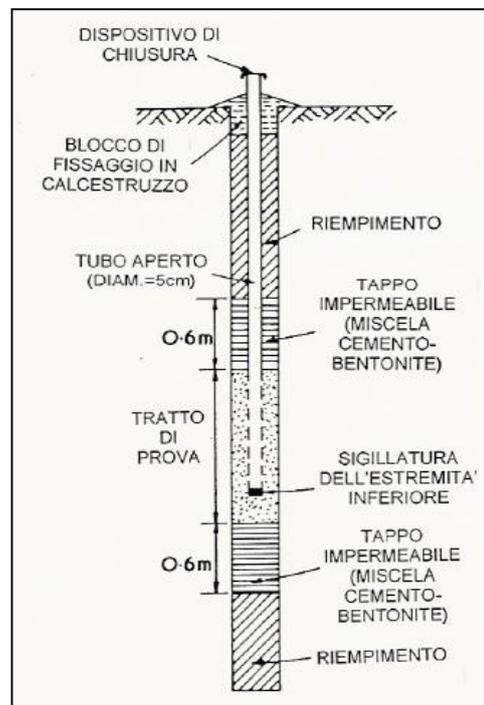
⁴ Dal documento tecnico della TD Group S.p.A. "Monitoraggio_Pressioni_Neutre.doc" (SAL n. 2)

tubi) con l'ausilio di una sonda galvanometrica (freatimetro). Questa tipologia di piezometri, in considerazione del loro tempo di risposta, viene utilizzata di norma in terreni caratterizzati da permeabilità da medio-alta a mediobassa e consente, inoltre, di eseguire prove di permeabilità.

- A circuito chiuso, caratterizzati da un dispositivo di presa, realizzato con materiale poroso, collegato a due tubi. Le estremità di questi ultimi sono connesse, rispettivamente, ad un dispositivo che consente di porre in pressione il liquido presente nel circuito ed ad un manometro mediante il quale viene effettuata la misura. I tubi di collegamento risultano essere di piccolo diametro e, pertanto, ne conseguono tempi di risposta più contenuti.

Piezometri a tubo aperto

I più economici.



Si tratta di un tubo di plastica rigido che viene calato all'interno di un foro di sondaggio, quest'ultimo riempito con vari materiali a seconda dello scopo.

L'utilizzo di questo tipo di piezometro, realizzato in genere con diametro pari a 2", è normalmente consigliato per terreni non stratificati e caratterizzati da valori

di permeabilità $K=10^{-3}$ cm/s; tuttavia, l'impiego può essere esteso a terreni a più bassa permeabilità impiegando tubi di diametro inferiore.

Piezometri Casagrande

Sono formati da una cella, realizzata con materiale ceramico poroso (oppure resina o bronzo) ad elevata permeabilità, collegata con uno o due tubi di diametro pari in genere a $1/2$. Il volume complessivo che entra in gioco nelle misure è normalmente più piccolo rispetto al piezometro a tubo aperto, il che comporta un tempo di risposta più breve e rende tale tipo di piezometro più adatto all'installazione in terreni a permeabilità medio-bassa. I piezometri Casagrande più diffusi sono quelli a due tubi (comportano notevoli vantaggi). Sono vantaggiosi da un punto di vista economico.

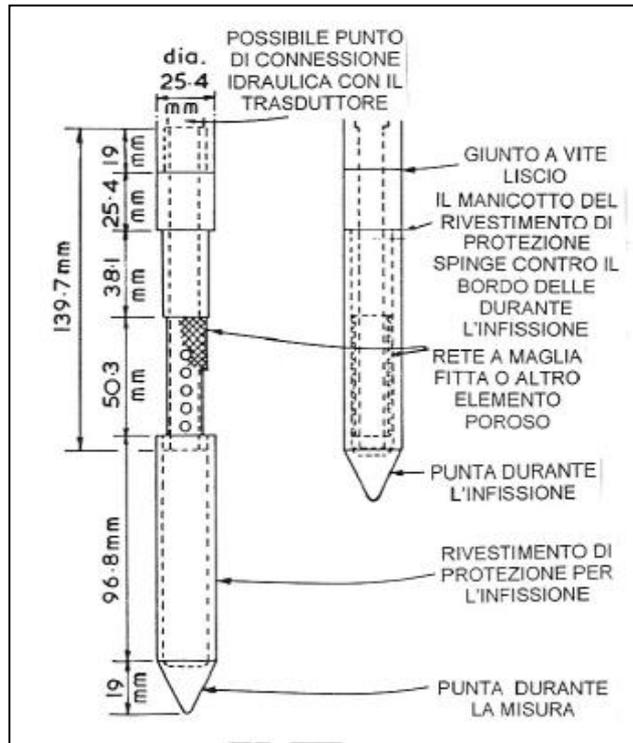


Piezometri Geonor

Il piezometro Geonor costituisce una variante del piezometro Casagrande, ma presenta rispetto a quest'ultimo, minori tempi di risposta e, pertanto, una migliore utilizzabilità per terreni a bassa permeabilità.

In tale tipo di piezometro il dispositivo di connessione idraulica, costituito da un filtro in bronzo sinterizzato poroso, è disposto sul contorno di un terminale dotato di punta. La particolare configurazione dello strumento ne consente la posa in opera con infissione diretta, senza la realizzazione preventiva di un foro di sondaggio. Il collegamento della cella con la superficie viene assicurato da un tubo in plastica.

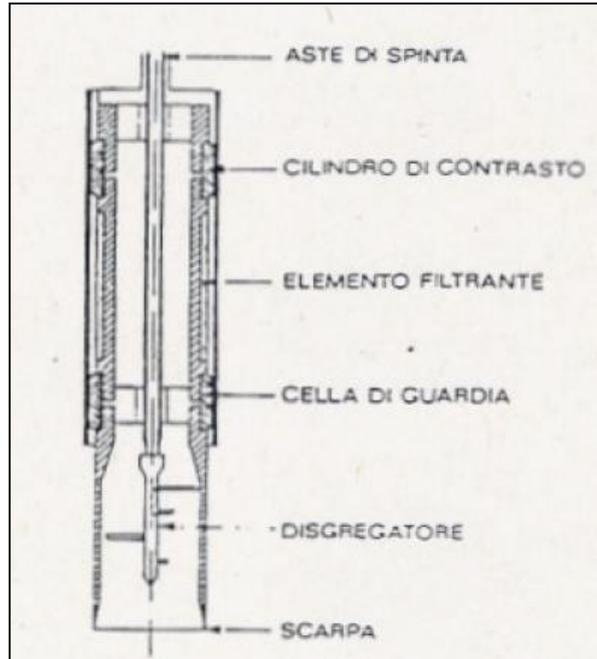
Piezometri ad infissione con filtro protetto



Sono strumenti più costosi.

Sono una variante del piezometro Geonor e consentono, nel corso delle operazioni di posa in opera alla quota prestabilita, la misura della pressione neutra in più punti lungo la verticale.

Si prestano bene all'impiego in situazioni stratigrafiche particolari costituite, ad esempio, da alternanze di terreni cui competono permeabilità molto diverse e consente di effettuare prove di permeabilità. Per quanto riguarda i tempi di risposta, essi sono analoghi a quelli indicati per il piezometro Geonor e possono essere ulteriormente ridotti introducendo nei dispositivi di connessione dei trasduttori di pressione neutra.



Piezometri autopercoranti

Particolarmente onerosi.

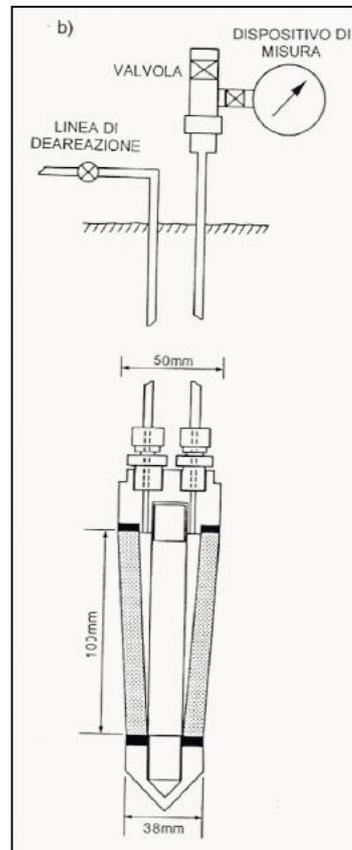
Lo strumento è dotato di un disgregatore posizionato alla punta che rimuove il terreno all'avanzare del dispositivo di misura. L'elemento filtrante ha sede sul cilindro esterno ed è disposto tra due setti gonfiabili che provvedono ad isolare il tratto di misura. Nel corso dell'avanzamento, l'occlusione dell'elemento poroso è impedita da una camicia esterna, solidale alle aste di spinta, che, raggiunta la profondità di installazione, viene sollevata dell'altezza necessaria per scoprire sia la fascia permeabile che i setti gonfiabili. Richiedono una notevole esperienza per l'installazione e la gestione.

Piezometri a circuito chiuso

I piezometri a circuito chiuso offrono il vantaggio di permettere la saturazione del circuito consentendo l'eliminazione dell'aria in esso presente e, quindi, di pervenire ad una maggiore precisione nelle misure effettuate. Il costo del singolo strumento è di poco più elevato rispetto ai piezometri idraulici a circuito aperto, mentre le apparecchiature necessarie per la saturazione dei circuiti e per la valutazione manometrica della pressione, sono più complesse e costose.

L'installazione del piezometro Bishop può essere condotta mediante infissione oppure per semplice posa in opera in foro di sondaggio.

A differenza dei piezometri a circuito aperto, le caratteristiche di funzionamento dei piezometri in esame consentono un agevole rilievo di pressioni neutre cui competono livelli idrici che si estendono ben al di sopra della quota del piano campagna. Una limitazione al loro utilizzo deriva dal fatto che il punto di misurazione della pressione deve essere necessariamente collocato a quote più basse rispetto alla quota di installazione del piezometro.



