

**LINEE GUIDA PER LA PROGETTAZIONE,
RIMODULAZIONE, MESSA A NORMA E
CERTIFICAZIONE DELLE STAZIONI E DELLE
RETI DI MONITORAGGIO METEOROLOGICO
E CLIMATOLOGICO AL SUOLO (*IN SITU*)**

**Massimo Crespi¹
Andrea Bertolini²**

Sommario

1. INTRODUZIONE	2
2. OBIETTIVO	3
3. SISTEMI DI MONITORAGGIO METEOROLOGICO.....	3
3.1. L'INSIEME OSSERVATIVO	3
3.2. SENSORI E RETI <i>IN SITU</i>	3
3.3. OSSERVAZIONI METEO-MARINE	4
3.4. STAZIONI VIRTUALI.....	5
4. PRINCIPI GENERALI	5
4.1. LINEE GUIDA, MESSA A NORMA E CERTIFICAZIONE.....	5
4.2. NORMATIVA WMO	6
4.3. ALTRE NORMATIVE RILEVANTI	6
5. CARATTERISTICHE DEI SENSORI E DEI SITI	7
5.1. SENSORI AUTOMATICI E DI QUALITÀ	7
5.2. SITO DI MISURA, ALTEZZA DAL SUOLO ED ESPOSIZIONE DEI SENSORI	8
5.2.1. Classificazione del sito	8
5.2.2. Altezza dei sensori dal suolo	10
5.2.3. Esposizione degli strumenti.....	10
5.3. SUPERVISIONE.....	11
6. PROGETTAZIONE DI UNA NUOVA RETE	11
6.1. ANALISI DELLO STATO DI FATTO	11
6.2. PROGETTAZIONE ESECUTIVA.....	11
6.3. DIREZIONE LAVORI E COLLAUDO	13
7. RIMODULAZIONE E MESSA A NORMA DI UNA RETE ESISTENTE	14
7.1. ANALISI DELLO STATO DI FATTO E VALUTAZIONE DI CONFORMITÀ	14
7.1.1. Per stazioni esistenti	14
7.1.2. Per rimodulazione e integrazione	14
7.2. PROGETTAZIONE ESECUTIVA	15
7.2.1. Per stazioni esistenti	15
7.2.2. Per rimodulazione e integrazione	15
7.3. DIREZIONE LAVORI E COLLAUDO	16
8. CERTIFICAZIONE	17
8.1. PREMessa	17
8.2. IL PROCESSO DI CERTIFICAZIONE	18
8.3. IL CICLO DI CERTIFICAZIONE	19
8.3.1. Manuale	19
8.3.2. Questionario di verifica.....	19
8.3.3. Fornitura di informazioni e dati.....	19
8.3.4. Pre-Analisi.....	20
8.3.5. Verifica <i>in situ</i>	20
8.3.6. Post-Analisi.....	20
8.3.7. Attestato di conformità	20
9. CONTROLLO E VALIDAZIONE DEI DATI	20
10. NOTE	21
11. BIBLIOGRAFIA	22

1. INTRODUZIONE

La meteorologia e la climatologia investigano un mondo che sta acquisendo una importanza crescente, sia per le sue connessioni dirette con l'economia, con la società, con le nuove tecnologie, con i mondi smart (agricoltura, ambiente, aree urbane, energia, ecc.) sia per una più generale sensibilizzazione legata al fenomeno del cambiamento climatico.

Questa contingenza è tale da portare una maggiore attenzione e sensibilità verso il dato meteorologico, che veniva prima considerato in termini qualitativi, ma che oggi è sottoposto ad una attenta analisi quantitativa. *Assessment* assicurativi su nuove polizze, analisi storiche climatologiche, analisi regressive o rianalisi, monitoraggi ambientali, mercato energetico, gestione delle acque: sono molti i settori che subordinano decisioni strategiche ed operative ai *trigger* meteorologici, che grazie all'approccio digitale entrano a pieno titolo in segmenti diversi e specifici dei processi.

Quando inoltre si opera nel campo della "meteorologia legale[®]", la quale va ad incidere in ambiti contrattuali o legali, assumendo quindi anche un carattere probatorio, essa deve essere portatrice di una informazione ancor più chiara, precisa e scientificamente fondata.

Va infine considerato che questa grande attenzione, per il momento limitata alle applicazioni avanzate e digitali, sarà sempre più oggetto di attenzione sociale e politica, il che implica una diffusa analisi critica e la conseguente esigenza di disporre di dati sostenibili e credibili.

Questi dati vengono raccolti con diverse tecnologie e sensori: tra questi il ruolo principale viene tuttora svolto dai sistemi di monitoraggio *in situ*, cioè dai sensori e dalle stazioni meteorologiche al suolo. La trattazione desidera mettere in luce come questi sistemi debbano venir progettati, realizzati e gestiti in un contesto di conformità e di qualità per poter fornire dati e *dataset* adeguati ad utilizzi complessi o probatori e ad un loro impiego in matrici meteorologiche frutto di elaborazioni statistiche anche rianalitiche.

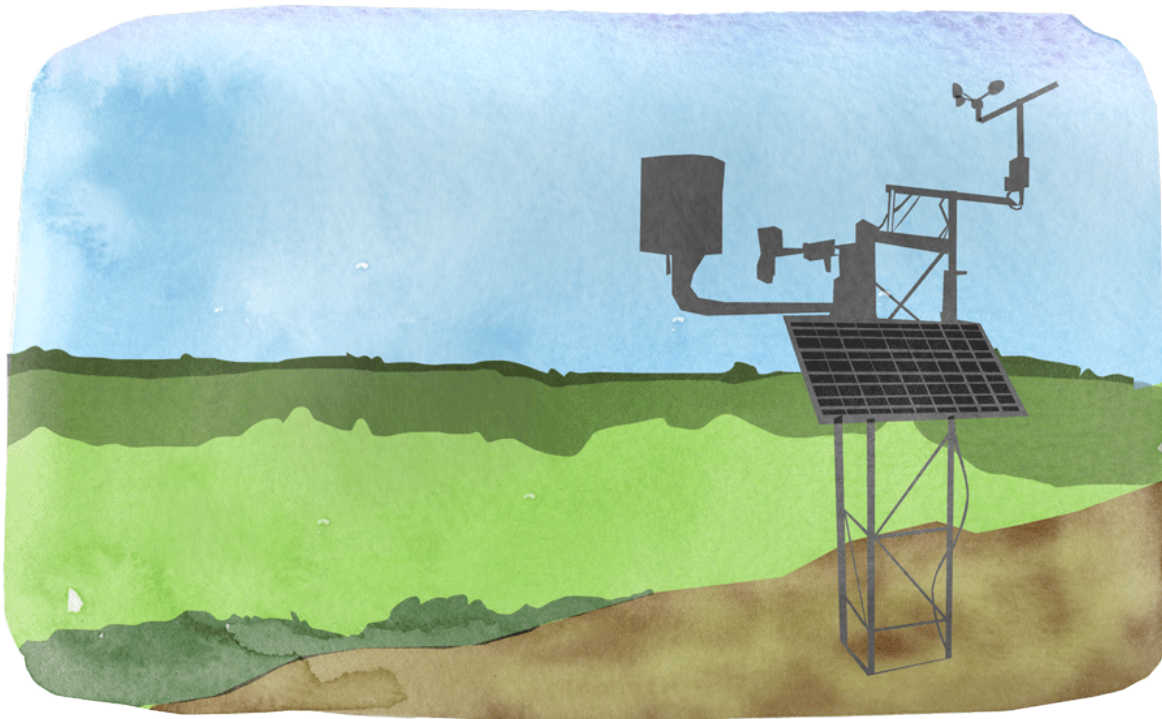


Fig. 1 Stazione meteorologica in situ

2. OBIETTIVO

La realizzazione delle reti meteorologiche (*Fig. 1*) richiede un impegno significativo per investimento iniziale, gestione e manutenzione, è quindi ragionevole aspettarsi che esse forniscano una base osservativa di qualità per supportare le molteplici funzioni cui possono venir destinate. Tuttavia, si è constatato che sovente questi sistemi di monitoraggio, a causa di situazioni o problematiche a volte facilmente superabili (ubicazione non ottimale della stazione, mancanza di una corretta validazione dei dati, inadeguatezza di alcuni sensori) producono dati di limitata rappresentatività³ e non adeguati a tutte le applicazioni. Questa situazione è sostanzialmente dovuta ad una carenza di progettualità, od addirittura alla sua assenza, quando ad esempio si ritiene di affidare al fornitore della rete anche la fase progettuale, ritenendo in questo modo di ridurre i costi del progetto, oppure quando la gestione complessiva della rete non soddisfi almeno i canoni basilari della supervisione richiesta dalla WMO⁴, a volte solamente per una loro inadeguata conoscenza.

Le reti di monitoraggio richiedono anzitutto una attenta progettazione, che consenta di disegnare una struttura che risponda alle specifiche esigenze, sia negli aspetti tecnologici e normativi che in quelli gestionali e finanziari. Ove possibile, e se necessario, esse vanno già concepite in una prospettiva di certificazione. Allo stesso modo, le reti esistenti vanno ricondotte ad una normalizzazione e ad una ottimizzazione tecnologica e funzionale che ne valorizzi i dati ed i servizi connessi. Il processo di certificazione, ove applicabile, conclude questo iter.