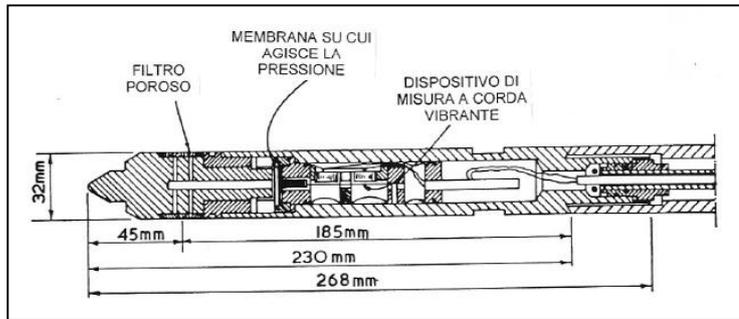
Celle piezometriche

A differenza dei piezometri, la misura non implica un trasferimento di volumi di acqua tra gli stessi ed il terreno. Dunque, essendo i tempi di risposta estremamente brevi, sono particolarmente utili per la misura delle pressioni neutre in terreni a permeabilità molto bassa. Tuttavia, il costo si rivela superiore, ma possibilità di acquisizione automatica.

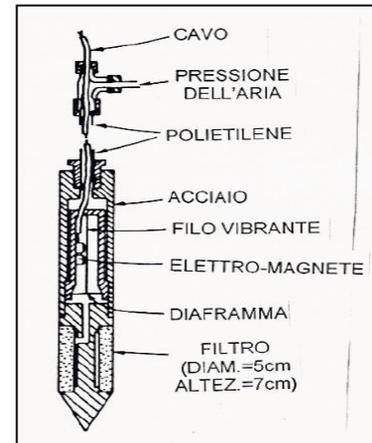
Due gruppi di celle piezometriche:

- Celle elettriche:
 - Celle a filo vibrante: la cavità piezometrica è in contatto con un diaframma che si deforma in ragione dell'entità della pressione neutra. L'inflessione del diaframma viene rilevata mediante un estensimetro a filo vibrante collegato con un ricevitore posto in

superficie che provvede ad amplificare e registrare il segnale ottenuto.



Celle Geonor

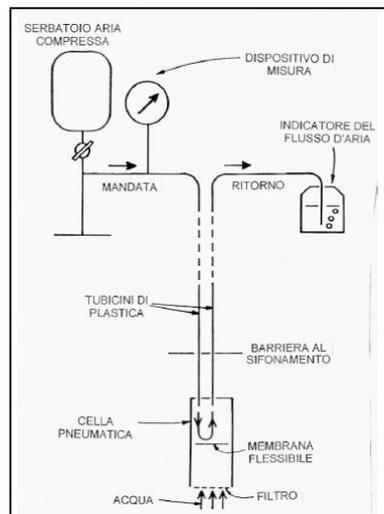


Celle B.R.S.

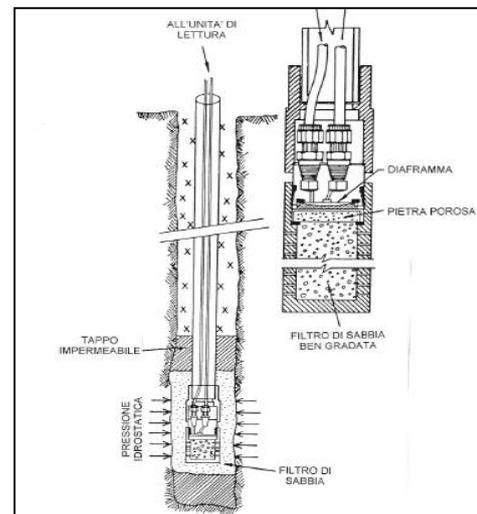
- Celle a Strain Gauges, corredate da estensimetri elettrici a variazione di resistenza di elevata sensibilità e precisione.

Celle pneumatiche

La misura della pressione dell'acqua viene rilevata dal valore della pressione dell'aria che impedisce le deformazioni del diaframma della cella.



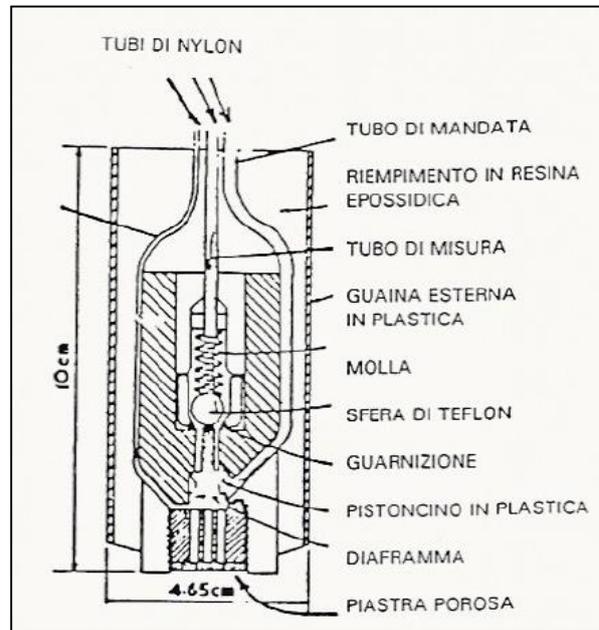
Celle tipo Warlam



Celle tipo Geosistemas

Sia le celle Warlam che le celle Geosistemas sono a flusso d'aria, nelle quali il collegamento con l'esterno avviene mediante due tubi: uno, di mandata, permette l'immissione di aria, l'altro è collegato ad un manometro di misura. Le modalità operative prevedono l'immissione dell'aria attraverso il tubo di mandata sino al conseguimento di un valore della pressione pari alla pressione neutra agente in sito; tale circostanza consente di portare il diaframma in una configurazione di equilibrio segnalata in superficie dal gorgogliamento del tubo di ritorno posto in una vaschetta piena d'acqua; in corrispondenza del verificarsi di tale situazione viene rilevata la pressione sul manometro che corrisponde alla pressione neutra.

Celle senza flusso d'aria:

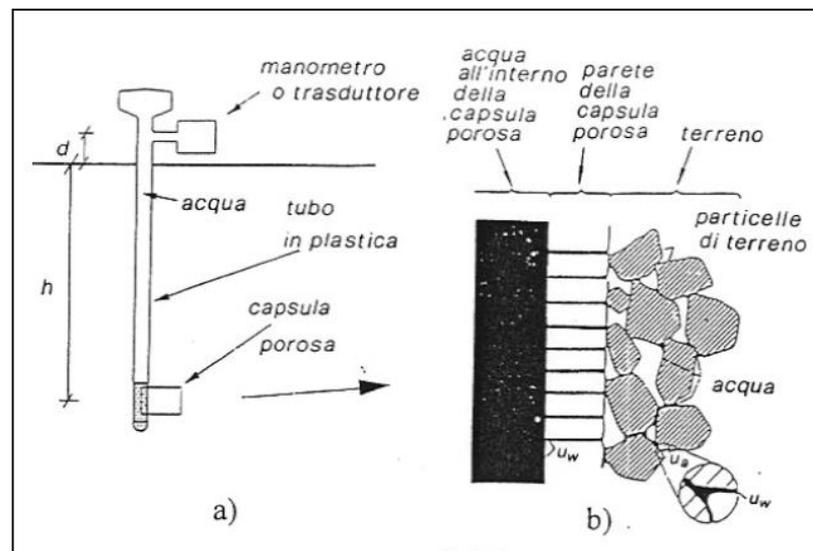


i costi delle celle in esame sono confrontabili con quelli delle celle a filo vibrante, ma, rispetto a queste, le attrezzature e le modalità di misura sono sicuramente più complesse e costose e, pertanto, richiedono l'intervento di personale altamente qualificato. Inoltre la loro maggiore complessità tecnologica comporta, in generale, la necessità di procedere a periodiche tarature e verifiche dei dispositivi di misura, soprattutto quando se ne prevede l'impiego per tempi lunghi.

> 2.1.1.3.3 Pressioni neutre negative

Tensiometri

Sono essenzialmente costituiti da: una capsula porosa usualmente in materiale ceramico ad alta pressione di entrata d'aria; un rilevatore di pressione (manometro, trasduttore etc.); un elemento tubolare riempito di acqua, mediante il quale vengono posti in comunicazione la capsula porosa ed il rilevatore di pressione.



- Condizione di parziale saturazione nel terreno, in condizioni di parziale saturazione, nel terreno è presente una suzione di valore pari alla differenza $(u_g - u_w)$ dove u_g rappresenta la pressione della fase aeriforme ed u_w la pressione dell'acqua. Quest'ultima, grazie alle caratteristiche della capsula porosa che impedisce il passaggio del gas attraverso di essa, viene trasferita alla colonna liquida contenuta nel tensiometro e può essere quindi rilevata dal dispositivo di misura (trasduttore o manometro).
 - Trasduttore, è possibile ricavare direttamente, in termini relativi o assoluti, il valore di u_w .
 - Manometro, misura indiretta di u_w , in quanto che essa viene fornita attraverso la differenza $(u_a - u_w)$, con u_a valore della pressione

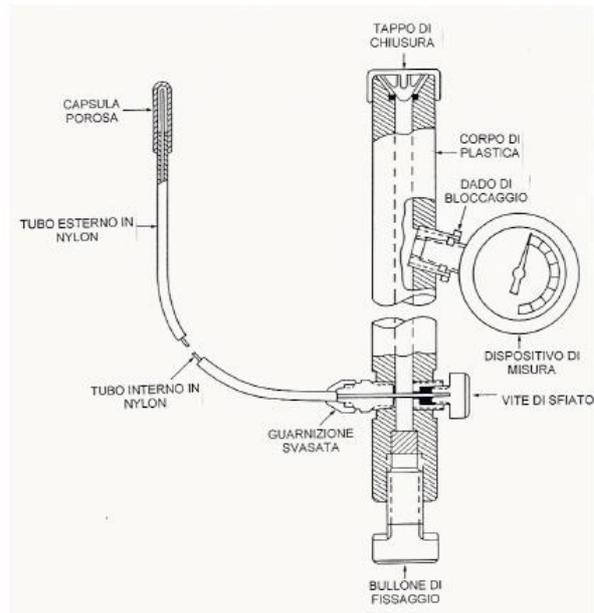
atmosferica agente in sito. In tal caso una semplice analisi condotta attraverso l'applicazione della statica dei fluidi consente di ricavare il valore di tale differenza; se si fa riferimento al caso più generale di un manometro differenziale, contenente al suo interno un fluido diverso dall'acqua quale ad esempio il mercurio, il valore di $(u_a - u_w)$ viene espresso dalla relazione:

$$(u_a - u_w) = (\gamma_{Hg} - \gamma_{H_2O})r - \gamma_{H_2O}(h + d)$$

dove γ_{Hg} e γ_{H_2O} rappresentano rispettivamente il peso specifico del mercurio e quello dell'acqua; r l'altezza della colonna di mercurio situata al di sopra della superficie libera del serbatoio esposta all'atmosfera; h e d le distanze di tale superficie rispettivamente dal piano campagna e dal centro della capsula porosa.