3. SISTEMI DI MONITORAGGIO METEOROLOGICO

3.1. L'INSIEME OSSERVATIVO

Il monitoraggio dei parametri meteorologici viene effettuato mediante sistemi di monitoraggio, usualmente organizzati in reti di sensori e di stazioni, di varia tecnologia, caratteristiche e finalità. Oltre alle stazioni meteorologiche cosiddette *in situ*, un ruolo chiave viene ricoperto dai radiosondaggi e dalla sensoristica remota, come i satelliti, i radar, i rilevatori delle fulminazioni. Inoltre, per alcune applicazioni speciali, come ad esempio l'inquinamento urbano, la radiotelescopia o la meteorologia aeroportuale, è necessario ricorrere a strumentazioni specifiche come i radiometri, i *sodar* e altri.

A questo proposito si sottolinea che è da un *merging* informativo fra queste diverse famiglie di osservazioni che si ottengono i migliori risultati sulla conoscenza dello stato dell'atmosfera e della sua evoluzione.

Ogni tipologia di strumento è soggetta ad un proprio percorso certificativo ed anche a diversi standard qualitativi; rispetto a tale eterogeneità, si intende specificare che il documento è dedicato alla realizzazione ed alla certificazione di reti costituite da sensori e stazioni *in situ*.

3.2. SENSORI E RETI *IN SITU*

La scienza meteorologica nasce con le osservazioni eseguite *in situ*, che costituiscono tuttora la serie storica più lunga e rilevante delle nostre conoscenze atmosferiche. Oggi la loro importanza non è cambiata, si è anzi ampliata. Ciò è dovuto a vari fattori; da una parte al continuo affinamento tecnologico della sensoristica e delle sue *performance*; dall'altra all'integrazione con i dati raccolti da fonti diverse, come i sensori remoti (radar, satelliti); infine dal peso che i dati *in situ* hanno acquisito nell'applicazione dei nuovi metodi scientifici, quali l'analisi retrospettiva o rianalisi.

Parlare oggi di reti meteorologiche al suolo significa muoversi all'interno di linee guida ben definite, imprescindibili nel contesto di un insieme osservativo mondiale e quindi di interrelazioni su diversi livelli. Le reti vanno anzitutto definite in base al loro scopo, e su questo riferimento ne vanno individuate le caratteristiche ed i livelli di rappresentatività⁴. Il monitoraggio dei grandi fenomeni atmosferici alla mesoscala, le evoluzioni climatologiche, il nowcasting, l'agrometeorologia o la meteorologia urbana, presentano diverse esigenze, quindi diverse saranno la tipologia e distribuzione dei sensori, le tempistiche di acquisizione e validazione dei dati, e così via.

Queste diversità determineranno la produzione di *dataset* differenti. Di questi, quelli generati da reti di monitoraggio meteorologico conformi alle linee guida della WMO potranno accedere a livelli elaborativi avanzati, mentre gli altri saranno meno o affatto fruibili in quei contesti, ma non per questo inutili alla funzione cui erano destinati.

3.3. OSSERVAZIONI METEO-MARINE

Tra le applicazioni speciali, di grande rilievo è quella relativa alle osservazioni meteo-marine (*Fig. 2*), data la particolare importanza del dato meteorologico in quel contesto. Le osservazioni in mare vengono utilizzate per:

- il monitoraggio in continuo delle condizioni meteo-marine a supporto delle attività operative;
- il riscontro e la verifica istantanea e puntuale delle indicazioni previsionali;
- la raccolta dati per l'elaborazione di studi di tipo climatologico e di caratterizzazione climatica del sito;
- la redazione di indagini post-evento anche a scopo tecnico-scientifico e legale-amministrativo.

Si tratta di un settore per il quale valgono tecniche ed accorgimenti specifici, ad iniziare dalla specificità dei parametri da misurare (oltre ai consueti, il moto ondoso, le correnti, la visibilità), dai sensori da utilizzare, dal materiale che li costituisce ed anche dalla loro ubicazione.



Fig. 2 Monitoraggi meteo-marini

3.4. STAZIONI VIRTUALI

Il notevole sviluppo delle osservazioni meteorologiche ed il supporto tecnologico del digitale hanno consentito l'inserimento del dato atmosferico in molti processi decisionali ed operativi che richiedono un elevato dettaglio spaziotemporale; applicazioni di questo genere possono venir sostenute da una rete la cui rappresentatività sia garantita da un elevato standard qualitativo, e quindi a norma e certificata. In tale ambito si cita il crescente utilizzo di DSS (*Decision Support System*) in agricoltura: per ridurre l'impatto ed il costo associato ai trattamenti fitopatologici, l'operatore agricolo deve disporre di un dato meteorologico specifico per il territorio in cui opera. Una rete ben distribuita è in grado di sostenere ed alimentare, tramite i propri dati, una ulteriore rete, di maggior dettaglio, costituita da stazioni virtuali (Fig. 3). Si può quindi ottenere il dato relativo ad ogni punto del territorio, pur in assenza della stazione sul punto stesso, non mediante una mera interpolazione geo-statistica, ma attraverso la rianalisi meteorologica, cioè la modellazione dei parametri statistico-climatologici che determinano la particolare distribuzione spaziale dei valori della variabile meteorologica d'interesse.

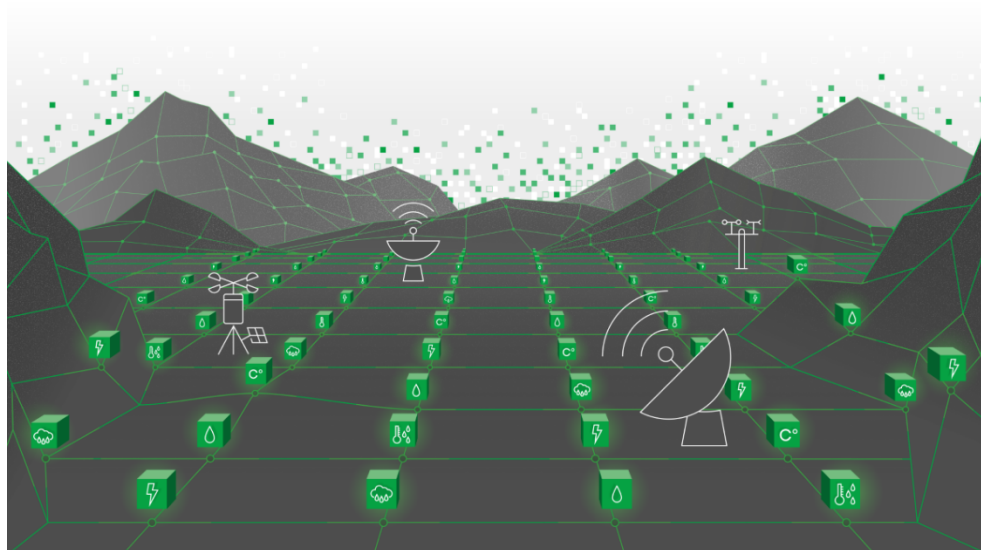


Fig. 3 L'insieme delle osservazioni costituisce il fondamento per la realizzazione di griglie di dati mediante la rianalisi

4. PRINCIPI GENERALI

4.1. LINEE GUIDA, MESSA A NORMA E CERTIFICAZIONE

Scopo di questo testo è quello di fornire indicazioni chiare ed operative per la realizzazione o la rimodulazione di un sistema di monitoraggio efficiente, costituito da stazioni che rilevino le variabili meteorologiche mediante processi di qualità, e comunque entro gli standard WMO, producendo dati adeguati, sostenibili e condivisibili. Questi scopi vengono raggiunti attraverso i seguenti passaggi:

- analisi delle linee guida della WMO in funzione dello scopo e delle finalità della rete;
- applicazione della normativa WMO idonea alla progettazione di nuove reti o alla rimodulazione progettuale in caso di reti esistenti;
- verifica ed applicazione di ogni altro livello di normativa o di certificazione necessario (in particolare per le componenti elettriche);

- certificazione di qualità riferita al rispetto della normativa WMO; la certificazione non può venire ottenuta da tutte le tipologie di rete in quanto alcune, pur funzionali allo scopo per il quale vengono realizzate ed utilizzate, non sono oggettivamente in grado di rispecchiare alcune condizioni generali.

4.2. NORMATIVA WMO

La WMO è l'agenzia tecnica dell'ONU che coordina la meteorologia, la climatologia e l'idrologia operativa su tutto il pianeta. Una delle sue principali missioni è la promozione della standardizzazione delle misurazioni meteorologiche. Questo tema viene definito nella "Guide to Instruments and Methods of Observation" WMO-No.8 – 2018, Vol. 1 "Measurement of Meteorological Variables"; il documento è noto anche come CIMO⁵ Guide (WMO, 2018).

In sintesi, la WMO definisce i quattro criteri necessari per ottenere delle misurazioni di qualità:

- utilizzare stazioni meteorologiche automatiche;
- utilizzare sensori di qualità elevata;
- installare i sensori in siti idonei, con una corretta altezza dal suolo ed esposizione;
- garantire un elevato standard di supervisione (manutenzione, ispezione e calibrazione dei sensori).

Su quella base, ad ogni singolo sensore viene attribuito un determinato livello di conformità:

- **pienamente conforme:** tutti i requisiti WMO sono soddisfatti; sensore di alta qualità con la minor incertezza possibile; può essere utilizzato sia in ambito meteorologico che climatologico;
- **conforme:** la maggior parte dei requisiti WMO sono soddisfatti; incertezza intermedia ma ancora accettabile, può essere utilizzato in ambito meteorologico e per ogni tipo di applicazione operativa (alimentazione di DSS per la gestione della risorsa idrica, mitigazione degli allagamenti, agricoltura, ecc.);
- **non conforme:** alcuni importanti requisiti WMO non sono soddisfatti; incertezza molto alta o non nota, da utilizzare con cautela, non idonea per molte applicazioni.

Si sottolinea ancora una volta che, essendo i dati meteorologici raccolti in funzione di scopi specifici, la loro conformità è necessaria in alcune applicazioni, ad esempio in contesti probanti, assicurativi, contrattuali, di meteorologia generale oppure nei casi in cui i dati si debbano integrare in altre e diverse reti conformi o certificate. Ma sussistono applicazioni in cui i criteri richiesti raramente possono venir conseguiti, ad esempio per la difficoltà di ubicare i sensori in siti adeguati; si cita il caso dell'agrometeorologia o della meteorologia urbana, per le cui applicazioni i sensori sono installati sopra od in prossimità delle costruzioni, od in terreni soggetti a lavorazioni. Ebbene, questi dati conservano comunque una valenza operativa e svolgono il ruolo per cui sono stati raccolti (supporto alla gestione dell'irrigazione e dei trattamenti fitosanitari, alle scelte per la mitigazione dell'inquinamento urbano, ecc.); non si potrà quindi ottenere un dato generalizzabile, ma certo molto rappresentativo delle caratteristiche specifiche di un'area limitata e quindi utile allo scopo.

4.3. ALTRE NORMATIVE RILEVANTI

Oltre alle linee guida WMO, esistono altre due norme specifiche che riguardano le stazioni e le reti meteorologiche:

- la norma ISO 19289, 2015 "Air quality - Meteorology - Siting classifications for surface observing stations on land" che riprende in toto il "Siting Classifications for Surface Observing Stations on Land" (WMO-No. 8, 2018), Volume I, Capitolo 1, Allegato 1D, illustrato più avanti in questo testo;

- la norma UNI EN 17277:2020 "Idrometria - Requisiti di misurazione e classificazione degli strumenti pluviometrici per la misura dell'intensità di precipitazione", che considera il parametro precipitazione e definisce le procedure e la strumentazione per eseguire prove in laboratorio e in campo, in condizioni stazionarie, a fini di taratura, verifica e conferma metrologica degli strumenti di misura, arrivando a classificare i pluviometri sulla base delle loro prestazioni in laboratorio.

Inoltre, la corretta realizzazione della rete di monitoraggio non può prescindere dal rispetto delle direttive di marcatura CE, ossia di quell'insieme di pratiche obbligatorie per tutti i prodotti disciplinati da una direttiva comunitaria, in particolare:

- Direttiva Macchine 2006/42/CE: definisce i requisiti essenziali, in materia di sicurezza e di salute pubblica, ai quali devono rispondere le macchine in occasione della loro progettazione, fabbricazione e del loro funzionamento, prima della loro immissione sul mercato;
- Direttiva Basso Voltaggio 2014/35/UE: disciplina la sicurezza legata all'utilizzo del materiale elettrico destinato ad essere utilizzato ad una tensione nominale compresa fra 50 e 1000 V in corrente alternata e fra 75 e 1500 V in corrente continua;
- Direttiva Compatibilità Elettromagnetica 2014/30/EU: riguarda le apparecchiature elettriche ed elettroniche che possono creare perturbazioni elettromagnetiche o il funzionamento delle quali può essere influenzato da perturbazioni generate da altre sorgenti di disturbo elettromagnetico.

Del rispetto di queste ultime direttive si deve far carico il produttore e l'installatore della rete, è bene comunque che il progettista richieda nel capitolato il rispetto di tutto questo insieme di normative.

Si ritiene di sottolineare l'importanza che tutti gli impianti siano dotati di messa a terra, ossia di un sistema volto a portare gli elementi metallici che costituiscono la stazione meteorologica al potenziale elettrico del terreno (D.Lgs. n. 81/2008, D.M. n. 37 del 22 gennaio 2008, norma CEI 64-8/4) proteggendo persone e animali dal rischio folgorazione; la mancanza di tale impianto pregiudica gli interventi di manutenzione, che la ditta appaltatrice può rifiutarsi di realizzare per carenza di sicurezza.

5. CARATTERISTICHE DEI SENSORI E DEI SITI

5.1. SENSORI AUTOMATICI E DI QUALITÀ

Il mercato meteorologico propone soluzioni sempre più avanzate e funzionali della sensoristica meteorologica. È evidente che in questa famiglia non sono comprese le vecchie stazioni manuali, che richiedevano la raccolta dei nastri registrati e la loro successiva digitalizzazione; si tratta di strumenti che hanno svolto un ruolo importante dal punto di vista della storicità della stazione e hanno raccolto un patrimonio significativo di dati, ma che oggi sono ampiamente sorpassati. I sensori vanno quindi scelti in base ad una attenta verifica delle caratteristiche obbligatoriamente indicate nelle schede tecniche, e ad un equilibrio fra i costi di investimenti, quelli di gestione e le risorse disponibili o che si rendessero disponibili grazie all'uso dei dati della rete. A titolo di esempio, va accertato che la sensoristica sia adatta all'uso in pieno campo e con un *range* di operatività compatibile con le possibilità climatiche del sito, e che sia inoltre caratterizzata da un'incertezza operativa di misura non superiore ai limiti indicati dalla *CIMO Guide* (WMO, 2018) o dalla "*Sustained Performance Classification for Surface Observing Stations on Land*" (WMO, Leroy, 2013).

In *Tab. 1* vengono indicati i limiti di incertezza per diverse variabili meteorologiche.

Variabile Meteorologica	Pienamente conforme (Allegato 1.E del WMO-N.8)	Conforme Class C (Leroy, 2013)
Temperatura	0.2 °C	1°C
Umidità	3 %	10 %
Precipitazione	5 %	10 %
Pressione	0.15 hPa	1 hPa
Intensità del vento	10 %	15 %
Direzione del vento	5°	10°
Radiazione globale	2%	10%
Eliofania	2%	10%

Tab. 1 Limiti massimi per incertezza operativa di misura

5.2. SITO DI MISURA, ALTEZZA DAL SUOLO ED ESPOSIZIONE DEI SENSORI

La scelta delle migliori stazioni meteorologiche non è criterio sufficiente per ottenere una rete meteorologica di elevata qualità. Poiché il valore del dato rilevato dipende sensibilmente dall'esposizione dello strumento all'atmosfera, è infatti necessaria una corretta scelta del sito di rilevamento e della collocazione dei vari sensori, con particolare riguardo alla distanza dagli ostacoli.

Tutte le stazioni della rete di monitoraggio dovranno pertanto soddisfare i criteri indicati dalle linee guida WMO, riguardanti:

- classificazione del sito;
- altezza dei sensori dal suolo;
- esposizione degli strumenti.

5.2.1. Classificazione del sito

Le condizioni ambientali di un sito possono influenzare i risultati della misurazione, esse quindi devono essere analizzate attentamente per evitare un loro effetto distorsivo sui dati.

Il riferimento più ampiamente accettato per caratterizzare le condizioni ambientali e per valutare la rappresentatività di un sito di misura è la norma WMO/ISO standard (ISO 19289, 2015) "Air quality - Meteorology - Siting classifications for surface observing stations on land" che riprende in toto il "Siting Classifications for Surface Observing Stations on Land", pubblicato nella CIMO Guide (WMO-No. 8, 2018), Volume I, Capitolo 1, Allegato 1D. Per ogni diverso parametro atmosferico misurato, la norma prevede cinque classi di conformità:

- sito di classe 1: pienamente conforme;
- sito di classe 2: pienamente conforme;
- sito di classe 3: conforme;
- sito di classe 4: non conforme;
- sito di classe 5: non conforme.

Un sito di classe 1 può essere considerato come un sito di riferimento, mentre uno di classe 5 soffre, ad esempio, di ostacoli troppo vicini che incidono negativamente sulla misurazione meteorologica.

Per casi particolari come le installazioni in ambito urbano, o in agrometeorologia, oppure in contesti particolari come strade ed aeroporti, generalmente caratterizzati da una modesta conformità, è possibile aggiungere un ulteriore flag "S" ai numeri di classe 4 o 5 per indicare un ambiente o un'applicazione specifici (es: 4S).
 Le Figg. 4-5-6 sintetizzano i criteri che devono essere rispettati perché un sito possa essere definito di classe 2 e quindi pienamente conforme, rispettivamente per temperatura e umidità, precipitazione e vento.