Le possibilità di acquisire rilievi in automatico, è ad esempio abbastanza agevole, in quanto basta sostituire il manometro di misura con un trasduttore di pressione.

Tensiometro portatile



Oltre ai tensiometri sono utilizzati anche psicrometri.

Tipologia di sensori scelti

Di seguito vengono brevemente riassunte le tipologie di sensori scelti in collaborazione con i Partner; un hyperlink permette di visualizzare maggiori dettagli tecnici di strumenti di vari produttori:

Misura da effettuare	Tipologia strumento	Misura	Precisione	N° Sensori per site
Spostamenti orizzontali in profondità	Inclinometri Fissi ⁵ Inclinometri a Barra ⁶	Variazione di Inclinazione rispetto al vettore gravità [gradi di circonferenza]	0.4% FS (@ ± 20° FS)	n. 2 verticali con 3-5 sensori cad. (tot. 6 - 10 sensori)
Spostamenti verticali in profondità	Estensimetri da foro ⁷	spostamento/allungamento [mm]	0.5% FS (@ 50mm)	1 - non essenziale
Spostamenti relativi di superficie	Estensimetri a barra ⁸ o a filo ⁹ Rete DGPS	spostamento/allungamento [mm]	1mm (@2m FS)	1 - non essenziale
Variazione Inclinazione del suolo	Clinometri	Vedi WP2.4		
Pressione totale	Celle di pressione totale ¹⁰	Pressione tramite cella di carico [Kpa]	0.3% FS (@ 500KPa)	n.d. - non essenziale

Tabella 1. Elenco Strumentazione Geofisica

⁵ <http://www.sisgeo.it/inclinometri/inclinometri-fissi-da-foro-digitalizzati.html>

⁶ <http://www.sisgeo.it/inclinometri/clinometri-a-barra-digitali.html>

⁷ <http://www.sisgeo.com/borehole-rod-extensometers.html>

⁸ <http://www.sisgeo.com/crackmeters-and-jointmeters.html>

⁹ <http://www.sisgeo.com/wire-crackmeters.html>

¹⁰ <http://www.sisgeo.com/earth-pressure-cell.html>

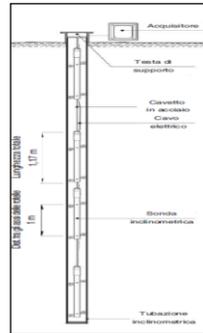


Figura 1. Inclinometri, esempio di sensore ed installazione in campo

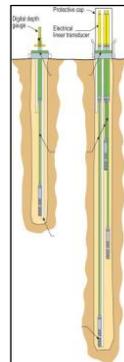


Figura 2. Estensimetri da foro, esempio di sensori ed installazione in campo



Figura 3. Estensimetri a barra e celle di pressione, esempio di sensori ed installazione in campo

Misura da effettuare	Tipologia strumento	Misura	Precisione	N° Sensori per site
Contenuto volumetrico del suolo a varie profondità	TDR ¹¹	Costante dielettrica a 70MHz [% VWC, grandezza derivata]	± 3% FS (@0-80% VWC)	3 - 4
Pressione idrica capillare	Tensiometro ¹²	Pressione (suzione) [Pa]	± 1.5% FS (@+100 - 85 kPa)	1
Pressione idrica superficiale	Mini tensiometro ¹³	Pressione (suzione) [Pa]	± 1.5% FS @ (0 - 85 kPa)	5
Pressione interstiziale o Colonna d'acqua della falda	Piezometro ¹⁴	Variazione di altezza [mm]	0.3% FS (@ 100 - 200 - 500 KPa)	n. 3 verticali 1-3 sensori cadauna (tot. 3-9 sensori)

Tabella 2. Elenco Strumentazione Idrogeologica

Il tensiometro UMS TS1 è stato scelto per le sue particolari caratteristiche di non richiedere l'intervento di operatori esperti per lunghi periodi.

¹¹ <http://www.decagon.com/products/sensors/soil-moisture-sensors/5te-soil-moisture-temperature-and-ec>

¹² <http://www.ums-muc.de/en/products/tensiometer/ts1.html>

¹³ http://www.soilmoisture.com/prod_details.asp?prod_id=258&cat_id=14

¹⁴ <http://www.sisgeo.com/resistive-piezometers-and-pressure-transducers.html>

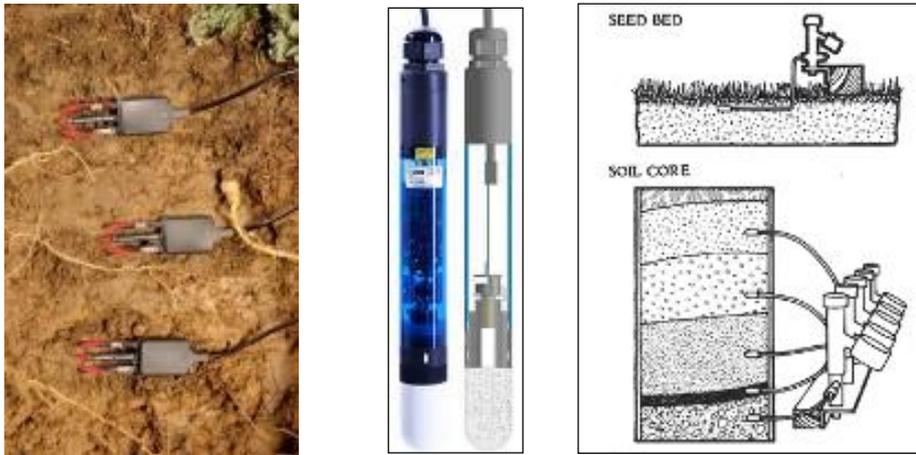


Figura 4. TDR, Tensiometri e Mini-tensiometri, esempio di sensori ed installazione in campo



Figura 5. Piezometro a barra e celle di pressione, esempio di sensori

Misura da effettuare	Tipologia strumento	Misura	Precisione	N° Sensori per site
Temperatura dell'aria	Termometro [T]	Tensione/Corrente	$\pm 0.5\% \text{ } ^\circ\text{C}$ (@ -20 +80 $^\circ\text{C}$)	1
Umidità dell'aria	Igrometro [RH %]	Capacità	$\pm 0.4\% \text{ RH}$ (@ 0 – 99%)	1
Precipitazione	Pluviometro [mm/h]	Volume	$\pm 0.2 \text{ mm}$ (@ 0.2 – 100.0 mm/h)	1
Irraggiamento solare	Radiometro [W/m ²]	Potenza luminosa	$10 \text{ } \mu\text{V/Wm}^2$ (@ 10 – 2000 W/m ²)	1
Velocità e direzione del vento	Anemometro [m/s]	Tempo	± 1.5 (@ 1 - 67 m/s) $\pm 7^\circ$ (@ 0- 360°)	1

Tabella 3. Elenco Strumentazione Meteorologica



Figura 6. Stazione meteorologica



Figura 7. Anemometro



Figura 8. Pluviometro Figura 9. Sensore di radiazione solare

> 2.1.1.3.4 Specifiche tecniche e funzionali

Tutte le precedenti fasi di analisi hanno permesso di stabilire le specifiche tecniche e funzionali che il sistema deve soddisfare, in particolare:

- Il sistema deve permettere la creazione di reti di comunicazione WSN capaci di coprire vaste aree territoriali aperte a rischio frane (outdoor fino a 10 Km²).
- I dati vengono trasferiti all'interno della rete WSN via radiofrequenza tramite un opportuno protocollo certificato secondo uno standard internazionale (ZigBee PRO o W-MBus).
- Il sistema deve poter trasferire i dati misurati dai sensori ed acquisiti dai rispettivi circuiti di condizionamento ad un server centrale tramite connessione alla rete Internet.
- Il sistema deve permettere la rilevazione di eventuali errori di trasmissione e richiedere, in tal caso, la ritrasmissione degli stessi.
- I dati trasferiti all'interno dell'infrastruttura WSN e tra Coordinatore e Server Centrale, devono essere criptati al fine di garantire la confidenzialità degli stessi verso terzi.
- Il sistema FW deve essere implementato in forma modulare con possibilità di attivazione/disattivazione delle sue funzioni tramite configurazione remota.

I requisiti che sono stati analizzati in questa fase sono:

Spec. ID	Item	Commento
R1	Ogni Nodo della rete deve avere un identificativo univoco <NAME><ADDRESS>	TDG_Mancarelli1600 160001000000
R2	WiFi network coexistence	Bande B/G/N
R3	Mobile network coexistence	Europe/USA bands
R4	Più reti devono poter coesistere nello stesso territorio	Minimo due reti WSN della stessa tipologia
R5	Data Encryption for sensitive data masking	
R6	Il firmware e la configurazione di un qualsiasi nodo deve poter essere cambiata dal coordinatore senza dover smontare i nodi della rete	
R7	I comandi di attuazione e configurazione devono essere assimilabili a trasferimenti di memoria	
R8	Il protocollo deve prevedere un ACK alla ricezione di una misura	Validazione delle misure
R9	Possibilità di instradare i messaggi in più path	Network Failover
R10	Ogni nodo deve prevedere un algoritmo di power-saving che ne minimizzi i consumi	

Ogni nodo potrà essere collegato a più sensori a seconda della loro tipologia. I sensori che saranno utilizzati sono i seguenti:

- Sensori meteorologici:
 - Temperatura dell'aria
 - Umidità relativa dell'aria
 - Pressione atmosferica
 - Pluviometri
 - Radiometri
 - Velocità e direzione del vento
 - Temperatura e umidità del terreno
- Sensori utilizzati per monitorare il pericolo di frana:
 - Celle piezometriche
 - Tensiometri
 - Celle di pressione
 - TDR o batterie di TDR

- Sensori utilizzati per valutare gli spostamenti del terreno:
 - Distanziometri.
 - Trasduttori di spostamento.
 - Inclinatori fissi.

ATTIVITÀ ELEMENTARE 2.1.2

Progettazione

2.1.2.1 DEFINIZIONE DELL'ARCHITETTURA GENERALE DEL SISTEMA

Sono stati stabiliti i componenti necessari e le modalità con cui comunicano ed interagiscono fra loro in termini architetture in base alle specifiche delle varie tipologie di sensori e alle specifiche di comunicazione.

In una prima fase, su suggerimento dei Ricercatori che lavorano all'OR.5, è stata analizzata la possibilità di utilizzare una rete wireless con protocollo profilo "ZigBee PRO" basato sullo standard IEEE 802.15.4. 2004. Lo standard è utilizzato ormai da tempo e ben affermato industrialmente e, sebbene non ottimizzato dal punto di vista energetico e di velocità di trasferimento dati, può presentare doti di affidabilità e portabilità necessarie a garantire la robustezza del sistema in situazioni critiche.

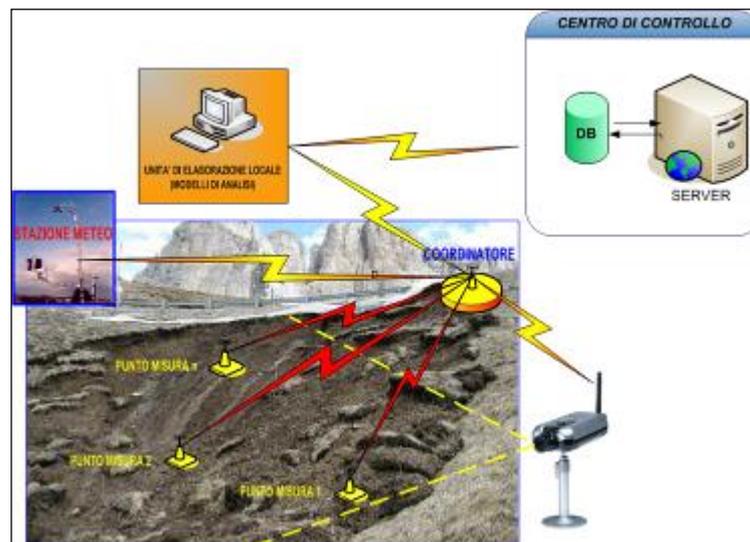
Il protocollo permette di creare reti con topologie di tipo Mesh, capaci di coprire distanze medio-piccole (inferiore ai 200 mt) e con caratteristiche di controllo messaggi decisamente robuste. Sono stati quindi previsti una serie di componenti fisici (Hardware Device) costituiti da:

- **End-Node**, nodo periferico che, tipicamente, ospita l'elettronica di condizionamento dei segnali, specifica per ogni sensore. Il suo scopo è quello di leggere i dati dal campo e trasmetterli verso il nodo coordinatore insieme ad altre informazioni funzionali del nodo stesso (stato batteria, temperatura, malfunzionamento, ecc).
- **Router**, nodo intermedio della rete, utilizzato principalmente per coprire lunghe distanze fra End-Node e nodo Coordinatore. In pratica raccoglie e ritrasmette i dati fra End-Node e Router successivo.

- **Nodo Coordinatore**, nodo che raccoglie le informazioni da tutti i dispositivi che costituiscono la rete. Inoltre gestisce il gateway.
- **Gateway**, insieme al Coordinatore costituisce il modulo, detto Sink, di instradamento di tutti i dati verso il server centrale. In pratica rappresenta il canale di comunicazione con il CAED.

Successivamente, è stato scelto di utilizzare lo standard Wireless M-Bus che permette di coprire distanze decisamente superiori e, grazie alla sua semplicità, di richiedere una minore quantità di energia. Questo standard si sta diffondendo in Europa principalmente per la misura delle grandi reti di distribuzione domestica (acqua, gas e luce), di cui permette una misurazione intelligente (Advanced Metering Infrastructure - AMI).

Wireless M-Bus è stato originariamente progettato per funzionare solo nella banda 868 MHz, che dà un buon trade-off tra la gamma RF e dimensioni dell'antenna. Recentemente due nuove bande (169MHz e 433MHz) sono state aggiunte alla specifica WM-Bus che, introducendo soluzioni a banda stretta, e con link di budget molto più alti, permettono di fornire soluzioni di interconnessione migliori rispetto a ZigBee in banda 2,45GHz.



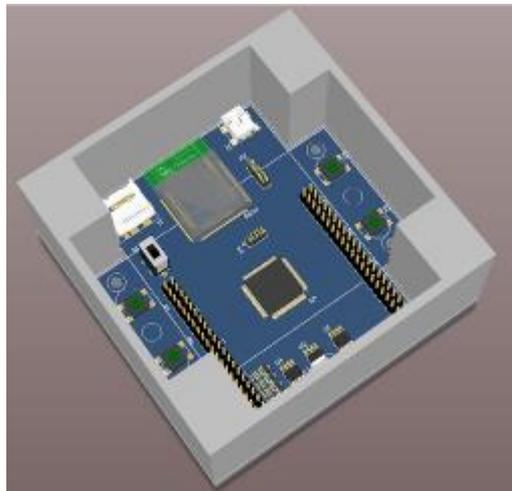
Schema di rete locale

Per la trasmissione dei dati dalle reti di Sensori al CAED, è stato previsto un collegamento GPRS per ognuno dei Nodi Coordinatori (Sink). Il trasferimento dei dati avviene con trasporto TCP/IP su indirizzo pubblico dinamico mentre per il

contenuto della trasmissione, a livello applicativo, le informazioni che giungono al CAED vengono serializzate (formato a caratteri) su un servizio di rete adibito alla ricezione e alla validazione sviluppato appositamente (AqServ). I dati ricevuti nel Centro di Controllo sono memorizzati su apposita base dati.

L'architettura scelta del sistema di condizionamento permette ad ogni End-Node di collegarsi a più sensori ed adattarsi a seconda della loro tipologia (sensori meteorologici, sensori idrogeologici e sensori per valutare gli spostamenti della frana).

La seguente figura presenta la progettazione della scheda hardware per il sistema di monitoraggio e il corrispondente case previsto.



L'unità di calcolo locale progettata svolge le seguenti funzioni principali:

- Acquisisce in tempo reale i dati rilevati dalla rete di sensori e li memorizza sul database locale, controllandone l'attendibilità con algoritmi di confronto.
- Imposta i parametri principali della rete di monitoraggio.
- Invia segnalazione di allarme sulla base dei risultati prodotti dalle pre-elaborazioni.
- Trasmette al centro di controllo i dati raccolti a scadenze predefinite e programmabili, i risultati delle elaborazioni e qualsiasi altra informazione legata allo stato di funzionamento della rete.

2.1.2.2 PROGETTAZIONE HW E FW

Si è proceduto nella progettazione del sistema hardware e firmware (Software Defined Sensor Interface – SDSI) a partire dalle funzionalità richieste al sistema. Ogni singolo componente è stato schematizzato utilizzando opportuni software CAD di simulazione e quindi integrato in più moduli funzionali.

> 2.1.2.2.1 Progettazione Hardware

Il sistema SDSI è un sistema “Multi-Core management” per applicazioni “safety critical”. Il Core contiene una serie di circuiti configurabili via Firmware per una completa adattabilità a innumerevoli scenari applicativi.

Il sistema consta di 3 parti principali:

1. **Interfaccia Analogica Digitale programmabile.** In pratica si tratta di una FPGA sia digitale che analogica. Il circuito ospita inoltre on chip un processore dedicato all’elaborazione dei segnali. I processori previsti in questa progettazione sono un 8051 a 8 bit, oppure un ARM Cortex-M3 a 32 bit.
2. **Sistema di ricetrasmissione radio.** Consta di moduli LGA certificati secondo le normative CE. A seconda del modulo utilizzato si possono coprire le bande dal VHF (168 MHz) fino alla 2,45 GHz tipica dei sistemi WiFi/ZigBee/Bluetooth. Infine, per questa realizzazione si è scelto di utilizzare la banda dei 868 MHz cost free.
3. **Power Management.** Il blocco di Power Management permette di controllare l'alimentazione delle varie periferiche del dispositivo. Il controllo dell'accensione e dello spegnimento avviene tramite una porta di I/O programmabile via bus I²C a 16 bit.

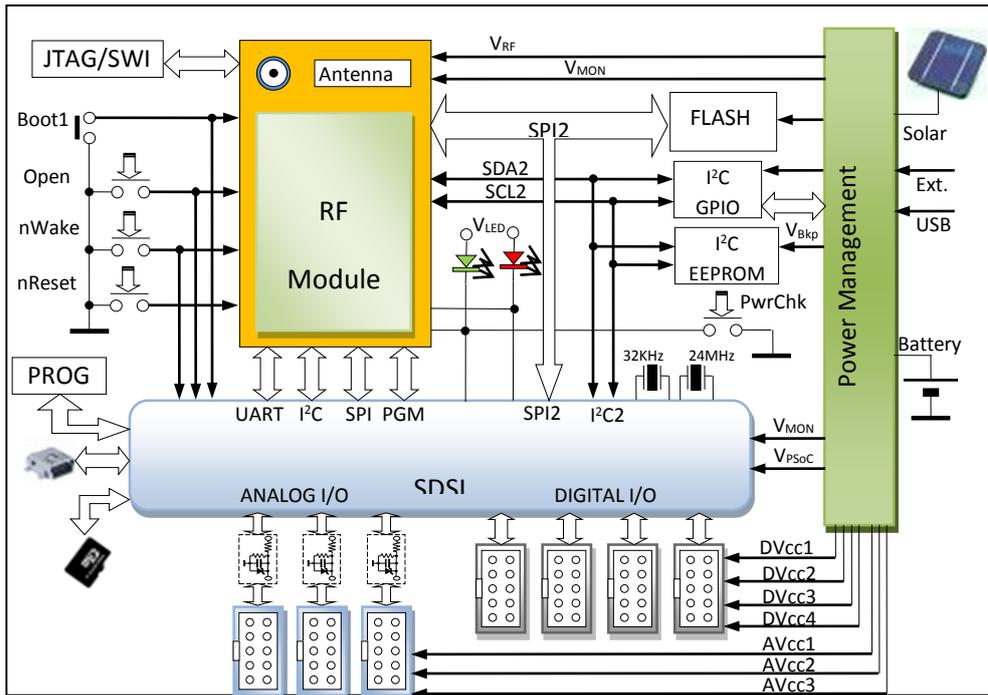


Diagramma a blocchi della Software Defined Sensor Interface

Alimentazione

La principale fonte di alimentazione del sistema è tramite una batteria primaria o secondaria ricaricabile.

- Alimentazione
 - Batteria da 2,4V (2 x NiMH) o 3,7V (LiPo battery)
 - SuperCapacitor
 - Hybrid Capacitor
- Ricarica della batteria
 - Pannello solare da 0.5V a 4,5V
 - Generatore Eolico
 - Energy Harvester (termopila, cinematico,)
 - Presa USB

La gestione dei consumi e del ciclo di ricarica e scarica delle batterie (o capacitors) è di fondamentale importanza per il sistema.