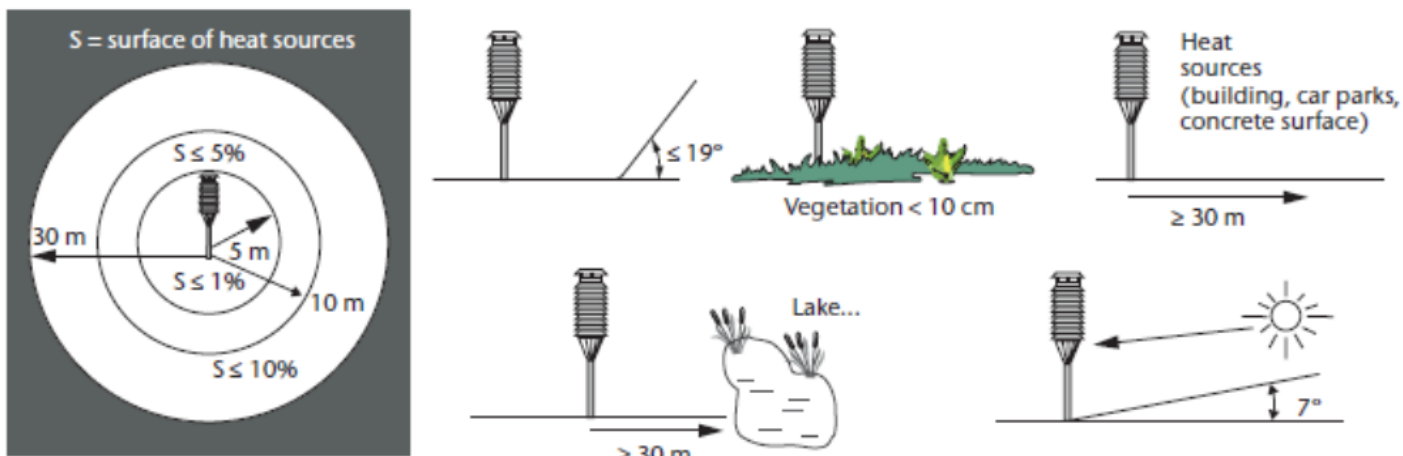


Fig. 4 Temperatura e umidità, criteri per classe 2 (WMO, 2018, Allegato 1.D), pienamente conforme.

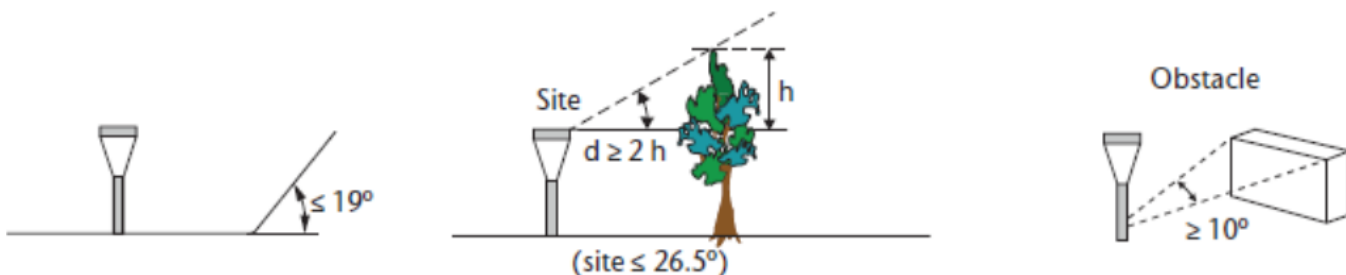


Fig. 5 Precipitazione, criteri per classe 2 (WMO, 2018, Allegato 1.D), pienamente conforme

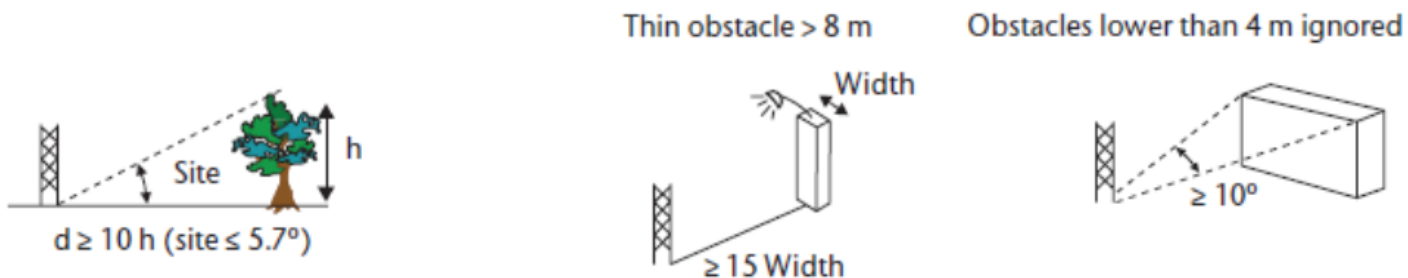


Fig. 6 Vento, criteri per classe 2 (WMO, 2018, Allegato 1.D), pienamente conforme

5.2.2. Altezza dei sensori dal suolo

La *CIMO Guide* (WMO, 2018) definisce le altezze dal suolo cui vanno raccolte le misure perché si possano considerare a norma. In *Tab. 2* ne sono riportati i casi più significativi.

Variabile Meteorologica	Pienamente conforme	Conforme
Temperatura e Umidità	2 m ($\pm 10\%$)	1.25 – 3 m
Precipitazione	1.5 m ($\pm 10\%$)	0.5 – 3 m
Vento	10 m su terreno aperto e pianeggiante	

Tab. 2 Altezza di misura dal suolo

5.2.3. Esposizione degli strumenti

La *Fig. 7* illustra una distribuzione ottimale degli strumenti all'interno dell'area della stazione meteorologica; in essa ogni sensore è esposto continuamente all'ambiente. Nella installazione delle stazioni l'aspetto più importante consiste comunque nell'accertarsi che non vi siano interferenze da ostacoli circostanti presenti o futuri (siepi, alberature).

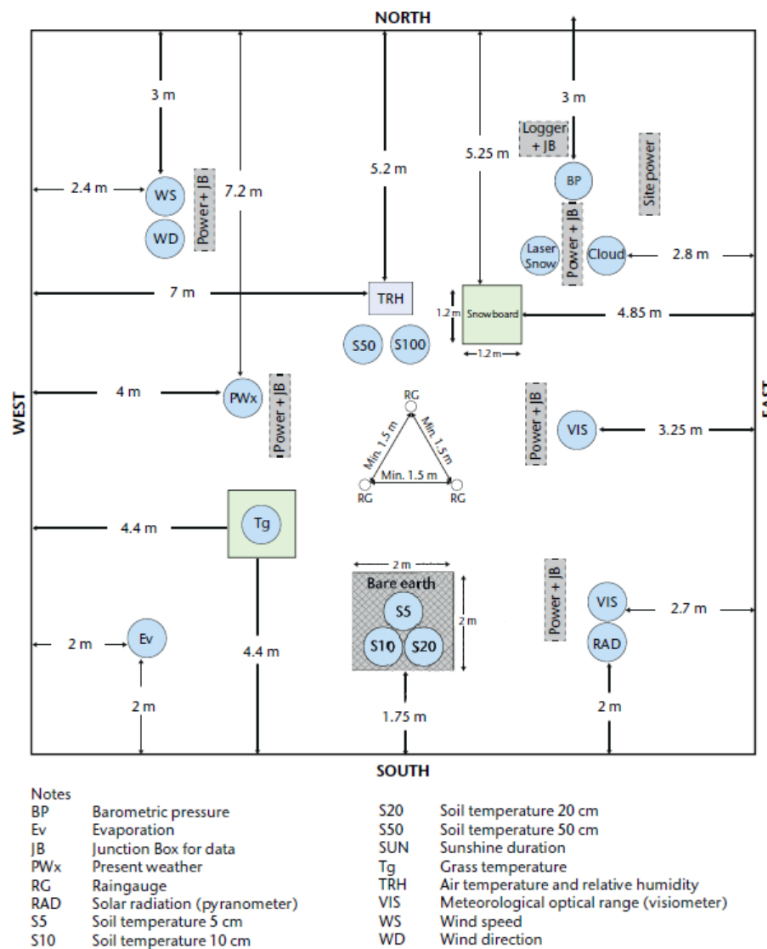


Fig. 7 Esempio di layout di una stazione meteorologica che mostra le distanze tipiche tra i sensori e il recinto - *CIMO Guide* (WMO, 2018)

Di seguito si elencano, per ogni diverso sensore, le indicazioni della *CIMO Guide* (WMO, 2018):

- temperatura e umidità: lo strumento è libero da interferenze (almeno per un raggio di 2 m) e non è attaccato al muro. L'alloggiamento è bianco e intatto;
- pressione: lo strumento è esposto all'aria aperta e l'alloggiamento è intatto;
- vento: il palo è dritto e abbastanza forte da sopportare le raffiche estreme;
- precipitazioni: il palo è dritto, lo strumento non è installato su un tetto e non è coperto da oggetti o strumenti vicini;
- radiazione ed eliofania: lo strumento è libero da interferenze ed in posizione livellata, l'alloggiamento è intatto.