Il sistema contiene delle ulteriori periferiche interne, dedicate al suo controllo:

1. EEPROM I²C - Contiene i dati di configurazione primaria
2. FLASH - Per la memorizzazione di dati e la programmazione dei dispositivi (PSoC e moduli RF).-
3. I²C GPIO - Per il controllo del Power Management e del Reset del PSoC e del Dispositivo RF.
4. USB - per la comunicazione con un host e la ricarica della batteria.
5. MicroSD - per la memorizzazione su file di grandi quantità di dati.

Interfacce sensori

Il sistema si connette a sensori o moduli di specializzazione esterni tramite 7 connettori dedicati.

Ogni connettore ha una alimentazione dedicata, di cui il sistema può controllarne l'attivazione, e 8 segnali indipendenti e completamente riconfigurabili.

1. Connettore SIO di I/O digitale. I segnali possono variare la loro tensione di funzionamento. Inoltre è prevista la modalità di hot-swapping, grazie ad una circuiteria di protezione dedicata.
2. Connettori digitali di I/O general purpose.
3. Connettori di interfaccia Analogica. Ogni canale ha una rete di protezione a salvaguardia dell'integrità del dispositivo a fronte di disturbi elettromagnetici o ambientali.

Il sistema così definito permette di interfacciarsi a un enorme numero di moduli utilizzabili per varie funzioni necessarie allo scenario applicativo:

Moduli sensori

Per il sistema di monitoraggio sono stati previsti i moduli di interfaccia per i sensori selezionati e già sopra indicati nel presente documento (cfr. paragrafo 2.3).

Moduli di comunicazione

GPRS / UMTS / HSDPA

WiFi 802.11 b/g/n

Ethernet 10 Mb/s o 10/100 Mb/s

ISM Moduli RF per bridging

> 2.1.2.2.2 Progettazione Firmware

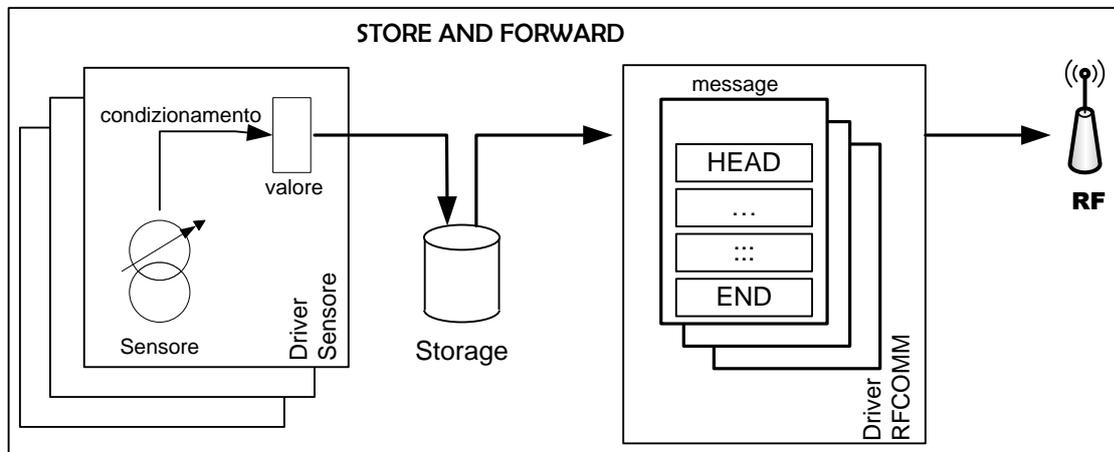
La progettazione del firmware ha portato a un'implementazione di un'architettura di tipo "Store and Forward", che permette una completa autonomia tra i moduli del sistema, sia per la parte del rilevamento dei dati provenienti dai sensori, che per la parte di comunicazione.

Questo sistema permette una grande flessibilità sia in fase di progettazione, che di sviluppo, che di utilizzo vero e proprio del sistema.

I moduli firmware possono essere raggruppati in 3 categorie principali:

- I "Driver Sensori", sono responsabili di interfacciarsi con i trasduttori fisici veri e propri, realizzare il condizionamento del segnale, acquisire il valore rilevato vero e proprio ed infine di memorizzarlo sullo Storage.
- Il Driver RFCOMM, responsabile della comunicazione locale, cioè tra i nodi della rete.
- Il Driver NETBRIDGE, modulo incaricato di gestire i messaggi da inviare al sistema centrale del CAED, secondo il protocollo definito nel AqServ.

L'organizzazione del software di un nodo periferico, dedicato principalmente alla raccolta dati dai sensori ad esso collegati, può essere schematizzato nei seguenti diagrammi a blocchi.



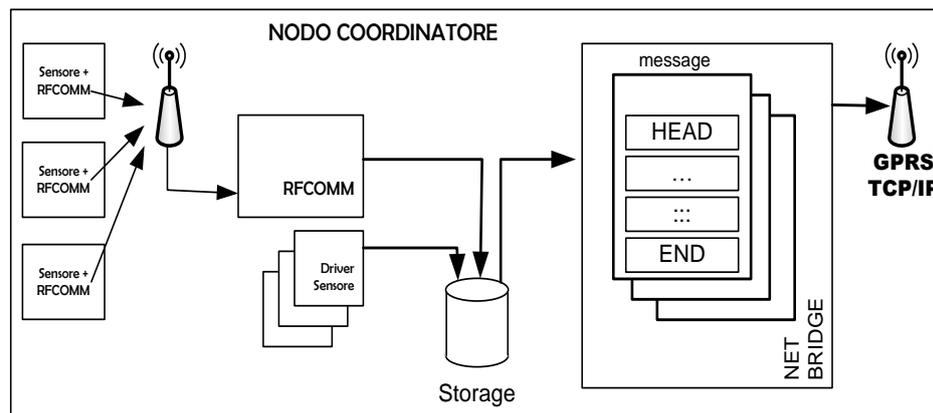
In questa tipologia di nodo i "Driver Sensori" acquisiscono il valore rilevato dai trasduttori e lo memorizzano nello Storage. Il Driver RFCOMM, una volta attivato, raccoglie questi valori e li invia al coordinatore centrale della rete.

L'organizzazione dello Storage prevede una divisione dello stesso in sezioni prestabilite, che sono:

- Messaggi (MSG), raccolgono tutti i messaggi di misura generati dai Driver Sensore.
- Alarm (ALR), raccolgono eventuali messaggi di allarme generati da un qualsiasi modulo del sistema.
- Log (LOG), raccolgono i messaggi di un eventuale malfunzionamento del sistema.
- Command (CMD), raccolgono i comandi ricevuti dalla rete ed in attesa di esecuzione.
- Config (CFG), raccolgono i parametri di configurazione e calibrazione dei moduli FW.
- Processi (PRO), raccolgono la sequenza di processi da eseguire.
- Moduli Firmware (FW), raccolgono eventuali upgrade FW ricevuti dal sistema.

La progettazione del firmware ha considerato anche la realizzazione di Nodi Coordinatore, cioè nodi che possono, oltre alle funzionalità dei moduli precedentemente descritti, raccogliere dati provenienti da tutti i nodi della rete ed instradarli verso il server remoto.

In questo caso il modulo RFCOMM è configurato in modo da poter ricevere i dati rilevati da altri nodi e di memorizzarli nello Storage. Successivamente, il Driver NETBRIDGE provvede a richiamare tutte le informazioni ricevute e a trasmetterle al server remoto attraverso un collegamento GPRS/TCPIP.



Nella fase di progettazione si sono definiti i moduli firmware che fanno parte del sistema. Il seguente elenco presenta i moduli definiti:

- Driver di schedulazione dei processi
- Driver RTC (Real Time Clock)
- Driver di Power Management
- Driver protocollo Sink-Server (AqServ)
- Driver protocollo Nodo-Coordinatore
- Modulo di controllo GPRS
- Driver sensore Temperatura ed Umidità
- Driver sensore Velocità e Direzione del vento
- Driver sensore Pioggia
- Driver sensore Bagnatura Fogliare
- Driver sensore Radiazione Solare
- Driver sensore Temperatura ed umidità del suolo
- Driver sensori 4-20 mA
- Driver sensori RS485-IPI
- Driver sensori RS485-UMS
- Driver sensori SDI 12

2.1.2.3 PROGETTAZIONE SW UNITÀ LOCALE

In questa attività sono stati progettati gli applicativi per vari servizi:

- Applicativo per la misura dai vari sensori (meteorologici, idrogeologici, geofisici), è un servizio di basso livello con la funzionalità richiesta sia per la gestione dei driver dei sensori, che per la gestione dei moduli software specializzati nella raccolta dati.

Ogni sensore utilizzato nel progetto utilizza un driver di dispositivo dedicato che gestisce il sensore in sé, con il driver è possibile configurare il sensore, inicializzarlo, così come acquisire le misure realizzate.

Il servizio progettato permette la gestione dei sensori a prescindere del loro tipo, richiedendo soltanto il caricamento del driver corrispondente al sensore collegato al sistema. Speciale attenzione si è dedicata al meccanismo per caricare i driver e la sua gestione all'interno del sistema

in modo da rendere tutto l'applicativo modulare, con funzionalità ben definite e separate.

Una volta caricato il driver, l'applicativo permette di calibrare e inizializzare il sensore per, successivamente, acquisire i dati.

- Applicativo per raccolta dati e comunicazione con il Coordinatore della rete, è un servizio per coordinare lo scambio di messaggi, con i dati acquisiti dai sensori, da inviare al Coordinatore della Rete.

In questo contesto funzionale si è definito il modello dei dati da utilizzare nei pacchetti da scambiare tra nodo Sensore e nodo Coordinatore. Il pacchetto viene creato in funzione del dato acquisito, anche se la struttura del messaggio scambiato è comune a tutti i dati acquisiti.

L'applicativo utilizza il dato acquisito dal sensore per formattare il messaggio, tale messaggio viene utilizzato per creare un pacchetto di dati da inviare al nodo Coordinatore della rete.

- Applicativo del coordinatore per la comunicazione, attraverso il gateway di comunicazione, con il server centrale del CAED. Questo servizio attiva e gestisce il modem di comunicazione, modem GPRS, per la comunicazione tra la rete di sensori e server centrale del CAED.

Nell'attivazione del canale di comunicazione è stato previsto, in questa fase di progettazione, l'inizializzazione del net bridge ed un settaggio particolare del canale di comunicazione.

Una volta attivato il canale di comunicazione il servizio progettato permette la gestione dell'apparecchio che fa la comunicazione fisica con il CAED per l'invio dei pacchetti contenenti i dati acquisiti.

Acquisito il dato dal Sensore, si crea il pacchetto dati che viene inviato al Nodo Coordinatore, il servizio che prende in carico il pacchetto dati per inviarlo attraverso il net bridge al server centrale del CAED è stato progettato in questa fase.

- Applicativo per la gestione del protocollo che scambia comandi e servizi con il socket TCP di AqServ.

L'ultimo applicativo progettato in quest'attività ha le funzionalità necessarie per eseguire tutte le operazioni definite nella specifica funzionale del sistema, in particolare l'applicativo si collega con il server centrale utilizzando il protocollo definito.

L'applicativo progettato ha la funzionalità per la gestione del protocollo che permette la comunicazione con il socket TCP di AqServ, appositamente predisposto dai ricercatori dell'OR6.

L'applicativo si comporta come un client, eseguendo le operazioni di login e interagendo con il sistema centrale secondo quanto definito nel protocollo. In questo modo il servizio eseguito sul server centrale gestisce i pacchetti ricevuti dalla rete con i sensori di rilevamento dati, interpretando i messaggi ricevuti che contengono la misura acquisita.

La specifica realizzativa del sistema software descritta di seguito è stata discussa e concordemente approvata prima della sua implementazione. L'unità di calcolo locale potrà svolgere le seguenti funzioni principali:

- Acquisire in tempo reale i dati rilevati dalla rete di sensori e memorizzarli sul database locale, controllandone l'attendibilità con algoritmi di confronto.
- Impostare i parametri principali della rete di monitoraggio.
- Inviare segnalazione di allarme sulla base dei risultati prodotti dalle pre-elaborazioni (se richiesto).
- Trasmettere al Centro di Comando e Controllo sia i dati raccolti in tempo reale, che i risultati delle elaborazioni, oltre a qualsiasi altra informazione legata allo stato di funzionamento della rete.

Il sistema radio, la cui progettazione era inizialmente prevista a carico di OR5, per motivi di semplificazione e ottimizzazione dei tempi, è stata progettata da TD Group all'interno del WP2.1.

Per quanto riguarda il Gateway, verrà utilizzato un modem GPRS per il trasferimento dei dati.

In caso venga approntata, in fase di Realizzazione e Test del sistema di monitoraggio complessivo, una stazione locale di concentrazione, è stato previsto nella progettazione la possibilità di equipaggiare il Sink di un modulo radio ad hoc, ad esempio un nodo WiFi, capace di sfruttare la connettività locale ed instradare quindi la comunicazione TCP/IP attraverso il canale messo a disposizione (ADSL, Satellitare, ecc.)

Il software dell'unità locale interagisce con il sistema CAED, cioè con il servizio di acquisizione dati AqServ, che è il servizio di acquisizione dati progettato e sviluppato dall'OR 6. Il suo impiego è quello di ricevere i dati dai Sink (nodi concentratori) delle WSN. Il suo scopo è quello di mediare tra le reti

WSN e la base dati LewisDB, al fine di semplificare le sessioni di salvataggio dati e valutarne l'autenticità.

Ad oggi, AqServ adopera una Socket (Stream socket) TCP/IP raggiungibile sulla porta 8124, il flusso dei dati non ha incapsulamento, quindi i dati viaggiano in chiaro a differenza delle informazioni di autenticazione. AqServ introduce il design pattern informatico denominato Reattore (Reactor) con lo scopo di realizzare un ciclo (loop) non bloccante.

Il protocollo di comunicazione adottato presenta delle modalità di iterazione fortemente Human-readable, è un servizio TCP/IP LineStream, ogni immissione dei dati deve essere seguita dai bytes che identificano il Return Word, ovvero '\r\n', corrispondenti ai bytes di Carriage return (0xd) ed End of Line (0xa). Si rinvia alla documentazione tecnica dell'OR.6 per i dettagli del servizio AqServ.

Si descrive di seguito la struttura dei messaggi definita in questa fase di progettazione per l'invio dei dati rilevati dai sensori al sistema centrale attraverso il software dell'unità locale.

Il primo passo nella definizione della struttura è stato stabilire come distinguere i nodi sensori, in modo da poter collegare i dati rilevati e trasmessi al CAED con il luogo del rilevamento. Per distinguere i nodi si è definito che ogni nodo ha un nominativo composto da:

`<NAME><ADDRESS>`

Ad esempio:

`"TDG_Mancarelli1600160001000000"`

dove:

- NAME è una stringa fino a 16 caratteri che tipicamente esprime il posizionamento della rete.
- ADDRESS è una stringa di valori esadecimale di 8 byte (16 char) che esprimono l'indirizzo fisico del nodo da cui provengono le misure e a cui mandare i comandi.

Infine, per individuare ogni sensore all'interno di una rete locale si è individuato il parametro:

`"xxx_channel:yyy"`

Dove:

- "xxx" è il tag del sensore, e
- "yyy" è un numero intero da 0 a 255.

Successivamente, è stata definita la struttura completa del messaggio da inviare dall'unità locale al CAED, attraverso l'utilizzo del AqServ. Dall'analisi effettuata è emersa la necessità di avere la possibilità di includere vari "messaggi" in un unico invio. Per questo è stato definito che la struttura di ogni "invio", può contenere più messaggi secondo la seguente struttura generale:

```
{'messages':
  [{'message':
    '[<NOMINATIVO-NODO> #sample]
    -sensor_type:<valore-rilevato>,          sensor_type:<valore-
    rilevato>,
;'},
  [{'message':
    '[<NOMINATIVO-NODO> #sample]
    -sensor_type:<valore-rilevato>,          sensor_type:<valore-
    rilevato>,
;'}}]
}<CR><LF>
```

Si presentano di seguito 2 esempi di invii dall'unità centrale al CAED, eseguiti dopo la fase di autenticazione:

```
{'messages':
  [{'message':
    '[TDG_Mancarelli1600160001000000 13-11-29 09:28:03 #sample]
    -SEGEN5_gsm_period:50,                    SEGEN5_gsm_rssi:100,
    SEGEN5_gsm_ber:0, SEGEN5_gsm_bcs:1,
    SEGEN5_gsm_bcl:98,                        SEGEN5_gsm_batt:4000,
    SEGEN5_die_temp:32, SEGEN5_gsm_err:8
    -SEGEN5_rfc_errcode:3C,                   SEGEN5_rfc_devstare:00,
    SEGEN5_rfc_dietemp:32
;'},
```

```
{'message':
  '[TDG_Mancarelli1600160001000000 13-11-29 09:28:00 #sample]
-SEGEN5_vbatt:+3.976490
-wht_direction:+0.0
-wht_speed:+0.0, wht_gust:+0.0
-wht_rad:+92.624900
-wht_temp:+24.565837,                wht_humi:+60.780071,
wht_dewpoint:+16.488527
-wht_rain:+0.0,wht_rainh:+0.0
;'}}
}<CR><LF>
```

```
{'messages':
  [{'message':
    '[TDG_Mancarelli1600160001000000 13-11-29 09:42:00 #sample]
-SEGEN5_vbatt:+3.966827
-wht_direction:+17.136308
-wht_speed:+0.0, wht_gust:+0.0
-wht_rad:+105.620788
-wht_temp:+25.345844,                wht_humi:+58.897037,
wht_dewpoint:+16.725116
-wht_rain:+0.0,wht_rainh:+0.0
;'}}
]}<CR><LF>
```

Per quanto riguarda i sensori in rete locale (IPI, TS1 e 5TE) e sensori multipli (piezometri e celle di pressione) i dati sono stati organizzati in questa fase di progettazione software come segue (sono le stringe di formattazione in C/C++):

```
"-piezo_channel:%bu,piezo_value:%f"
```

```
"-stresscell_channel:%bu,stresscell_value:%f"
```

```
"_
ipi_channel:%bu,ipi_address:%bu",ipi_sinx:%ld,ipi_siny:%ld,ipi_tem
p:%ld,
ipi_raw_sinx:%lu,ipi_raw_siny:%lu,ipi_raw_temp:%lu,ipi_nummeas:%u,
ipi_sensor:%u""
-
ts1_channel:%bu,ts1_address:%bu.%bu,ts1_pressure:%f,ts1_temp:%f,ts
1_bubble:%f, ts1_status:%bx,ts1_voltage:%f"
"-
soil_channel:%bu,soil_perm:%f,soil_cond:%f,soil_temp:%f,soil_vwc:%
f"
```

Realizzazione e Test

2.1.3.1 REALIZZAZIONE MODULI HW E RELATIVO FW

La realizzazione delle singole componenti hardware e firmware del sistema è stata correttamente portata a termine in questa fase . Questo ha riguardato i sistemi da utilizzare nei tratti sperimentali definiti nel progetto (come definiti più avanti), per ogni sistema è stata realizzata la catena dei sistemi coinvolti nell'acquisizione, trasmissione e utilizzo dei dati rilevati.



Immagine della Software Defined Sensor Interface

In particolare, sono state realizzate varie tipologie di nodi sensori capaci di acquisire i dati selezionati nell'ambito del progetto. Ciò ha permesso di avere a disposizione 7 tipologie di nodi:

- Stazione Meteo con Sink
- Sink
- Stazione pozzi (IPI, piezometri, e celle di pressione totale)
- Stazione idrogeologica (TDR, tensiometri)
- Stazione pressione totale (celle di pressione totale)
- Stazione IPI (inclinometri IPI)

- Stazione piezometrica (piezometri)

Le stazioni meteo predisposte per le installazioni sono composte da sensori di temperatura, umidità relativa, direzione e intensità del vento, precipitazione, radiazione solare e pressione atmosferica.

Per quanto riguarda le stazioni idrogeologiche, sono state utilizzate 2 tipologie di sensori:

- TDR (Time Domain Reflectometry), utilizzati per valutare il contenuto volumetrico di acqua, sono stati scelti i sensori prodotti dalla ditta Decagon;
- Tensimetri, sono stati scelti i sensori TS1 della ditta Tedesca UMS perché unici nel suo genere, permettono il riempimento e svuotamento della camera per prevenire i problemi connessi al congelamento

Infine, le stazioni Pozzi/IPI hanno sensori per:

- Piezometri, utilizzati per effettuare le misure di variazione della colonna d'acqua rispetto al P.C. (Piano Campagna).
- Inclinatori IPI per la misura di eventuali slittamenti orizzontali o verticali.
- Celle di pressione totale per la misura della massa sovrastante.