5.3. SUPERVISIONE

La rappresentatività della rete di monitoraggio può essere garantita solo mediante una corretta e sistematica attività di supervisione che la *CIMO Guide* (WMO, 2018) sintetizza nei seguenti cinque punti:

- calibrazione: va effettuata ad intervalli regolari (ogni 5 anni) in un laboratorio accreditato;
- controllo (es. calibrazione del pluviometro con misura campione): va eseguito una volta all'anno dal gestore della stazione o da una ditta incaricata;
- manutenzione: gli strumenti devono essere controllati e puliti regolarmente dal manutentore;
- misura parallela: al fine di ottenere dati ridondanti viene utilizzato un secondo strumento presso la stazione di osservazione;
- controllo della qualità dei dati: i valori misurati sono quotidianamente validati; valori anomali, errori di misura, ecc. vengono segnalati al gestore e portano ad un conseguente lavoro di manutenzione.

Una stazione meteorologica viene definita conforme alle linee guida WMO se è soggetta in modo continuativo ad almeno due delle attività elencate.

6. PROGETTAZIONE DI UNA NUOVA RETE

Vengono di seguito descritte le attività progettuali necessarie per la realizzazione di una rete di monitoraggio a norma e certificabile, una volta che ne siano stati definiti con chiarezza lo scopo e l'area da monitorare.

6.1. ANALISI DELLO STATO DI FATTO

- Analisi delle reti ufficiali o a norma (es: ARPA, Protezione Civile, AM, Consorzi di Bonifica) già presenti nell'area di interesse ed i cui dati siano disponibili, per evitare ridondanze;
- scelta "a tavolino" dell'ubicazione delle stazioni sulla base di considerazioni geografiche, morfologiche e meteo-climatiche per garantire una copertura adeguata del territorio (*Fig. 8*).

6.2. PROGETTAZIONE ESECUTIVA

- Sopralluoghi per la valutazione del sito e la scelta del punto di installazione (distanze da ostacoli, fonti di calore, rappresentatività, accessibilità ecc.) in conformità con le indicazioni della WMO;
- Verifica della disponibilità dei siti (comodato, affitto, ecc.);

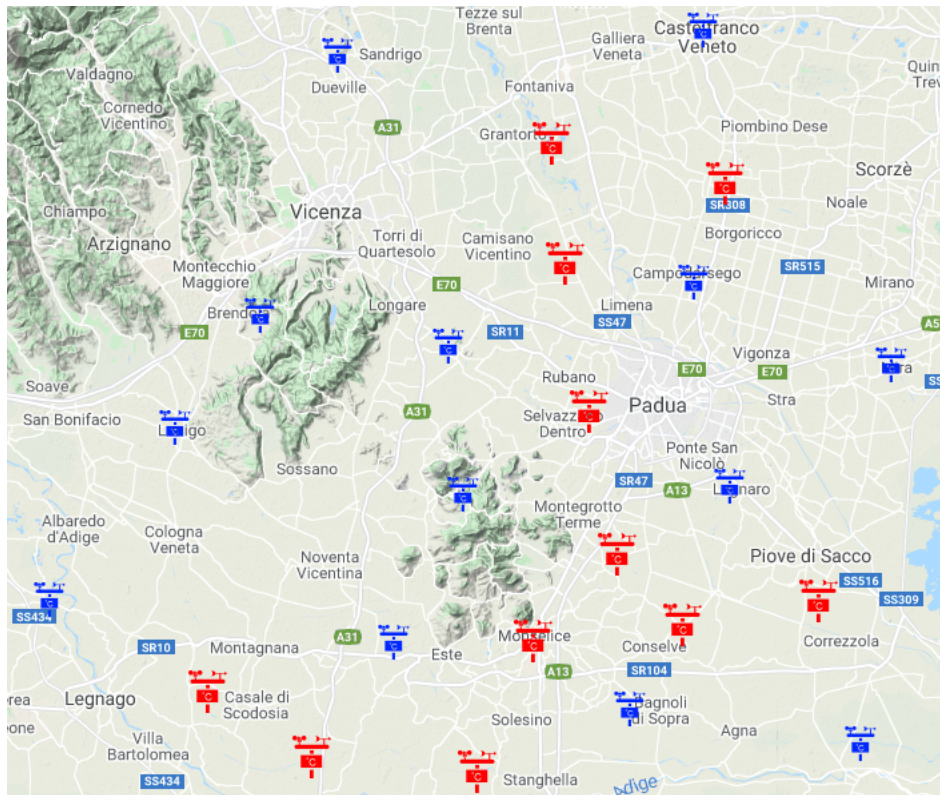


Fig. 8 Esempio di planimetria generale, integrazione tra nuovi punti stazione (🔴) e siti di rilevamento di altre reti a norma WMO (🔵)

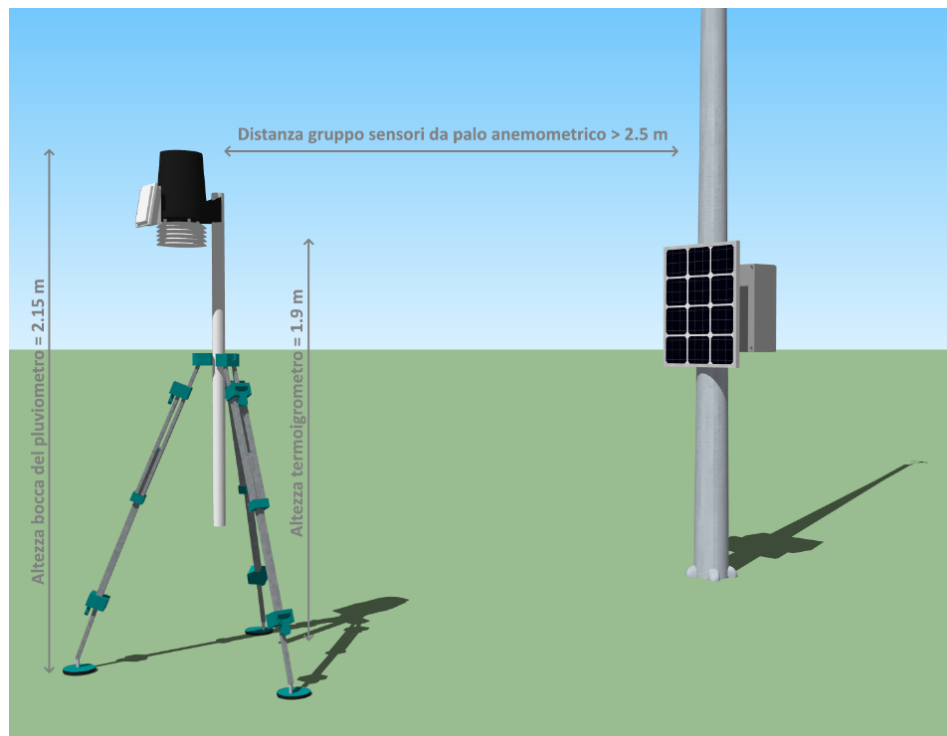


Fig. 9 Esempio di indicazioni per la messa in posa.

- scelta delle stazioni, dei sensori e dei materiali mediante valutazioni tecniche (condizioni ambientali di esercizio, finalità della rete, ecc.) ed economiche, nel rispetto delle linee guida WMO (accuratezza, *range* di misura, ecc.);
- redazione dei capitolati necessari per l'acquisto della strumentazione;
- predisposizione degli allegati topografici e fotografici relativi alle singole installazioni;
- definizione delle modalità di:
 - alimentazione delle stazioni;
 - trasmissione dei dati;
 - supervisione delle stazioni;
 - validazione dei dati;
- indicazioni tecniche esecutive riguardanti la messa in posa delle stazioni e dei singoli sensori (Fig. 9), e di tutti gli elementi di supporto e corredo (pali, fondazioni, ecc.).

6.3. DIREZIONE LAVORI E COLLAUDO

- Partecipazione diretta alla fase di installazione delle stazioni (Figg. 10a e 10b);
- verifica della corretta installazione di ogni sensore in ottemperanza alle linee guida WMO (altezza dal suolo, esposizione, distanze reciproche, ecc.),
- verifica delle forniture e delle fatturazioni;
- relazione tecnica finale di collaudo per ogni singola stazione, con descrizione delle sue caratteristiche e del sito.



Fig. 10a Operazione di posa del palo anemometrico.



Fig.10b Installazione completata, stazione meteorologica dotata dei sensori di temperatura, umidità, precipitazione, direzione e intensità del vento, bagnatura fogliare, temperatura e umidità del terreno.

7. RIMODULAZIONE E MESSA A NORMA DI UNA RETE ESISTENTE

Vengono di seguito descritte le attività progettuali necessarie per adeguare, rimodulare ed eventualmente integrare una rete esistente.

7.1. ANALISI DELLO STATO DI FATTO E VALUTAZIONE DI CONFORMITÀ

7.1.1. Per stazioni esistenti

- Raccolta delle informazioni riguardanti le singole stazioni:
 - numero, coordinate e tipologia;
 - variabili meteorologiche misurate;
 - stato di servizio ed usura;
 - frequenza di misurazione e di trasmissione.
- valutazione di qualità della sensoristica secondo le linee guida WMO;
- sopralluogo, classificazione del sito, valutazione del punto di installazione (distanze da ostacoli, fonti di calore, rappresentatività, accessibilità, ecc.) (Fig. 11);
- relazione tecnica per ogni stazione, costituita da:
 - inquadramento generale;
 - documentazione fotografica;
 - informazioni raccolte prima e durante la visita *in situ*;
 - classificazione WMO (pienamente conforme, conforme o non conforme).

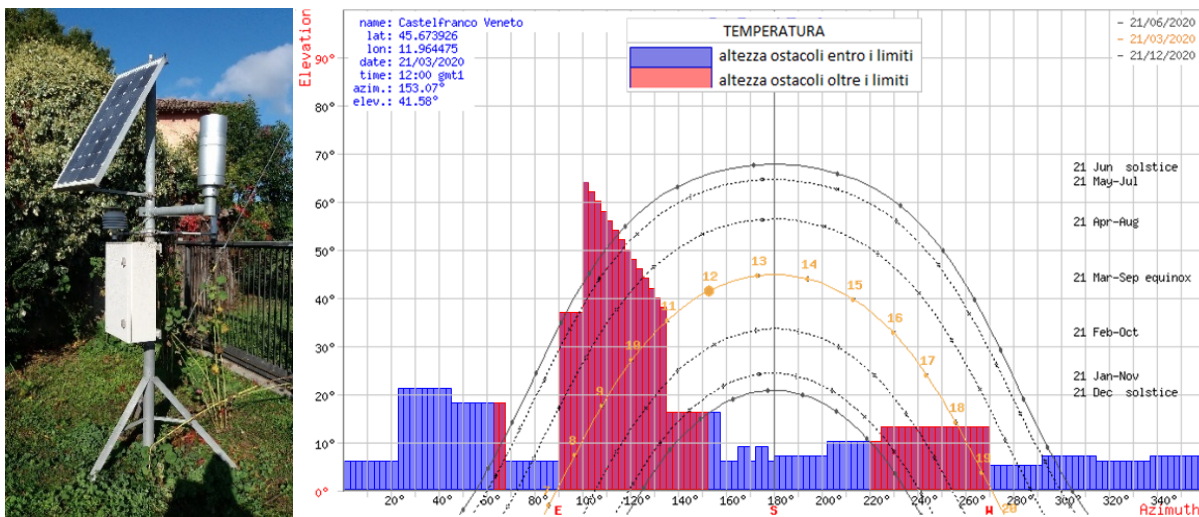


Fig. 11 Classificazione del sito ed esposizione dei sensori, diagramma per la valutazione dell'influenza degli ostacoli: elevazione del sole nei diversi periodi dell'anno (linee) e altezza degli ostacoli (barre)

7.1.2. Per rimodulazione e integrazione

- Analisi delle reti ufficiali o a norma (es: ARPA, Protezione Civile, AM, Consorzi di Bonifica) già presenti nell'area di interesse ed i cui dati siano disponibili, per evitare ridondanze;

- scelta “a tavolino” dei siti ove eventualmente riubicare alcune stazioni esistenti o inserirne di nuove sulla base di considerazioni geografiche, morfologiche e meteo-climatiche per garantire una copertura adeguata del territorio.

7.2. PROGETTAZIONE ESECUTIVA

7.2.1. Per stazioni esistenti

- Definizione del punto di eventuale ricollocamento della stazione all'interno dello stesso sito (Figg. 12a e 12b);
- indicazioni tecniche esecutive riguardanti gli interventi di messa a norma.

7.2.2. Per rimodulazione e integrazione

- Sopralluogo sui siti di possibile riallocazione delle stazioni esistenti o di inserimento delle nuove stazioni per valutare l'area di rilevamento e scegliere il punto di installazione (distanze da ostacoli, fonti di calore, rappresentatività, accessibilità ecc.) in conformità con le indicazioni della WMO;
- verifica della disponibilità dei siti (comodato, affitto, ecc.);
- in caso di integrazione con nuove stazioni:
 - scelta dei sensori e dei materiali mediante valutazioni tecniche (condizioni ambientali di esercizio, finalità della rete, ecc.) ed economiche, nel rispetto delle linee guida WMO (accuratezza, range di misura, ecc.);
 - redazione dei capitolati necessari per l'acquisto della strumentazione;



Fig. 12a Stazione meteorologica, posizione attuale (●) e ipotesi di ricollocamento (●).



Fig. 12b Punto di possibile ricollocamento della stazione meteorologica.

- predisposizione degli allegati topografici e fotografici relativi alle singole installazioni;
- definizione delle modalità di:
 - alimentazione delle stazioni;
 - trasmissione dei dati;
 - supervisione delle stazioni e validazione dei dati.
- indicazioni tecniche esecutive riguardanti la messa in posa delle stazioni e dei singoli sensori (Fig. 13), e di tutti gli elementi di supporto e corredo (pali, fondazioni, ecc.).

7.3. DIREZIONE LAVORI E COLLAUDO

7.3.1. Per stazioni esistenti

- Partecipazione diretta alla fase di installazione delle stazioni;
- verifica della correttezza degli interventi di messa a norma,
- relazione tecnica finale di collaudo per ogni singola stazione, con descrizione delle sue caratteristiche e del sito.

7.3.2. Per rimodulazione e integrazione

- Partecipazione diretta alla fase di installazione delle stazioni;
- verifica delle forniture e delle fatturazioni (in caso di integrazione con nuove stazioni);
- verifica della corretta installazione di ogni sensore in ottemperanza alle linee guida WMO (altezza dal suolo, esposizione, distanze reciproche, ecc.),
- relazione tecnica finale di collaudo per ogni singola stazione, con descrizione delle sue caratteristiche e del sito (Fig. 14).

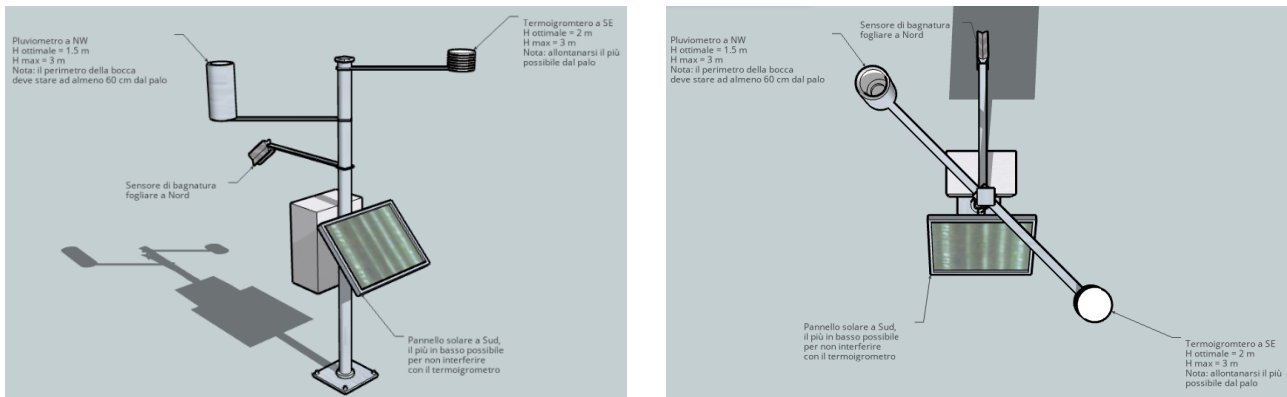


Fig. 13 Esempio di corretta esposizione dei sensori per una stazione che rileva pioggia, temperatura, umidità e bagnatura fogliare.

Pluviometro		
Sensore (nome modello)	t027 TP1K	
Il sensore è riscaldato?	no	1
Il sensore è protetto dal vento?	no	
Principio di misura	doppia vaschetta basculante	
Accuratezza dello strumento per piogge ≤ 5 mm (mm)	0.1	2
Accuratezza dello strumento per piogge > 5 mm (%)	7%	1
Area del collettore (cm ²)	1000	2
Altezza di misurazione dal suolo (m)	1.3	1
Il sensore è correttamente esposto ?	si	2
Classificazione CIMO dei siti	classe 3	1
Lo strumento è su un tetto ?	no	2
Supervisione della Stazione		1
Frequenza della calibrazione in laboratorio o sostituzione (anni)	mai	0
Frequenza di controllo in sito (mesi)	12	2
Frequenza di manutenzione ordinaria (settimane)	4	1
Viene effettuata una misurazione parallela con un secondo strumento ?	no	0
Esiste un controllo automatico dei dati ?	si	2
Post-Analisi		
Frequenza di misurazione (min)	5	2
Intervallo di trasmissione (min)	8	2
Disponibilità dei dati (%)	97.2%	2
Tempestività di consegna (min)	8	2
Esito Verifica	CONFORME	1

Fig. 14 Estratto di scheda di verifica, parte integrante della relazione tecnica conclusiva.

8. CERTIFICAZIONE

8.1. PREMESSA

Una rete progettata, realizzata o rimodulata in base alle normative *CIMO Guide* (WMO, 2018) può venir ulteriormente valorizzata attraverso la sua certificazione, la quale ne attesta la corrispondenza agli *standard* WMO. Una rete certificata diviene uno strumento formidabile, in quanto produce dataset utilizzabili in tutti i contesti, sia quindi in quelli tecnici ed operativi, che in attività di ricerca che in ambiti contrattuali, legali o comunque probanti. Una rete con quelle caratteristiche può venir facilmente integrata in altri sistemi di monitoraggio e, nel tempo, può alimentare le elaborazioni rianalitiche e fornire quindi prodotti meteorologici raffinati.