I nodi Sink predisposti in questa fase possono essere accorpati alla stazione meteo, contengono un modem GPRS per la trasmissione dei dati acquisiti dall'host remoto (CAED) ed hanno anche la funzione di coordinatore di rete.



Nodo sensore e Sink preparati per l'installazione della rete di monitoraggio

In particolare, TD Group S.p.A. ha predisposto n.2 reti per il tratto autostradale sulla A3, n.2 reti per il tratto A16, e n.2 reti per il tratto A18.

2.1.3.2 REALIZZAZIONE MODULI SW

In questa attività, sono stati realizzati gli applicativi per vari servizi:

- Applicativo per la misura dai vari sensori.
L'applicativo per la gestione dei driver dei sensori, una volta realizzato in base alle specifiche ricavate dalla fase progettuale precedente, è stato oggetto di test accurato e minuzioso, al fine di poter verificare eventuali mancanze nella fase di acquisizione e gestione dei dati letti.
Tutti i sensori necessari sono stati quindi interfacciati.
- Applicativo per raccolta dati e comunicazione con il Coordinatore della rete.
L'applicativo per la creazione dei pacchetti di comunicazione tra la rete di acquisizione dati e il nodo Coordinatore è stato implementato, così come la gestione del protocollo locale per realizzare e inviare i pacchetti.
Sono state implementate le librerie Firmware (codice embedded) necessarie alla gestione dei sensori e all'integrazione con il protocollo di comunicazione, detto Stack radio.
Questi due applicativi sono stati collaudati, creando una piccola rete di sensori che di fatto simulasse una rete che realmente verrà posta in essere; così facendo si è stati in grado di verificare la comunicazione verso il nodo coordinatore, che è solo il primo passo verso il punto finale ovvero l'arrivo dei dati al server. Sul nodo coordinatore si è impiegato diverso tempo per verificare che, non solo i dati arrivassero secondo una tempistica prestabilita, ma che arrivassero anche in maniera integra, ricorrendo spesso ad un aumento della distanza tra nodo sensore e nodo coordinatore, al fine di poter avere un'idea di come la trasmissione dei dati venisse influenzata dalla distanza tra questi due elementi, dalle mutevoli condizioni ambientali, ecc.
- Applicativo del coordinatore per la comunicazione, attraverso il gateway di comunicazione, con il server centrale del CAED.
Il servizio di net bridge tra nodo Coordinatore e server centrale del CAED è stato implementato in questa fase. E' stata completata la funzionalità richiesta per l'attivazione del canale di comunicazione e la gestione dello stesso nello scambio di messaggi con il server del CAED.
In particolare, in questa fase del progetto particolare attenzione è stata posta sulla verifica della comunicazione verso il CAED, ricorrendo ad espedienti che mettessero "sotto stress" il sistema, riproducendo ipotetiche condizioni di funzionamento, alquanto estreme ed anche improbabili, dinanzi alle quali non dovrebbero verificarsi condizioni particolari di malfunzionamento o comunque situazioni non gestibili tale che possano bloccare l'intero sistema.

Il completamento dell'attività di "Realizzazione dei moduli SW" ha considerato anche la realizzazione delle specifiche per la registrazione dei dispositivi sviluppati nel sistema CAED, secondo lo schema previsto.

Si presenta di seguito un esempio delle schede realizzate, dove è possibile identificare in seguito all'introduzione del modulo, sia la descrizione della scheda vera e propria, così come dei singoli sensori ad essa collegati.

Scheda da replicare per ogni dispositivo

tipo dispositivo	Gateway + End Node
identificativo univoco [i]	TDgroup_meteo_1
prodotto da [p]	TDGroup SpA
nome modello	METEO_STATION_STANDALONE
versione software/firmware/middleware	1.0.2332
modelli sensori montati [s]	DAVIS Vantage Pro2, Decagon 5TE
coordinate di posizionamento [k]	CUSTOMER SPECIFIC
operante in WSN (nome dato alla rete [w])	LEW_001_DEMO

SEN SORE

prodotto da	DAVIS Instruments (http://www.davisnet.com)
montato su dispositivo [id univoco]	METEO_STATION (all models)
tipo di misurazione [s]	Temperatura, Umidità [, Temperatura di Ruglada] (derived measure)
modello	Temperature and Humidity 6382 (Alias Sensor SHT15)
unità di misura [u]	°C , RH , °C
variabili della misurazione (nomi) [v]	'wht_temp' , 'wht_humid' , 'wht_devpoint'
range acquisizione [r]	'wht_temp' : -40.0 ... 123.8 °C 'wht_humid' : +0.0 ... 100.0 % 'wht_devpoint' : -40.0 ... 123.8 °C 'Fail' if error (each measures independent)
Link web [url] datasheet	http://www.davisnet.com/weather/products/wx_product_docs.asp?prum=06382

SEN SORE

prodotto da	DAVIS Instruments
-------------	-------------------

L'applicazione realizzata permette la trasmissione dei dati rilevati al sistema centrale del CAED attraverso l'invio dei messaggi precedentemente descritti. In questa fase sono stati effettuati i primi test dei componenti realizzati, si presentano di seguito alcuni esempi di messaggi generati dal sistema.

I messaggi di servizio sono stati assimilati alle misure. Si è richiesto ai responsabili del servizio che gli stessi vengano conservati al fine di poter

analizzare in dettaglio l'andamento dei segnali e quindi risalire alle cause di un eventuale guasto. In particolare:

```
RSSI          SEGEN5_gsm_rssi
GSM   Vbatt   SEGEN5_gsm_batt
SEGEN5 Vbatt   SEGEN5_vbatt
SEGEN5 Temp:  SEGEN5_die_temp
```

Da notare che i Float sono espressione diretta (fino all'ultimo digit) di Float a 32 bit (IEEE 754). L'implementazione prevista non effettua l'arrotondamento od il troncamento.

Si descrivono i comandi del sistema realizzato:

1. Allineamento temporale:

```
OUT: 205 - { 'id': 1, 'destination':'TDgroup_meteo_1', 'command': 14,
'arguments':[ 1384092684 ] }
>> { 'id': 1, 'md5':'817741e67931b173ce6986801553888b' }
```

Da notare che il tempo UTC è in formato UNIX timestamp = 32bit integer (seconds since Jan 1st 1970). Il massimo è: 2147483647 pari al 19 gennaio 2038 03:14:08 UTC

L'allineamento temporale potrà avvenire tramite il welcome message di AqServ:

```
OUT: 7 - Welcome to AqServ 1.0-alpha - today it's 2013-11-22
14:52:38.739898 [1385131958.739961 UTC]
```

2. Cambio Temporizzazione Sensori:

```
OUT: 205 - { 'id': 1, 'destination':'TDgroup_meteo_1', 'command': 20,
'arguments':[ 120 ] }
--
OUT: 205 - { 'id': 1, 'destination':'TDgroup_meteo_1', 'command': 37,
'arguments':[ 120 ] }
>> { 'id': 1, 'md5':'817741e67931b173ce6986801553888b' }
```

I comandi dal 20 al 37 cambiano esclusivamente la temporizzazione del campionamento dei sensori. Il comando 20 cambia tutte le temporizzazioni di tutti i sensori. Il comando 21 cambia la temporizzazione del primo descrittore nella memoria di configurazione. Il comando 22 cambia il secondo descrittore.

L'argomento rappresenta il numero di secondi: 1..65535

Il valore ha un minimo dovuto al tipo di sensore (tempo fisico di misura). In caso il valore richiesto sia inferiore al minimo, il sistema imposterà automaticamente tale valore.

Ad oggi tale valore minimo è stato pre-impostato a 60 secondi.

Da notare che la temporizzazione è relativa ad ogni singolo messaggio: se due sensori sono raggruppati nello stesso messaggio, conseguentemente avranno stessa temporizzazione

Non c'è risposta al comando se non l'ACK con MD5

3. Cambio Temporizzazione RFCOMM:

```
OUT: 205 - { 'id': 1, 'destination':'TDgroup_meteo_1', 'command': 38,
'arguments':[ 600 ] }
>> { 'id': 1, 'md5':'817741e67931b173ce6986801553888b' }
```

Il comando 38 cambia la temporizzazione di login del modulo RFCOMM eventualmente presente a bordo del nodo di trasmissione.

L'argomento rappresenta il numero di secondi: 1...65535

Il valore ha un minimo dovuto al tipo transponder radio. In caso il valore richiesto sia inferiore al minimo, il sistema imposterà automaticamente tale valore.

Ad oggi tale valore minimo è stato pre-impostato a 600 secondi.

Non c'è risposta al comando se non l'ACK con MD5

4. Cambio Temporizzazione NETBRIDGE:

```
OUT: 205 - { 'id': 1, 'destination':'TDgroup_meteo_1', 'command': 39,
'arguments':[ 600 ] }
>> { 'id': 1, 'md5':'817741e67931b173ce6986801553888b' }
```

Il comando 39 cambia la temporizzazione di login del modulo NETBRIDGE eventualmente presente a bordo del nodo di trasmissione.

L'argomento rappresenta il numero di secondi: 1...65535

Il valore ha un minimo dovuto al tipo MODEM. In caso il valore richiesto sia inferiore al minimo, il sistema imposterà automaticamente tale valore.

Ad oggi tale valore minimo è stato pre-impostato a 600 secondi.

Non c'è risposta al comando se non l'ACK con MD5

5. Messaggi di Allarme:

La progettazione del sistema di rilevamento ha previsto l'implementazione di Allarmi, anche se nei requisiti attualmente disponibili, così come nelle riunioni tecniche, non sono emersi Allarmi particolari da realizzare in questa fase.

6. Messaggi di LOG

Questo un esempio di messaggi di Log:

```
>> { 'message': '[TDgroup_meteo_1 13-11-10 14:11:24 #status]
rQx5DT2/heKrs7kssGte5g==;' }
OUT: 200 - Saved [ d8bac4c54e28bc783bace755abb0d248 ]
```

La signature (BASE64) è un packet binario di lunghezza variabile.
Il timestamp è relativo al tempo di invio del messaggio e non è correlato al log stesso.

2.1.3.3 INTEGRAZIONE E TEST

Per la fase di integrazione e test è stato creato un “banco” di sperimentazione che contiene sia i sensori che i moduli di trasmissione dati.

Il banco, di seguito descritto, è stato fatto in modo da poter simulare le variazioni di misura provenienti dai sensori.