La sensibilità verso questa esigenza è molto cresciuta in questi ultimi anni, sia alla luce del rilievo crescente assunto dai dati meteorologici in molti processi, sia per la possibilità di un loro uso molto più spinto, grazie alle tecniche digitali. La *Fig. 15* illustra come, a fianco delle reti ufficiali (ARPA, AM, Protezione Civile, Regioni, ecc.), si siano sviluppati importanti sistemi di monitoraggio *in situ* realizzati soprattutto da enti ed agenzie che operano direttamente sul territorio (assicurazioni agricole, utility, consorzi di bonifica).

La certificazione viene rilasciata da un ente certificatore indipendente e abilitato che verifica la conformità di ogni singola stazione e sensore alle linee guida della WMO "*Guide to Instruments and Methods of Observation*" (WMO-No.8, 2018) e agli *standard ISO "Air quality - Meteorology - Siting classifications for surface observing stations on land"* (ISO 19289, 2015).

Il certificatore, dopo aver raccolti tutte le informazioni necessarie alla pre-analisi (coordinate, modello, sensori, schede tecniche, dati registrati dalle stazioni, modalità e frequenza di supervisione della rete, ecc.), procede al sopralluogo per la classificazione del sito e la verifica della corretta esposizione dei sensori. Infine, dopo una attenta analisi dei dati registrati dalla stazione per almeno un anno, al fine di accertarne i requisiti minimi di completezza e tempestività di consegna, emette, se del caso, la certificazione di conformità, che andrà poi rinnovata ogni cinque anni.

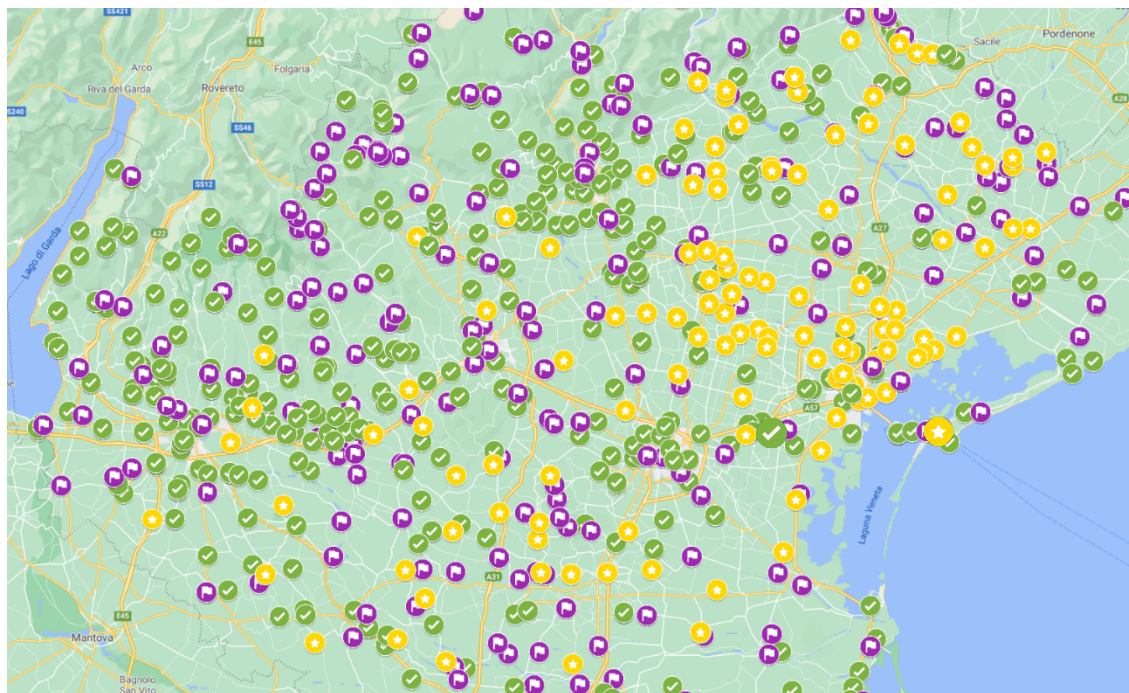


Fig. 15 Stazioni meteorologiche ufficiali (■), a norma (●) e certificate (★)

8.2. IL PROCESSO DI CERTIFICAZIONE

Questo processo ha inizio con la progettazione e realizzazione della rete di monitoraggio, oppure con il suo adeguamento, e si conclude con la certificazione delle stazioni meteorologiche. Le sue fasi principali sono schematizzate in Fig.16 per le reti di nuova realizzazione ed in Fig.17 per le reti rimodulate. Le attività previste e l'interazione con la figura del certificatore possono venir gestite con personale interno oppure attraverso l'utilizzo di un consulente specializzato.

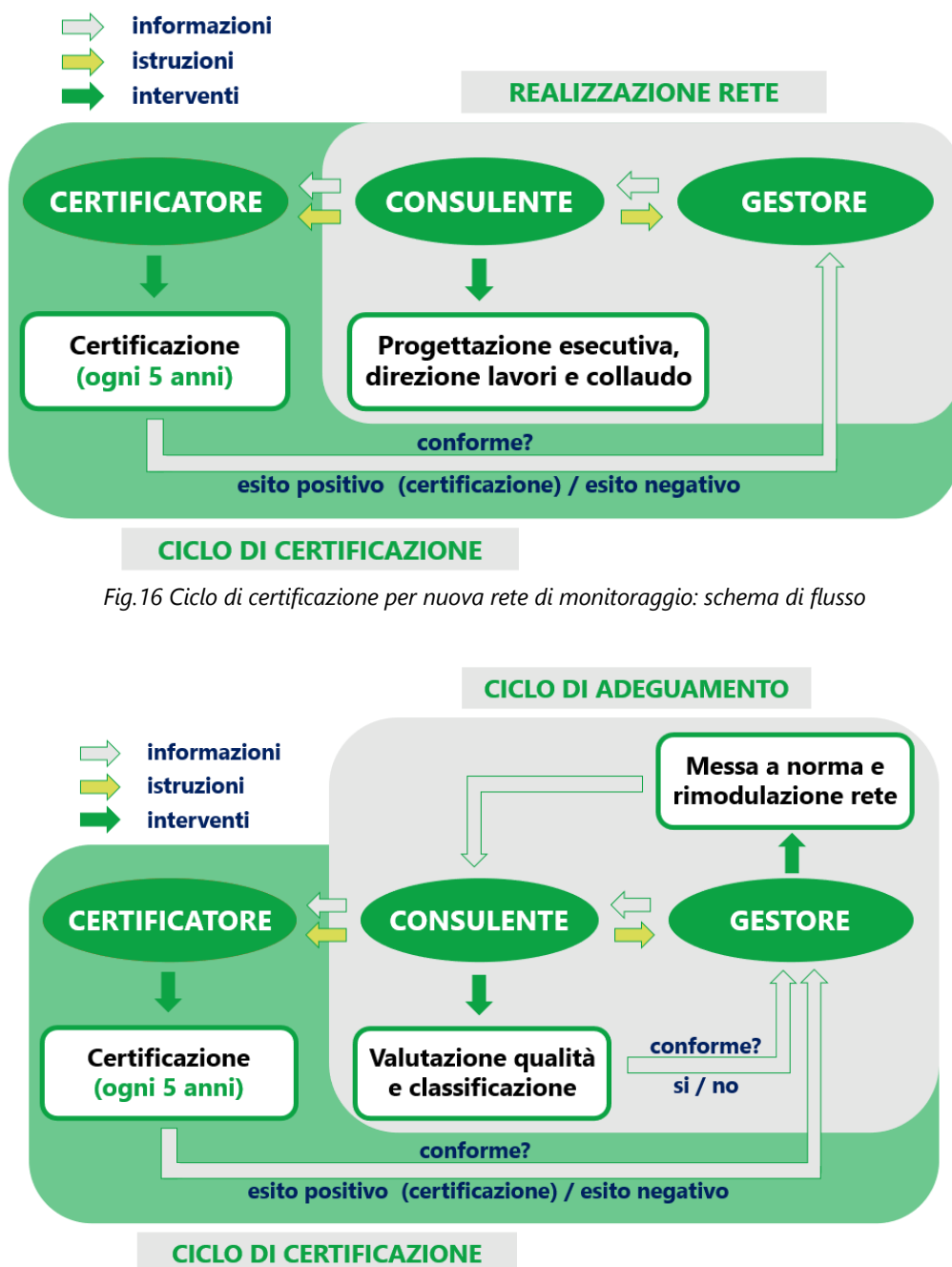


Fig.16 Ciclo di certificazione per nuova rete di monitoraggio: schema di flusso

Fig. 17 Ciclo di certificazione per rete di monitoraggio esistente: schema di flusso

8.3. IL CICLO DI CERTIFICAZIONE

Il certificatore, nella sua attività di valutazione, fa riferimento al procedimento e ai criteri definiti nel manuale operativo che riprende le linee guida WMO.

Il ciclo di certificazione, schematizzato in Fig. 18, inizia con la pre-analisi condotta dal consulente aziendale e condivisa con il certificatore. Successivamente, il certificatore ispeziona le varie stazioni con l'assistenza del consulente, il quale sarà in grado di corrispondere ad eventuali richieste od approfondimenti o di prendere atto di indicazioni e consigli. Al termine della verifica *in situ* sarà quindi possibile certificare o meno la conformità della stazione meteo alle linee guida WMO.

Nel caso in cui, in fase di pre-analisi, la stazione risultasse attiva da meno di un anno, l'esito del processo di certificazione sarà da considerare solo provvisorio, poiché sarà necessario completare la raccolta di almeno un anno di dati, procedere alla loro verifica (post-analisi) e condividerla con il certificatore.



Fig.18 Ciclo di certificazione, elementi principali

8.3.1. Manuale

Il manuale operativo, redatto dal consulente in base alle linee guida WMO, è lo strumento di riferimento per tutti gli attori del processo di certificazione. Dopo una descrizione delle principali fasi del procedimento, il documento si focalizza sulle istruzioni per la compilazione del questionario di verifica, fornendo i riferimenti necessari per una corretta valutazione di tutti gli aspetti da analizzare (qualità della stazione meteo, rappresentatività del sito, esposizione degli strumenti, supervisione della stazione, ecc.).

8.3.2. Questionario di verifica

Il questionario, prodotto dal consulente, consente di registrare tutte le informazioni utili alla classificazione della stazione meteorologica, così come indicato nel manuale.

8.3.3. Fornitura di informazioni e dati

Il consulente fornisce al certificatore il manuale, il questionario, le specifiche tecniche delle stazioni meteorologiche e l'ultimo anno di dati registrati.

8.3.4. Pre-Analisi

Il certificatore, assistito dal consulente e sulla base dei dati a disposizione, accerta se la stazione è in grado di soddisfare i requisiti basilari per essere certificata.

8.3.5. Verifica *in situ*

Il certificatore effettua la visita *in situ*, accompagnato dal consulente. Durante il sopralluogo, il certificatore effettua le necessarie misure, registra le osservazioni, compila il questionario e fotografa la stazione da diverse prospettive (visione globale del sito e visione di dettaglio sullo strumento).

8.3.6. Post-Analisi

Il consulente analizza i dati forniti da ogni stazione e produce le statistiche riguardanti la completezza dei dati e la tempestività di comunicazione; il certificatore verifica se le relative soglie di qualità sono rispettate.

8.3.7. Attestato di conformità

Per ogni stazione meteorologica visitata, il certificatore rilascia il certificato di conformità o non conformità alle linee guida WMO. L'attestato ha una validità di cinque anni, al termine dei quali va ripetuto l'intero processo.

9. CONTROLLO E VALIDAZIONE DEI DATI

Tra le cinque azioni di supervisione elencate dalla WMO, il controllo giornaliero della qualità dei dati è senz'altro una delle principali, in quanto:

- concorre alla conformità WMO della stazione;
- consente di individuare più rapidamente i malfunzionamenti delle stazioni;
- consegna all'utente un dato di qualità.

L'attività si basa sull'implementazione di algoritmi automatici e su procedure di verifica manuale dei dati registrati. Lo schema seguente (*Fig. 19*) illustra i passaggi di cui si compone il processo di controllo, validazione e alert.

Il controllo automatico viene effettuato sia sui dati grezzi in *near real-time* (controllo preliminare su dati orari), sia su dati giornalieri consolidati, e riguarda le seguenti grandezze fisiche: precipitazione, temperatura, umidità, intensità del vento, pressione.

Gli algoritmi utilizzati nell'ambito del controllo automatico si basano sulle seguenti tecniche analitiche:

- *range test*: invalidazione di dati evidentemente errati (valori che escono dall'intervallo di possibilità climatica);
- analisi comparativa tramite percentili: per ogni stazione sottoposta a controllo si considerano i dati delle 20 stazioni più vicine con dati (anche di altre reti ufficiali e/o a norma WMO). Una volta calcolato il 20mo e il 95mo percentile dell'insieme dei dati (20 valori), tenendo conto di un *range* di tolleranza costituito dalla deviazione standard dei dati stessi moltiplicato per un coefficiente variabile con la stagione (es: per la pioggia da un minimo di 1 in inverno ad un massimo di 3 in estate) a cui si aggiunge un offset fisso, si invalidano i valori rispettivamente inferiori e superiori a tali soglie.

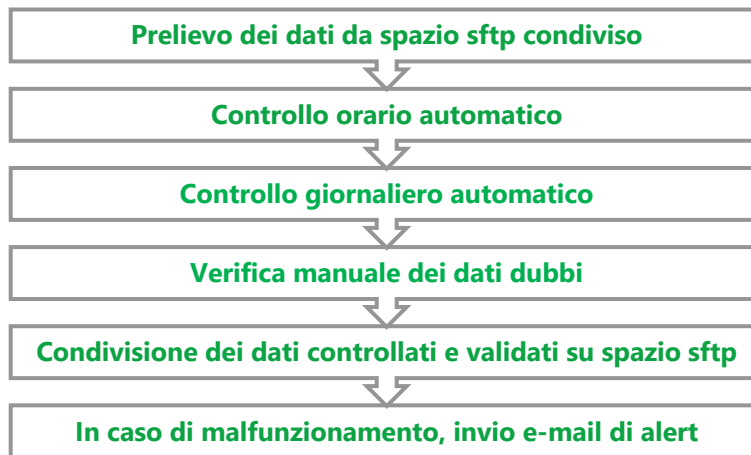


Fig. 19 Schema di flusso del processo di controllo, validazione e alert

I criteri di controllo vengono ulteriormente ottimizzati in funzione delle caratteristiche meteo-climatiche dell'area di interesse.

La verifica manuale, effettuata solo sui dati giornalieri precedentemente sottoposti ai controlli automatici, viene eseguita con cadenza quotidiana da un tecnico meteorologo.

Usualmente il sistema comprende anche una procedura automatica di comunicazione dei malfunzionamenti dei sensori.

10. NOTE

¹Massimo Crespi: già Ispettore del Corpo Forestale dello Stato, Direttore del Centro Sperimentale per le valanghe e la difesa idrogeologica di Arabba (Regione Veneto), Direttore del Centro Meteorologico di Teolo (ARPA Veneto), Direttore della Ricerca e Comunicazione di ARPA Veneto, Direttore Generale della Pianificazione e Programmazione della Regione del Veneto, Delegato Nazionale presso la WMO dell'ONU, Direttore del Centro di monitoraggio meteorologico, ambientale ed idrologico della Unione Europea in Asunción (Paraguay). Attualmente Amministratore unico di Radarmeteo. In carriera ha progettato, realizzato e gestito importanti reti di monitoraggio meteorologico ed ambientale sia in Italia che all'estero, sia nazionali che regionali, sia pubbliche che private, portandole anche alla certificazione di qualità.

²Andrea Bertolini: Ingegnere per l'Ambiente e il Territorio, meteorologo certificato, già assistente di ricerca presso l'Istituto di Scienza dell'Atmosfera e del Clima del Consiglio Nazionale delle Ricerche (ISAC-CNR) e Dottore di Ricerca in Models and Methods for Material and Environmental Sciences. Attualmente Responsabile del Servizio Reti di Radarmeteo. Ha progettato e diretto i lavori relativi alla realizzazione di importanti reti di monitoraggio meteorologico, alla messa a norma di reti esistenti ed alla loro certificazione di qualità.

³ [Quaderno1 Rappresentatività dati meteo IT.pdf \(radarmeteo.com\)](#)

⁴ WMO: *World Meteorological Organization* (Organizzazione Meteorologica Mondiale), Agenzia tecnica dell'ONU (Organizzazione delle Nazioni Unite) che ha il compito di coordinare a livello globale la meteorologia, la climatologia e l'idrologia operativa

⁵ CIMO: *Commission for Instruments and Methods of Observation – WMO*

11. BIBLIOGRAFIA

- ISO 19289, 2015: *Air quality - Meteorology - Siting classifications for surface observing stations on land*. International Organization for Standardization.
- Leroy Michel, Meteo-France, 2013: *Sustained Performance Classification for Surface Observing Stations on Land*. CIMO/WMO.
- UNI EN 17277:2020: *Idrometria - Requisiti di misurazione e classificazione degli strumenti pluviometrici per la misura dell'intensità di precipitazione*
- World Meteorological Organization, 2006: *Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban site* (WMO/TD-No. 1250).
- World Meteorological Organization, 2010: *Guide to Agricultural Meteorological Practices* (WMO-No. 134).
- World Meteorological Organization, 2017: *Guide to the Global Observing System* (WMO-No. 488).
- World Meteorological Organization, 2017: *Quality Assessment using METEO-Cert: The MeteoSwiss Classification Procedure for Automatic Weather Stations* (IOM Report No. 126).
- World Meteorological Organization, 2018: *Guide to Instruments and Methods of Observation, Volume I – Measurement of Meteorological Variables* (WMO-No. 8).
- World Meteorological Organization, 2018: *Guide to Instruments and Methods of Observation, Volume III – Observing Systems* (WMO-No. 8).
- World Meteorological Organization, 2019: *Manual on the WMO Integrated Global Observing System: Annex VIII to the WMO Technical Regulations* (WMO-No. 1160).