Il banco è composto da:

- N.1 Stazione meteo con nodo coordinatore e Gateway (Sink);
- N.1 Nodo "pozzi" (con n.2 inclinometri IPI, n.1 piezometro, n.1 Cella di pressione totale e n.1 estensimetro da pozzo a barra);
- N.1 Nodo "hydro" (con n.4 TDR 5TE, n.1 Tensiometro UMS TS1);
- N.2 scatole di derivazione (una per ogni cluster di sensori);

in modo da simulare più sensori presenti sulla rete. Il banco, così come costruito, è in grado di duplicare le misure prodotte dai 2 IPI e dal tensiometro che possono essere replicate eseguendo più letture dallo stesso sensore, ottenendo in questo modo più dati da sottomettere all'intero sistema di test.



Banco prova realizzato per la fase di integrazione e test: Le foto rappresentano il banco di prova costruito durante la fase di integrazione e test per la verifica funzionale dei nodi della rete di trasmissione. Il banco di prova ha n.3 nodi (idrogeologico, pozzi, meteo con sink), n.1 gateway, n.2 scatole di deviazione, più un insieme di sensori (sensori di pressione totale, stazione meteo, sensori TSR, Tensiometro, Inclinometri –IPI, Piezometro)



A sx scatola di deviazione per il cluster di sensori idrogeologici, al centro stazione meteo con Sink e a dx scatola di deviazione per il cluster di sensori per Pozzi



Sensori di pressione totale, estensimetrico e piezometro (in alto)



Sensori inclinometrici IPI



Sensori per il suolo (5TE) e tensiometro UMS TS1 (in basso a dx)

Il sistema integrato nel banco prova è stato ampiamente utilizzato per verifica e validazione della corrispondenza tra le funzionalità previste e i risultati di misura. Si presenta di seguito un log di sistema ottenuto nella fase di test da dove è possibile ricostruire l'intero funzionamento del sistema realizzato.

```
!!S5 START!! - Waiting 5 seconds for Debug/Program update
```

```
LOG          device initialisation: PASS
POWER        service initialisation: PASS
RESOURCE     service initialisation: PASS
UNIX CLOCK   service initialisation: PASS
S5 EEPROM    driver initialisation: PASS
FLASH        driver initialisation: PASS
STORAGE      service initialisation: PASS
TSS          service initialisation: PASS
```

```
SEGEN5 Application - version: 1.2 revision: 2492 libversion: 0
Boot sequence terminated with status: 0x00
```

```
PSoC Revision: 0x01 Minor: 0x00 JTAG-ID: 0x0E13C069
Wafer batch nbr. 1, coordinate X[23] Y[8]
Production Fab: 4 @ Year: 1 WWeek: 39 Lot: 868
```

```

Die temperature:+28°C
EXTERNAL FLASH: mx2516445e size 8388608 JEDEC (0x00C22017)
----- STORAGE SERVICE -----
MESSAGE      FIFO Start[End]: 0x00000000[0x0009FFFF] Num Messages: 0x0
Alarm        FIFO Start[End]: 0x000A0000[0x000AFFFF] Num Alarms: 0x0
PROCESSORS   FIFO Start[End]: 0x000B0000[0x000BFFFF] Num Processors: 0x5
DRIVER       FIFO Start[End]: 0x000C0000[0x000CFFFF] Num Configurations: 0x0
FIRMWARE     FIFO Start[End]: 0x00100000[0x003FFFFF] Num Firmwares: 0x0
LOG          FIFO Start[End]: 0x00400000[0x007FFFFF] Num Log messages: 0x4

===== APPLICATION START =====

Now: 2013-11-29 09:29:41
TSSmgr Start Processor descriptor[0]
DECAGON 5TE Measured values - Permittivity: +1.059999 Conductivity: +0.0
Temperature: +21.200000 VWC: +0.0
Now: 2013-11-29 09:29:46
TSSmgr END Processor descriptor. Next processor[1]

Now: 2013-11-29 09:29:46
TSSmgr Start Processor descriptor[1]
DAVIS RAIN Measured values - Rain level Accumulated: +0.0 on Period: +0.0
Now: 2013-11-29 09:29:47
TSSmgr END Processor descriptor. Next processor[2]

Now: 2013-11-29 09:29:47
TSSmgr Start Processor descriptor[2]
Analog Channel: 1 Measured value: +384.465057
SHT7x Measured values - Temperature: +21.535839 Humidity: +53.236022 DewPoint:
+11.614226
Now: 2013-11-29 09:29:49
TSSmgr END Processor descriptor. Next processor[3]

Now: 2013-11-29 09:29:49
TSSmgr Start Processor descriptor[3]
Analog Channel: 2 Measured value: +41.514015
DAVIS WIND Measured values - Wind Speed: +0.0 Ghust speed: +0.0
Now: 2013-11-29 09:29:59
TSSmgr END Processor descriptor. Next processor[4]
Now: 2013-11-29 09:29:59

TSSmgr Start Processor descriptor[4]
AqServ_protocol_manager Start descriptor with status: 0x00
  Measure ID: 14, data lenght: 10, samp.seconds: 50 function ptr: 00007209
  Custom Data: MODE(0x80) CUSTOM1(0x00) CUSTOM2(0) CUSTOM3(0)
  AqServ_protocol_manager() elapsed: 15 seconds, Retries: 1, TCP Status: 0x8000
Driver status: 0x01 return: 0x14
AqServ NETBRIDGE START: POWER-ON
Analog Channel: 0 Measured value: +2.623749
AqServ: GSM signal rssi 0 ber: 8

```



```

AwMDAgDQogICAgRXJhc2luZyBibG9jayAweDAwN0UwMDAwIAOKICAgIEVYXNpbmcgYmxvY2sgMHgwMDdG
MDAwMCANCg==;'"
AqServ_protocol_delete_message(2) : SUCCESS
AqServ_protocol_send_message() Message: "'message': '[TDgroup_meteo_1 13-11-29
09:29:00 #sample] -wht_rad:+384.465057 -
wht_temp:NaN,wht_humi:NaN,wht_dewpoint:NaN;'" MD5:
"cd96754cf8c829399f8ab481db54541c"
AqServ: Received TCP Buffer[125]: "OUT: 303 - Message [
6b742cf577e62db2916ccdb0f23dbaab ] duplicated

.....

AqServ_protocol_send_message() Message: "'message': '[TDgroup_meteo_1 14-01-06
13:35:00 #sample] -
soil_perm:+1.059999,soil_cond:+0.0,soil_temp:+21.899999,soil_vwc:+0.0;'" MD5:
"8dadf0a082fae66419c47e0ae11030c0"
AqServ: Received TCP Buffer[55]: "OUT: 200 - Saved
[8dadf0a082fae66419c47e0ae11030c0]"
S5_FLASH_driver_eraseFromTo() Erase request from sector 0x00001000 up to sector
0x00000FFF
AqServ_protocol_delete_message() : SUCCESS

AqServ_protocol_send_message() Message: "'message': '[TDgroup_meteo_1 14-01-06
13:35:00 #sample] -wht_rain:+0.0,wht_rainh:+0.0;'" MD5:
"b756323d821cf8f7616eed7ab8485305"
AqServ: Received TCP Buffer[55]: "OUT: 200 - Saved
[b756323d821cf8f7616eed7ab8485305]"
AqServ_protocol_delete_message() : SUCCESS

AqServ_protocol_send_message() Message: "'message': '[TDgroup_meteo_1 14-01-06
13:35:00 #sample] -wht_rad:+1.741438 -
wht_temp:+21.935840,wht_humi:+57.140907,wht_dewpoint:+13.064679;'" MD5:
"a0f09e7387c67208865a29af27c636ad"
AqServ: Received TCP Buffer[55]: "OUT: 200 - Saved
[a0f09e7387c67208865a29af27c636ad]"
AqServ_protocol_delete_message() : SUCCESS

AqServ_protocol_send_message() Message: "'message': '[TDgroup_meteo_1 14-01-06
13:35:00 #sample] -wht_direction:+86.548828 -wht_speed:+0.0,wht_gust:+0.0;'" MD5:
"2858425488453386748261bd166e14bb"
AqServ: Received TCP Buffer[55]: "OUT: 200 - Saved
[2858425488453386748261bd166e14bb]"
AqServ_protocol_delete_message() : SUCCESS

.....

AqServ LOGOUT
AqServ NETBRIDGE STOP: POWER-OFF
Now: 2014-02-08 18:12:55
TSSmgr END Processor descriptor. Next processor[0]

```

```
Now: 2014-02-08 18:12:55
TSSmgr Start Processor descriptor[0]
DECAGON 5TE Measured values - Permittivity: +1.059999 Conductivity: +0.0
Temperature: +21.200000 VWC: +0.0
Now: 2014-02-08 18:13:01
TSSmgr END Processor descriptor. Next processor[1]

Now: 2014-02-08 18:13:01
TSSmgr Start Processor descriptor[1]
DAVIS RAIN Measured values - Rain level Accumulated: +0.0 on Period: +0.0
Now: 2014-02-08 18:13:02
TSSmgr END Processor descriptor. Next processor[2]

Now: 2014-02-08 18:13:02
TSSmgr Start Processor descriptor[2]
Analog Channel: 1 Measured value: +368.993255
SHT7x Measured values - Temperature: +21.495841 Humidity: +53.261581 DewPoint:
+11.584438
Now: 2014-02-08 18:13:04
TSSmgr END Processor descriptor. Next processor[3]

Now: 2014-02-08 18:13:04
TSSmgr Start Processor descriptor[3]
Analog Channel: 2 Measured value: +39.610435
DAVIS WIND Measured values - Wind Speed: +0.0 Ghust speed: +0.0
Now: 2014-02-08 18:13:14
TSSmgr END Processor descriptor. Next processor[0]
```

In generale, nei file di LOG si possono distinguere le seguenti fasi :

1. Fase di inizializzazione del sistema
2. Avvio del kernel e dei driver di comunicazione
3. Avvio del processo di campionamento per i/il sensori/e collegati (nell'esempio sopra esposto per la stazione meteo) (4 processi, da notare la mancanza di sincronizzazione della data)
 - a. Avvio del processo di comunicazione con la AqServ
 - b. Riconoscimento stazione
 - c. Autenticazione
 - d. Login
 - e. Invio messaggi di misura e log
 - f. Disconnessione
 - g. Power off del modem GPRS
4. Avvio del processo di campionamento per la stazione meteo (da notare che a questo punto la data è stata sincronizzata con il sistema centrale.

